

PENINGKATAN HASIL PRODUKSI BIOHIDROGEN BERBAHAN BAKU LIMBAH KULIT PISANG RAJA DENGAN KATALIS H_2O_2 MENGGUNAKAN METODE FERMENTASI GELAP

¹Ricca Amanda, ²Arfiansyah Yusuf Zuliardi Suyata, ³Rifki Maulana Saputra,

⁴Juan Arkananta Sakti Putra, ⁵*Zeni Ulma

^{1,4,5}Teknik Energi Terbarukan, Teknik, Politeknik Negeri Jember, ²Teknologi Rekayasa Pangan, Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, ³Mesin Otomotif, Teknik, Politeknik Negeri Jember

Jl. Mastrip, Krajan Timur, Sumbersari, Jember, Jawa Timur 68121

¹riccaamandab@gmail.com, ²arfinzuliardi2003@gmail.com,

³rifkimaulanasaputra257@gmail.com, ⁴arkanantajuan03@gmail.com, ⁵zeni@polije.ac.id*

Abstrak

Konsumsi bahan bakar fosil masyarakat Indonesia yang semakin meningkat mengakibatkan jumlah cadangan minyak bumi yang semakin menipis. Selain itu, emisi gas yang dihasilkan dari proses pembakaran yang dipengaruhi oleh pemakaian bahan bakar fosil berakibat pada perubahan iklim global. Salah satu energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan yaitu biohidrogen karena bernilai kalor tinggi dan termasuk ke dalam bahan bakar ramah lingkungan karena bebas emisi karbon. Kulit pisang raja mengandung karbohidrat dengan jumlah besar sehingga dapat dimanfaatkan sebagai substrat dalam produksi biohidrogen. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi H_2O_2 sebagai katalis dan kondisi pH medium fermentasi yang terbaik untuk menghasilkan gas biohidrogen. Variabel konsentrasi H_2O_2 yang digunakan meliputi 0,4 mM; 0,6 mM; dan 0,8 mM, sedangkan variabel kondisi pH yang digunakan meliputi pH 5; pH 6; dan pH 7. Pengamatan dan pengujian yang dilakukan meliputi jumlah volume gas dan persentase padatan volatil. Metode pengolahan data yang digunakan adalah Metode Permukaan Respons. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa penambahan katalis H_2O_2 cukup memberikan hasil yang signifikan jika dibandingkan dengan tanpa penambahan katalis. Hasil optimum didapat pada penggunaan katalis H_2O_2 dengan konsentrasi 0,8 mM dan pada kondisi pH 5 yang menghasilkan jumlah volume gas sebanyak $103,5 \pm 3,5$ mL dengan persentase padatan volatil sebesar $99,73 \pm 0,12\%$.

Kata kunci: biohidrogen, energi, fermentasi, H_2O_2 , kulit Pisang Raja

Abstract

The increasing consumption of fossil fuels in Indonesia has led to a significant decrease in petroleum reserves. Additionally, the emissions from fossil fuel combustion contribute to global climate change. Biohydrogen emerges as a promising alternative energy source due to its high calorific value and environmental benefits, as it is free of carbon emissions. Raja Banana peels are particularly suitable to be substrate in biohydrogen production due to their high carbohydrate content. This study focuses on optimizing the concentration of H_2O_2 as a catalyst and the ideal pH conditions for fermentation to maximize biohydrogen production. The concentrations of H_2O_2 tested were 0.4 mM, 0.6 mM, and 0.8 mM, while the pH levels examined included pH 5, pH 6, and pH 7. The experiments measured gas volume and the percentage of volatile solids. Data analysis was conducted using the Response Surface Method. The results obtained showed that the addition of H_2O_2 catalyst provided significant results when compared to without the addition of a catalyst. The optimal results were achieved with an H_2O_2 concentration of 0.8 mM at pH 5, yielding a biohydrogen gas volume of 103.5 ± 3.5 mL and a volatile solids percentage of $99.73 \pm 0.12\%$.

Keywords: biohydrogen, energy, fermentation, H_2O_2 , Raja Banana peels.

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk memenuhi kebutuhan energi. Konsumsi bahan bakar fosil masyarakat Indonesia meningkat setiap tahunnya. Hal tersebut mengakibatkan jumlah cadangan minyak bumi semakin menipis. Terobosan baru perlu diciptakan untuk menyubstitusi ketergantungan energi dari energi fosil di antaranya seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam. Selain itu, emisi gas yang dihasilkan dari proses pembakaran yang dipengaruhi oleh pemakaian bahan bakar fosil berakibat pada perubahan iklim secara global. Penemuan baru di bidang energi alternatif perlu dikembangkan. Salah satu energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan yaitu biohidrogen [1]. Biohidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki nilai kalor yang tinggi. Produksi Biohidrogen menghasilkan energi sebesar 122-142 kJ/g atau 2,75 kali lebih besar jika dibandingkan dengan bahan bakar hidrokarbon [2]. Selain itu, biohidrogen termasuk ke dalam bahan bakar yang ramah lingkungan sebab bebas kandungan karbon. Biohidrogen merupakan hasil fermentasi dari bahan yang mengandung karbohidrat yang tinggi. Bakteri fermentasi dapat menghasilkan produk akhir berupa H_2 dan CO_2 dengan memanfaatkan limbah organik yang banyak mengandung karbohidrat, protein, lipid, lignin, dan lemak sebagai substrat. Salah satu limbah

organik yang dapat digunakan sebagai substrat di antaranya yaitu limbah kulit pisang. Kulit pisang mengandung karbohidrat sebesar 18,50% dalam komposisinya [3].

Kabupaten Jember menjadi salah satu dari 5 Kabupaten penghasil pisang terbesar di Jawa Timur. Keberlimpahan pisang di daerah Jember menjadikan Jember sebagai produsen olahan pisang yang cukup besar di Jawa Timur. Terdapat beberapa jenis buah pisang yang dibudidayakan di Jawa Timur, khususnya di Kabupaten Jember di antaranya yaitu Pisang Raja (*Musa paradisiaca L.*). Kulit pisang raja memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan kulit pisang kepok maupun jenis kulit pisang ambon yaitu sekitar 27,64% [4]. Selain memperhatikan karakteristik substrat dalam produksi biohidrogen, perlu dilakukan pembuatan kultur campuran agar mikroba siap hidup dan memiliki daya tahan yang lebih bagus untuk nantinya dipindahkan ke medium baru dan berperan penting dalam menghasilkan gas hidrogen. Bahan yang digunakan penulis sebagai kultur campuran di antaranya yaitu limbah tahu dan kotoran sapi. Fermentasi yang dilakukan oleh penulis dalam produksi biohidrogen yaitu fermentasi gelap dalam kondisi anaerob. Hal tersebut dikarenakan fermentasi gelap dapat menghasilkan gas hidrogen dengan *yield* yang tinggi [5].

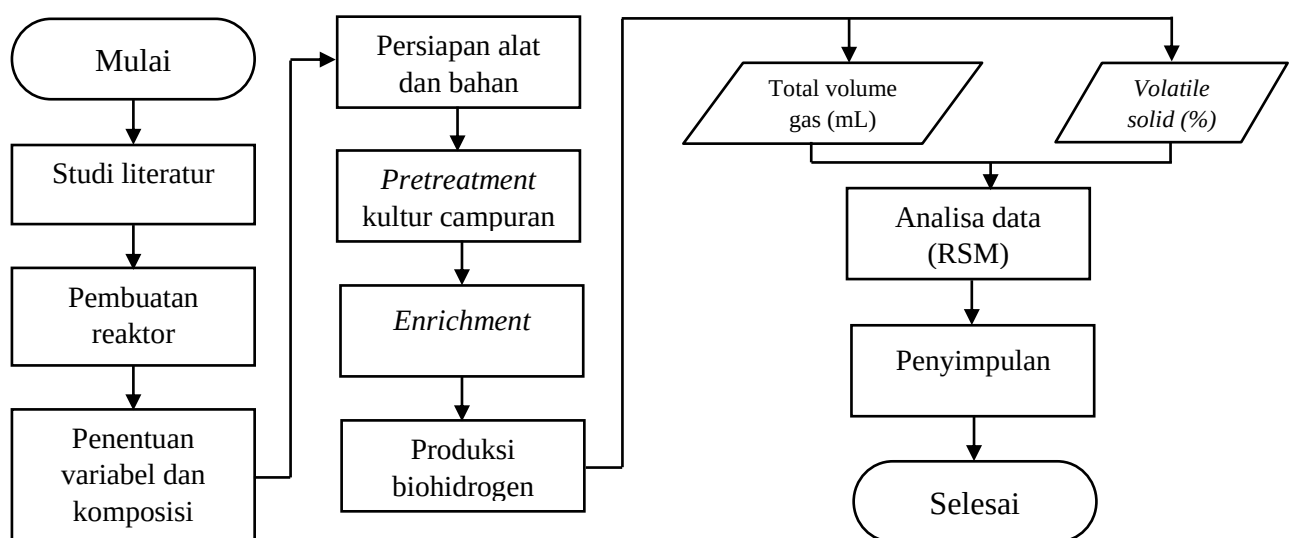
Pada produksi biohidrogen terdapat katalis yang ditambahkan agar dapat meningkatkan hasil dari produksi biohidrogen tersebut. Salah satu katalis yang ditambahkan

dengan tujuan di atas di antaranya yaitu H_2O_2 . Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada tahun 2019, penambahan konsentrasi H_2O_2 pada bahan baku limbah kulit jeruk memberikan nilai yang sangat signifikan terhadap produksi gas hidrogen jika dibandingkan dengan tanpa penambahan H_2O_2 , yaitu pada konsentrasi 0,6 dan 0,8 M yang menghasilkan yield hidrogen 801,14 dan 440,7 mL.g/Vs [6]. Hal tersebut disebabkan karena ketika H_2O_2 ditambahkan, H_2O_2 tersebut berguna untuk merekayasa jalur metabolisme pada produksi biohidrogen. Penelitian lain menunjukkan bahwa pada produksi biohidrogen menggunakan substrat limbah buah melon, penggunaan katalis H_2O_2 pada konsentrasi 0,4 mM meningkatkan *yield* H_2 kumulatif sebesar 7,7% (954,6 mL/L), sedangkan konsentrasi 0,1 mM meningkatkan *yield* H_2 sebesar 23,8% (228,2 mL/gVS) dibandingkan dengan kontrol [7]. Penggunaan ampas kopi sebagai substrat dalam produksi biogas menunjukkan bahwa pengaplikasian

katalis H_2O_2 dengan konsentrasi 4% pada proses *pretreatment* memberikan hasil yang paling optimal [8].

Penelitian mengenai penggunaan H_2O_2 sebagai katalis dalam pembuatan biohidrogen masih belum banyak dilakukan. Selain itu, penggunaan kulit pisang raja sebagai substrat dalam produksi biohidrogen dengan pengaplikasian katalis H_2O_2 masih belum dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi H_2O_2 dan kondisi pH yang paling optimal berdasarkan jumlah gas biohidrogen yang dihasilkan dan persentase padatan volatilnya. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada bidang bioenergi melalui upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil sehingga dapat menjadi proyeksi energi alternatif masa depan yang ramah lingkungan dengan menciptakan bahan bakar bernilai kalor yang tinggi dan tidak menghasilkan emisi.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Alur Penelitian

Pada Gambar 1 ditunjukkan alur penelitian yang dilakukan. Riset ini dilakukan dengan metode fermentasi gelap dalam produksi biohidrogen. Limbah kulit pisang yang telah mengalami pengecilan ukuran dimasukkan ke dalam reaktor lalu ditambahkan kultur campuran dari limbah tahu dan kotoran sapi yang telah mengalami proses *pretreatment* dan *enrichment*. Reaktor yang digunakan berupa tabung kaca yang telah dimodifikasi dan dilengkapi dengan pengukur volume gas serta wadah penampung akuades. Sebelum dilakukan fermentasi, substrat dan kultur campuran yang terdapat di dalam reaktor dilakukan *flushing* dengan gas nitrogen untuk memastikan bahwa fermentasi dilakukan dengan kondisi anaerob. Tahapan dalam riset ini di antaranya, yaitu: persiapan alat dan bahan, pembuatan reaktor, persiapan inokulum, persiapan substrat, produksi biohidrogen, dan yang terakhir analisis data.

A. *Pretreatment* kultur campuran

Pretreatment kultur campuran dilakukan dengan pencampuran limbah tahu, kotoran sapi dan akuades dengan rasio 1:1:1. Pada *pretreatment* dilakukan pengasaman dengan HCl 2 N hingga mencapai pH 3 serta dilakukan inkubasi selama 24 jam pada suhu 36°C. Hal ini bertujuan untuk menonaktifkan bakteri metanogen sehingga bakteri penghasil hidrogen dapat membentuk spora [9].

B. *Enrichment* atau pengayaan kultur campuran

Pengayaan kultur campuran dilakukan dengan pemberian larutan nutrisi pada kultur campuran yang telah mengalami proses pengasaman selama 1x24 jam. Larutan nutrisi yang diberikan terdiri dari 1 g *yeast*, 1 g Pepton, 1 g Glukosa, 0,05 g L-Cysteine HCl, dan 90 mL akuades. Larutan tersebut dituang ke dalam botol kaca berukuran 100 mL lalu ditambahkan kultur campuran sebanyak 10 mL. Botol kaca yang telah berisi larutan nutrisi dan kultur campuran ditutup dan direkatkan dengan lem bakar, plastisin, dan aluminium foil. *Enrichment* dilakukan selama 1x24 jam pada suhu 36°C di dalam inkubator untuk memastikan suhu lingkungan yang terjaga. Tujuan dari dilakukannya *enrichment* yaitu agar kultur campuran penghasil hidrogen memiliki daya tahan tubuh dan stamina yang baik untuk nantinya dipindahkan ke medium baru berupa reaktor yang digunakan pada proses produksi biohidrogen.

C. Produksi biohidrogen

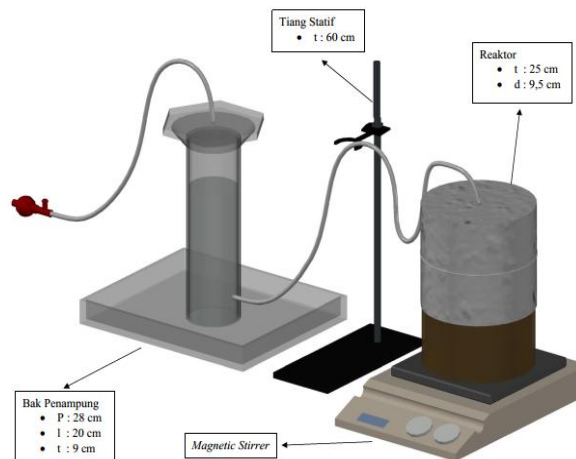
Produksi biohidrogen dilakukan dengan membuat medium produksi yang terdiri dari larutan nutrisi dan substrat. Larutan nutrisi yang digunakan terdiri dari 3 g pepton, 0,3 g *yeast*, 0,72 g KH₂PO₄, 3,12 g Na₂HPO₄, 0,3 g MgSO₄, 0,001g L-

Cysteine HCl. Bahan tersebut kecuali Na_2HPO_4 dan *yeast* dilarutkan dalam 600 mL akuades dan dilakukan sterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit. Setelah dikeluarkan dari *autoclave* dan suhu larutan nutrisi dibawah 50°C , Na_2HPO_4 dan *yeast* dilarutkan dan dihomogenkan dengan larutan nutrisi tersebut. Substrat yang digunakan dalam produksi biohidrogen terdiri dari kulit Pisang Raja yang disterilisasi kemudian dihaluskan menggunakan blender hingga memiliki tekstur yang halus. Pada reaktor produksi seperti ditunjukkan pada Gambar 2, substrat dan larutan nutrisi dicampurkan dan dihomogenkan. *Magnetic stirrer* dimasukkan ke dalam reaktor untuk membantu proses pengadukan selama proses produksi biohidrogen berlangsung. Reaktor yang telah berisi medium produksi ditutup dan direkatkan dengan lem bakar dan plastisin sehingga tidak akan terjadi kebocoran gas. Kultur campuran yang telah mengalami proses *enrichment* disuntikkan ke dalam reaktor melalui lubang kecil yang terdapat pada tutup reaktor. Setelahnya, reaktor dilakukan *flushing* dengan gas nitrogen yang bertujuan untuk memastikan bahwa proses fermentasi dilakukan secara anaerob. Reaktor dilapisi dengan *aluminium foil* agar tidak ada cahaya yang

masuk dan fermentasi dilakukan dengan minim cahaya atau dengan metode fermentasi gelap. Selang dimasukkan ke dalam reaktor produksi melalui lubang pada penutup reaktor dan dihubungkan dengan gelas ukur yang berisi air sebagai indikator adanya gas yang dihasilkan dari proses produksi dengan ditandai adanya gelembung gas dan menurunnya volume air yang terdapat pada gelas ukur. Volume air yang turun dicatat sebagai volume biohidrogen yang dihasilkan dari produksi. Sampel gas diambil melalui selang yang menghubungkan antara reaktor dan gelas ukur menggunakan spuit.

D. Metode analisis

Volume gas total yang dihasilkan diukur dengan *water displacement method* dan konsentrasi *volatile solid* (VS) diukur dengan metode gravimetri. Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan metode RSM (*Response Surface Method*), dengan variasi pH 5 : 6 : 7, dan variasi konsentrasi penambahan H_2O_2 yaitu 0,4 mM : 0,6 mM : 0,8 mM. Penelitian ini diulang dengan teknik duplo dan menggunakan faktorial 3^2 sehingga menghasilkan 9 data. Desain eksperimen yang akan dilakukan pada riset disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2. Reaktor Produksi Biohidrogen

Tabel 1. Tabel Desain Eksperimen

No.	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂
1	5	0,4	Y _{1a}	Y _{2a}
2	5	0,6	Y _{1b}	Y _{2b}
3	5	0,8	Y _{1c}	Y _{2c}
4	6	0,4	Y _{1d}	Y _{2d}
5	6	0,6	Y _{1e}	Y _{2e}
6	6	0,8	Y _{1f}	Y _{2f}
7	7	0,4	Y _{1g}	Y _{2g}
8	7	0,6	Y _{1h}	Y _{2h}
9	7	0,8	Y _{1i}	Y _{2i}

Keterangan :

X₁ : Variasi pH

X₂ : Variasi Konsentrasi H₂O₂

Y₁ : Volume Biohidrogen

Y₂ : Persentase VS (*Volatile Solid*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada riset ini terdapat reaktor yang digunakan sebagai tempat fermentasi gelap berlangsung. Fermentasi berlangsung selama 72 jam. Reaktor terbuat dari gelas kaca yang tentu dipilih karena kaca cenderung tidak bereaksi dengan bahan kimia. Reaktor yang digunakan didesain dengan pengukur volume gas yang transparan agar fluktuasi volume gas biohidrogen yang dihasilkan dapat teramati

dengan baik. Dalam rangkaian reaktor, terdiri dari *magnetic stirrer*, gelas ukur, bak penampung air, dan selang *input* dan *output* untuk menghubungkan dan menyalurkan gas biohidrogen dari reaktor fermentasi ke pengukur volume gas. Pengamatan volume gas biohidrogen yang dihasilkan dilakukan dengan *water displacement method*, dimana penurunan volume air yang terdapat pada gelas ukur dianggap sebagai volume gas yang dihasilkan.

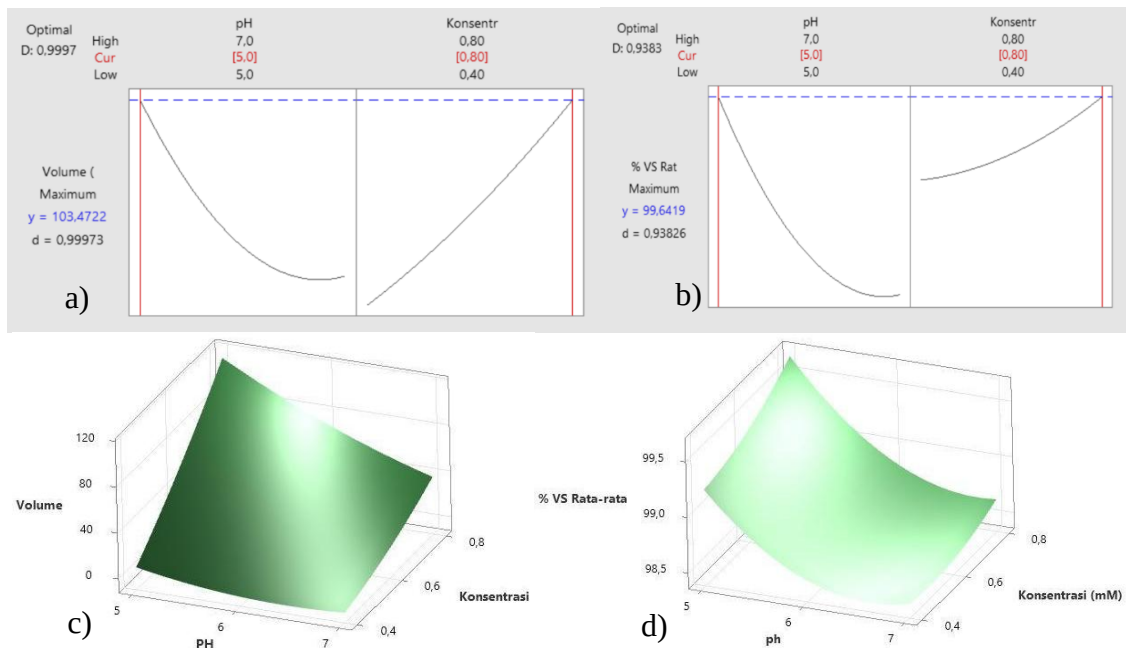
Tabel 2. Data Percobaan Pengukuran Total Volume Gas dan Persentase *Volatile Solid*

No.	pH	Konsentrasi H ₂ O ₂	Volume gas (mL)	% <i>Volatile Solid</i>
1	5	0,4	2,5±2,5	99,1849±0,0007
2	5	0,6	69,0±1,0	99,2990±0,1145
3	5	0,8	103,5±3,5	99,7331±0,1187
4	6	0,4	2,0±2,0	98,5341±0,2715
5	6	0,6	2,0±0,0	98,9031±0,500
6	6	0,8	30±5,0	98,5695±0,4475
7	7	0,4	0,0±0,0	98,5367±0,0553
8	7	0,6	2,5±1,5	98,2557±0,3357
9	7	0,8	40±3,0	98,8271±0,2475
10		Kontrol	1,5±0,5	92,9325±0,3043

Selain volume biohidrogen, terdapat parameter lain yang diukur dari riset ini, yaitu *volatile solid*. *Volatile solid* disebut juga sebagai padatan yang menguap. Dalam hal ini, pengujian *volatile solid* dilakukan dengan sampling substrat setelah proses fermentasi. Substrat hasil fermentasi disaring dan ditimbang serta dicatat sebagai berat awal, setelahnya substrat dioven pada suhu 105°C selama 1 jam. Setelah dilakukan pemanasan menggunakan oven, substrat dilanjutkan ke proses pengabuan menggunakan *furnace* pada suhu 600°C selama 30 menit dan setelahnya ditimbang sebagai berat akhir. Nilai *volatile solid* diambil dari persentase berat sampel yang hilang setelah proses pengabuan dibanding dengan berat sampel total sebelum proses pengabuan [10].

Pada riset ini, terdapat 2 faktor yang menjadi variabel, di antaranya yaitu pH dan konsentrasi H₂O₂ sebagai katalis dalam produksi biohidrogen. Variasi pH yang digunakan yaitu pH 5; pH 6; dan pH 7 sedangkan konsentrasi katalis yang digunakan yaitu 0,4 mM, 0,6 mM, dan 0,8 mM. Analisis

data dalam riset ini menggunakan metode RSM (*Response Surface Method*) yang disimulasikan pada aplikasi Minitab 21. Berdasarkan kurva *response optimizer*, diketahui bahwa kondisi optimum dalam produksi biohidrogen yang menghasilkan *yield* yang tinggi yaitu pada pH 5 dengan konsentrasi H₂O₂ 0,8 mM. Salah satu parameter uji dalam riset ini yaitu *volatile solid*. *Volatile solid* atau padatan volatil merupakan material yang mengandung zat padat dan menguap pada suhu 550°C serta dapat disebut juga sebagai padatan organik total [11]. Senyawa organik yang terkandung dalam *volatile solid* seperti protein, karbohidrat, glukosa, dan lainnya serta menguap pada suhu 550°C dianggap sebagai jumlah yang mewakili banyaknya mikroorganisme yang terdapat dalam sampel [12]. Selain itu, menurut sebelumnya, pH 5 sampai 6 merupakan kondisi yang cukup efektif untuk pertumbuhan bakteri biohidrogen [13]. Nilai persentase *Volatile Solid* dalam riset ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan grafik pada Gambar 3 (b dan d).



Gambar 3. a) Grafik *Response Optimizer* Volume Biohidrogen, b) Grafik *Response Optimizer* % *Volatile Solid*, c) Grafik *Response Surface* Volume Biohidrogen, d) Grafik *Response Surface* % *Volatile Solid*.

Dari grafik pada Gambar 3 (b dan d), dapat diketahui bahwa pada pH 5 nilai persentase dari *volatile solid* yang dihasilkan cukup tinggi jika dibandingkan dengan pada pH 6 dan 7 yang terus mengalami penurunan. Penurunan bahan organik atau *solid* pada setiap medium produksi dipengaruhi oleh kondisi mikroorganisme yang ada di dalamnya [14]. Semakin stabil nilai VS selama proses biodegradasi anaerobik menunjukkan semakin banyak senyawa organik yang terurai [15]. Penggunaan kulit pisang raja menghasilkan % VS yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan substrat dari limbah organik lain seperti daun bayam, nasi, dan buah tomat yang hanya menghasilkan % VS sebanyak 77-83% [16]. Selain % VS, riset ini juga mengukur volume biohidrogen yang dihasilkan selama proses fermentasi dengan *water displacement*

method di mana penurunan volume air dalam gelas ukur dianggap sebagai volume biohidrogen dengan ditandai adanya gelembung gas yang masuk ke dalam gelas ukur melalui selang. *Yield* volume biohidrogen yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2 dan grafik pada Gambar 3 (a dan c).

Dari grafik pada Gambar 3 (a dan c), dapat dilihat bahwa pH 5 dapat menghasilkan *yield* volume biohidrogen yang tinggi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa derajat keasaman optimum untuk dapat menghasilkan gas H_2 dari karbohidrat yaitu pada rentang pH 4,5-6 [17]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pH 5 merupakan kondisi fermentasi yang paling optimal dalam produksi biohidrogen [18]. Produksi gas hidrogen yang fluktuatif dapat diidentifikasi dari hubungan antara produksi

gas hidrogen dan asam-asam organik [6]. Asam-asam organik yang dihasilkan dari proses fermentasi karbohidrat dapat menjadi faktor penghambat produksi biohidrogen [19]. Hal tersebut dapat disebabkan karena produksi asam organik yang tinggi dapat membuat pH pada produksi menjadi *drop* dan menghambat bakteri penghasil H_2 untuk memproduksi gas. Sedangkan pH yang terlalu tinggi di-kawatirkan tidak masuk dalam rentang optimum derajat keasaman yang sesuai dengan produksi biohidrogen. Dengan adanya penambahan H_2O_2 , produksi biohidrogen dapat menghasilkan nilai yang cukup signifikan terhadap *yield* volume biohidrogen yang dihasilkan disebabkan karena H_2O_2 dapat mengurangi adanya asam-asam organik tersebut. Jika dibandingkan dengan kontrol atau tanpa penambahan katalis H_2O_2 , *yield* volume biohidrogen yang dihasilkan cukup meningkat secara signifikan. Hal ini menandakan bahwa penambahan katalis H_2O_2 dinilai mutakhir untuk meningkatkan produksi biohidrogen berbahan baku limbah kulit pisang raja. Data yang dihasilkan dari riset ini menunjukkan pola perlakuan bahwa semakin tinggi konsentrasi H_2O_2 yang digunakan maka *yield* volume gas yang dihasilkan semakin besar. Konsentrasi H_2O_2 yang paling optimal adalah 0,8 mM, sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa konsentrasi H_2O_2 sebesar 0,6 mM dan 0,8 mM memberikan pengaruh yang signifikan [6]. Akan tetapi, data pada penelitian ini tidak menunjukkan penurunan total volume gas

seiring pertambahan konsentrasi H_2O_2 [7,6]. Hal ini memungkinkan bahwa penggunaan katalis H_2O_2 dalam proses produksi biohidrogen pada penelitian ini tidak menimbulkan terlalu banyak stres oksidatif yang memperlambat aktivitas bakteri penghasil H_2 [7]. Studi lain menunjukkan bahwa konsentrasi H_2O_2 yang paling optimal dalam menghasilkan biogas adalah yang paling tinggi, namun hal tersebut tidak memiliki tren yang signifikan, meskipun nilai pelepasan gula total meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi H_2O_2 [8].

Ketersediaan buah pisang di Indonesia yang melimpah berbanding lurus dengan jumlah kulit pisang yang dihasilkan. Konsumsi buah pisang di Indonesia mencapai 2,42 juta ton [20]. Kulit buah pisang merupakan produk sampingan utama buah pisang yang berjumlah sekitar 40% dari berat total buah [21]. Maka jika diproyeksikan, Indonesia mampu menyumbang limbah kulit pisang sebesar 968 ribu ton dalam 1 tahun. Berdasarkan hasil yang didapat dari riset ini, apabila limbah kulit pisang tersebut diolah menjadi biohidrogen, maka total volume gas yang akan didapat adalah sebanyak $3,34 \times 10^8$ Liter. Berdasarkan penelitian mengenai produksi biohidrogen, kadar gas hidrogen yang terdapat pada total volume gas dari hasil fermentasi dapat mencapai hingga 25,877 mL/L [6]. Dari data tersebut, maka dapat disimulasikan bahwa dari 968 ribu ton limbah kulit pisang yang ada di Indonesia dapat menghasilkan gas biohidrogen sebesar 8.640.000 Liter.

KESIMPULAN DAN SARAN

Produksi biohidrogen dengan penambahan katalis H_2O_2 dapat memberikan nilai yang cukup signifikan terhadap *yield* biohidrogen yang dihasilkan, jika dibandingkan dengan tanpa penambahan katalis. Konsentrasi katalis dan pH optimum pada produksi biohidrogen yaitu pada konsentrasi 0.8 mM dengan pH 5 yang menghasilkan *yield* volume biohidrogen sebanyak $103,5 \pm 3,5$ ml. Dari nilai persentase *volatile solid* dan volume gas yang dihasilkan, dapat diketahui bahwa kedua hal tersebut saling berbanding lurus, di mana semakin tinggi nilai persentase *volatile solid* yang diartikan sebagai banyaknya senyawa organik yang terurai, maka semakin banyak pula volume biohidrogen yang dihasilkan dari proses fermentasi tersebut.

Konsentrasi katalis yang optimum untuk menghasilkan *yield* tertinggi yaitu pada konsentrasi 0.8 mM atau pada variasi konsentrasi tertinggi yang digunakan. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan dengan variasi konsentrasi H_2O_2 yang lebih tinggi. Selain itu, riset mengenai biohidrogen ini perlu untuk terus dikembangkan dan diharapkan dapat menjadi proyeksi energi masa depan yang bersifat *biorenewable* serta dapat membantu Indonesia dalam mewujudkan *Net Zero Emission* pada tahun 2060.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. E. Tjahjana, N. Heryana, dan N. A. Wibowo, "Penggunaan sistem informasi geografis (SIG) dalam pengembangan kebun percobaan," *SIRINOV*, vol. 3, no. 2, Des., pp. 103-111, 2015.
- [2] M. F. Tiang, M. A.F. Hanipa, P. M. Abdul, J. M. Jahim, S. S. Mahmod, M. S. Takriff, C. H. Lay, A. Reungsang, dan S. Y. Wu. "Recent advanced biotechnological strategies to enhance photo-fermentative biohydrogen production by purple non-sulphur bacteria: an overview," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 24, Mei, pp. 13211-13230, 2020.
- [3] M. Fatimura, R. Masriatini, dan F. Putri, "Pemanfaatan limbah kulit pisang menjadi karbon aktif dengan variasi konsentrasi aktivator NaCl," *Jurnal Redoks*, vol. 5, no. 2, Jan., pp. 87-95, 2020.
- [4] A. Proverawati, I. Nuraeni, B. Sustriawan, dan I. Zaki, "Upaya peningkatan nilai gizi pangan melalui optimalisasi potensi tepung kulit pisang raja, pisang kepok, dan pisang ambon," *J. Gipas*, vol. 3, no. 1, Mei, pp. 49-63, 2019.
- [5] R. Amalia, N. Sinaga, dan S. W. A. Suedy, "Tinjauan singkat teknologi produksi biohidrogen melalui konversi

- biomassa,” *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*, vol. 19, no. 1, Juni, pp. 1 - 9, 2021.
- [6] A.D. Farini, S. Sarto, dan S. Purwono, 2019. “Pengaruh konsentrasi peroksida terhadap produksi biohidrogen dari limbah buah jeruk melalui metode fermentasi gelap,” *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, vol. 11, no. 2, Juni, pp. 114-121, 2019.
- [7] A. D. Kharisma, Y. Amekan, Sarto, dan M. N. Cahyanto. “Effect of hydrogen peroxide on hydrogen production from melon fruit (*Cucumis melo L.*) waste by anaerobic digestion microbial community,” *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 1, Feb., pp. 95-101, 2022.
- [8] S. Sayoud, K. Derbal, A. Panico, L. Pontoni, M. Fabbicino, F. Pirozzi, dan A. Benalia. “The effect of hydrogen peroxide on biogas and methane produced from batch mesophilic anaerobic digestion of spent coffee grounds,” *Fermentation*, vol. 11, no. 2, Jan., pp. 60-72, 2025.
- [9] F. Sarlinda, S. Sarto, dan M. Hidayat, “Kinerja dan kinetika produksi biohidrogen secara batch dari sampah buah melon dalam reaktor tangki berpengaduk,” *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 12, no. 1, Mei, pp. 32 - 40, 2018.
- [10] E. K. Orhorhoro, P. O. Ebunilo, dan G. E. Sadjere, “Experimental determination of effect of total solid (TS) and volatile solid (VS) on biogas yield,” *American Journal of Modern Energy*, vol. 3, no. 6, Nov., pp. 131-135, 2017.
- [11] A. M. Ritonga, M. Masrukhi, dan A. I. Safiâ, ”Karakterisasi biogas hasil pemurnian dengan down-up purifier termodifikasi,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, Mei, pp. 171-179, 2021.
- [12] F. Yulistiani, A. R. Permanasari, I. Ridwan, A. Nurhasanah, dan S. Warda, “Analisis pengaruh pre-treatment eceng gondok sebagai bahan baku pembuatan biogas,” *Dalam Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2017, pp. 35-41.
- [13] Z. Ulma., N. Faiizn., Y. Hananto., Qanitah. “Optimization of Biohydrogen Production from Vinasse and Cow Manure Using the Response Surface Method (RSM),” *Dalam IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2024, 012062.
- [14] A. Fairuz, A. Haryanto, dan A. Tusi. “Pengaruh penambahan ampas kelapa dan kulit pisang terhadap produksi biogas dari kotoran sapi,” *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 4, no. 2, Apr., pp. 91-98, 2015.
- [15] T. D. Oktiana, J. Santoso, dan M. Kawaroe. “Alga hijau (*Ulva sp.*) sebagai bahan baku produksi biogas,” *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 7, no. 1, Juni, pp. 191-203, 2015.

- [16] R. Mrosso, A. C. Mecha, dan J. Kiplagat. "Characterization of kitchen and municipal organic waste for biogas production: Effect of parameters," *Heliyon*, vol. 9, no. 5, Mei, e16360, 2023.
- [17] J. Wei, Z. T. Liu, dan X. Zhang, "Biohydrogen production from starch wastewater and application in fuel cell," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 29, April, pp. 49-52, 2010.
- [18] S. Yani, N. Nurjannah, dan M. Muhlis. "Produksi biohidrogen dari sampah organik kulit pisang dengan cara fermentasi anaerob dengan peninjauan analisa ekonomi sederhana," *Journal of Chemical Process Engineering*, vol. 7, No. 1, Mei, pp. 54-57, 2022.
- [19] N. Ren dan M. L. Gong, "Characteristics and operation of enhanced continuous biohydrogen production reactor using support carrier," *NCBI Journal*, vol. 27, no. 6, Juni, pp. 1176 - 1180, 2006.
- [20] R. Mustajab, "Data Konsumsi Pisang di Indonesia (2015-2022)," *dataindonesia.id*, para. 1, Des. 13, 2023. [Daring]. Available:<https://dataindonesia.id/agribisnis-kehutanan/detail/data-konsumsi-pisang-di-indonesia-20152022>. [Diakses: 4 Agustus 2024].
- [21] A. A. Khoozani, J. Birch, dan A. E. D. A. Bekhit, "Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry," *Journal of food science and technology*, vol. 56, no. 2, Feb., pp. 548-559, 2019.