Optimasi Penambahan Natrium Sulfat (NA_2SO_4) Pada Membran Berongga Menggunakan Semen Pada *Microbial Electrolysis Cell* (MEC)

(Optimization Of The Addition Of Sodium Sulfate (NA_2SO_4) In Hollow Membranes Using Cement In Microbial Electrolysis Cell (MEC))

1st Monica Tri Buana Putri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
monicatribuanaputri@telkomuniversity.ac.id

2nd M. Ramdlan Kirom
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
mramdlankirom@telkomuniversity.co.id

3rd Amaliyah Rohsari Indah Utami
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id

Abstrak*—Microbial Electrolysis Cell (MEC) merupakan pendekatan baru dan menjanjikan untuk produksi hidrogen (H2) dari bahan organik, termasuk air limbah dan sumber daya terbarukan lainnya. Tujuan penelitian ini adalah Mengetahui variasi rasio konsentrasi Na_2SO_4 dalam memproduksi gas hidrogen (H2), Mengetahui konsentrasi Na_2SO_4 dalam menghasilkan keluaran gas hidrogen (H2) yang maksimal. Desain alat ini dirancang menggunakan dual chamber yang terdiri dari dua bagian, yaitu anoda dan katoda. Reaktor dihubungkan dengan membran berongga dengan bahan dasar semen dan natrium sulfat (Na_2SO_4). Substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit nanas yang difermentasikan selama dua hari dan lumpur sawah yang akan diletakkan di reaktor anoda, sedangkan aquades akan diletakkan direaktor katoda. Penelitian ini berfokus pada optimalisasi penambahan natrium sulfat (Na_2SO_4) pada MEC menggunakan semen. Pembuatan membran berongga dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi natrium sulfat (Na_2SO_4) untuk menghasilkan gas hidrogen (H2) yang terbaik. Pada penelitian ini konsentrasi natrium sulfat (Na_2SO_4) yang optimal untuk menghasilkan gas hidrogen (H2) adalah 10,06 mol/L pada tegangan 2,4 Volt. Gas hidrogen (H2) terbanyak dihasilkan pada konsentrasi natrium sulfat (Na_2SO_4) 10,06 mol/L dengan tegangan 3 Volt yaitu sebesar 2632 PPM. Konsentrasi natrium sulfat (Na_2SO_4) dan besar tegangan sangat berpengaruh dalam menghasilkan gas hidrogen (H2) pada penelitian ini.

Kata kunci — *gas hidrogen, mec, membran berongga, substrat*

Abstract*—Microbial Electrolysis Cell (MEC) is a new and promising approach for the production of hydrogen (H2) from organic materials, including wastewater and other renewable resources. The purpose of this study was to determine the variation of the concentration ratio of Na_2SO_4in producing hydrogen gas (H2), to determine the concentration of Na_2SO_4in producing the maximum output of hydrogen gas (H2). The design of this tool is designed to use a dual chamber consisting of two parts, namely the anode and cathode. The reactor is connected to a hollow membrane with cement and sodium sulfate (Na_2SO_4) as the base material. The substrate used in this study was pineapple peel which was fermented for two days and rice field mud which would be placed in the anode reactor, while distilled water would be placed in the cathode reactor. This research focuses on optimizing the addition of sodium sulfate (Na_2SO_4) to MEC using cement. The hollow membrane was made by varying the concentration of sodium sulfate (Na_2SO_4) to produce the best hydrogen gas (H2). In this research, the optimal concentration of sodium sulfate (Na_2SO_4) to produce hydrogen gas (H2) is 10.06 mol/L at a voltage of 2.4 Volts. Hydrogen gas (H2) is mostly produced at a concentration of sodium sulfate (Na_2SO_4) of 10.06 mol/L with a voltage of 3 Volts, which is 2632 PPM. The concentration of sodium sulfate (Na_2SO_4) and the magnitude of the voltage are very influential in producing hydrogen gas (H2) in this study.

***Keywords* — hydrogen gas, mec, hollow membrane, substrate**

I. PENDAHULUAN

Kehidupan saat ini tak terlepas dari energi, kebutuhan energi akan semakin meningkat seiring bertambahnya pertumbuhan penduduk [1]. Pada tahun 2003, peraih nobel Dr. Richard Smalley menyatakan bahwa "energi adalah satu-satunya tantangan paling kritis yang dihadapi umat manusia" [2]. Sebagian besar energi yang banyak digunakan adalah berasal dari bahan bakar fosil (batubara, gas alam, dan minyak bumi). Sumber energi batubara, gas alam, dan minyak bumi yang merupakan sumber daya tidak berkelanjutan yang pada suatu saat dapat habis seluruhnya. Sumber energi dari bahan bakar fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbarui, karna sumber energi dari fosil membutuhkan proses yang sangat lama untuk diuraikan oleh alam [2].

Hidrogen (H_2) memiliki potensi yang luar biasa sebagai bahan bakar dan sumber energi yang dapat diterima lingkungan untuk kendaraan [3]. Hidrogen (H_2) dapat diubah menjadi energi mekanik dengan efisiensi yang jauh lebih besar karena dapat digunakan dalam sel bahan bakar sekitar dua kali efisiensi pembakaran dalam mesin pembakaran internal. Pembakaran hidrogen (H_2) berpotensi lebih bersih daripada pembakaran bahan bakar nabati lainnya yang menyemburkan polutan yang dapat berbahaya bagi lingkungan dan Kesehatan [4]. hidrogen dapat diproduksi dengan menggunakan beberapa metode atau proses yang berbeda, diantaranya metode elektrolisis, *steam reforming*, proses termokimia siklus *sulfur-iodine,* biofotolisis dan proses fermentasi gelap (*dark fermentation*) [5].

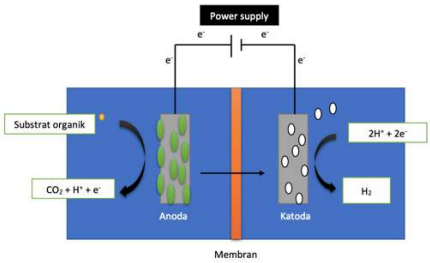
Microbial Electrolysis Cell (MEC) merupakan pendekatan baru dan menjanjikan untuk produksi hidrogen (H_2) dari bahan organik, termasuk air limbah dan sumber daya terbarukan lainnya [6]. Dalam hal ini bahan organik yang digunakan penulis untuk susbtratnya adalah limbah yang mudah terurai. MEC terdiri atas 2 bagian yang terpisah (*Dual Chamber*) yang dihubungkan oleh *Proton Exchange Membrane* (PEM). PEM merupakan membran yang paling menjanjikan untuk aplikasi sistem energi terbarukan karena konduktivitas proton yang relatif tinggi pada suhu rendah, operasionalnya yang mudah, bebas polusi, menggunakan membran elektrolit sehingga tidak mudah korosi, efisiensi yang cukup tinggi yaitu mencapai 50%, bisa dioperasikan pada temperatur rendah dan relatif cepat. Kelemahan dari nafion adalah harganya yang relatif mahal, maka dari itu penulis mencari alternatif lain yang bisa menggantikan PEM dengan harga yang lebih murah.

Penggunaan membran berongga dari bahan dasar semen dengan penambahan natrium sulfat (Na_2SO_4) dapat menggantikan PEM, selain itu harga semen dan natrium sulfat (Na_2SO_4) relatif murah jika dibandingkan dengan nafion. Pada penelitian ini, alat yang dicancang berupa sistem yang bisa memproduksi gas hidrogen dengan penambahan natrium sulfat (Na_2SO_4) pada membran berongga menggunakan semen pada *Microbial Electrolysis Cell* (MEC).

II. KAJIAN TEORI

A. Prinsip Kerja MEC

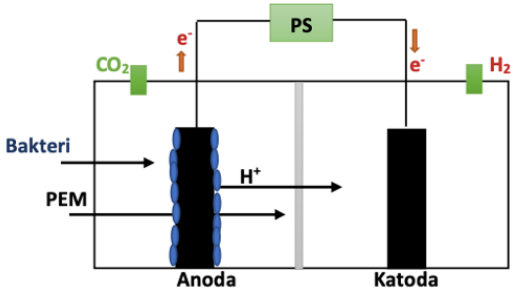
MEC adalah perangkat yang memanfaatkan energi dan proton yang dihasilkan oleh mikroba yang memecah bahan organik, dikombinasikan dengan arus listrik kecil tambahan, untuk menghasilkan hidrogen [8]. Dalam MEC, bakteri yang aktif secara elektrokimia mengoksidasi bahan organik dan menghasilkan CO_2, elektron dan proton. Kulit nanas dan lumpur akan menjadi mikroba elektrolisis pada proses ini. Bakteri mentransfer elektron ke anoda dan proton dilepaskan ke larutan. Elektron kemudian berjalan melalui kawat ke katoda dan bergabung dengan proton bebas dalam larutan. Namun, proses ini tidak terjadi secara spontan. Untuk menghasilkan hidrogen di katoda dari kombinasi proton dan elektron ini, reaktor MEC memerlukan tegangan yang disuplai dari luar (≥0.2 V) di bawah kondisi bantuan biologis pH = 7, T = 30° C, P = 1atm (1,01 x 10^5 Pa) [15]. Pada penelitian ini sistem MEC menggunakan dua bagian (*dual chamber*) yaitu bagian anoda dan katoda. Gambar 2.1 berikut adalah cara kerja MEC skema *dual chamber*.



GAMBAR 2.1
CARA KERJA MEC DUAL CHAMBER

B. Microbial Electrolysis Cell (MEC) Dual Chamber

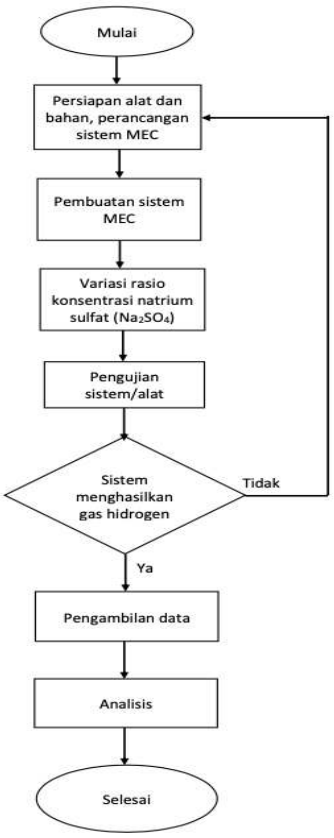
Microbial Electrolysis Cell (MEC) merupakan kemanfaatan limbah untuk menghasilkan jenis gas hidrogen, dimana gas hidrogen yang dihasilkan dari reaksi antara katoda dan anoda. Dalam MEC sistem diberi tegangan pada elektroda dan menghasilkan gas hidrogen. Proses pembentukan hidrogen yaitu dengan proses fermentasi limbah organik secara anaerob oleh bakteri. MEC kebutuhan terdiri atas 2 bagian yang terpisah (*Dual Chamber*), diantara *Dual Chambers* ini terdapat bagian pemisah yaitu membran selektif. Fungsi utama membran selektif ini ialah memisahkan katoda dan anoda, membran ini Memungkinkan untuk terjadinya transfer proton dari anoda ke katoda [9]. MEC *Dual Chambers* dikembangkan oleh An dan Lee yang memberikan luas permukaan anoda yang besar terhadap luas permukaan membran, sambil menjaga jarak pendek antara anoda dan katoda [10]. Pada Gambar 2.2 berikut adalah skema tipe *Dual Chamber* dalam pembentukan gas hidrogen



GAMBAR 2.2
SKEMA TIPE DUAL CHAMBER DALAM PEMBENTUKAN GAS HIDROGEN

III. METODE

A. Metode Penelitian

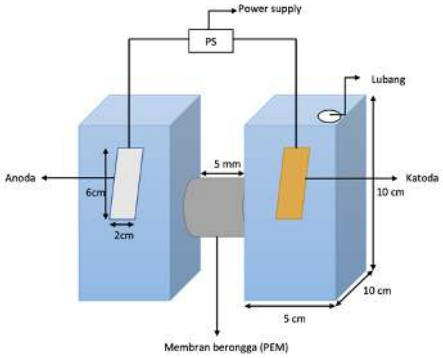


GAMBAR 2.3
DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam melakukan percobaan, yaitu diantaranya yang pertama Studi Literatur, Dilakukan dengan mencari dan membaca referensi materi yang bersumber dari jurnal, paper, buku, tugas akhir, dan sumber lainnya yang berhubungan dengan MEC, hidrogen, dan pengaruh konsentrasi pencampuran natrium sulfat (Na_2SO_4), yang kedua Persiapan dan perancangan sistem Pada tahap ini penulis mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Selanjutnya mendesain dan melakukan perancangan sistem MEC, ketiga pembuatan sistem MEC dilakukan dengan menggunakan desain alat yang telah dirancang pada tahap sebelumnya, keempat variasi rasio konsentrasi natrium sulfat (Na_2SO_4), tahap ini dilakukan pembuatan membran berongga menggunakan semen dengan memvariasikan rasio konsentrasi Na_2SO_4 sebagai campuran dari semen, kelima pengujian alat dilakukan dengan melakukan eksprimen dengan menggunakan substrat, keenam jika sistem menghasilkan gas hidrogen (H_2) maka akan lanjtu ke tahap selanjutnya yaitu pengambilan data, tapi jika sistem gagal menghasilkan gas hidrogen (H_2) maka akan kembali ke tahap awal dan menganalisis kesalahan yang menyebabkan sistem tidak menghasilkan gas hidrogen (H_2), terakhir pengambilan data dilakukan saat pengujian alat, dengan mengambil data variabel-variabel yang akan dianalisis.

B. Perancangan MEC

Pada penelitian ini elektroda yang dirancang terdiri dari dua bagian (*dual chamber*) yaitu anoda dan katoda. Pada anoda menggunakan plat kecil dari bahan seng dan pada katoda menggunakan plat kecil dari bahan tembaga. Ukuran plat yang ada pada katoda dan anoda adalah panjang 6 cm, lebar 2 cm dan tebal 0,2 cm. Penelitian ini menggunakan dua reaktor dengan bahan dasar akrilik, ukuran reaktor yang digunakan adalah tinggi 10 cm, panjang 10 cm, dan lebar 5 cm. Reaktor MEC terdiri dari dua bagian (*dual chamber*) yaitu bagian anoda dan bagian katoda yang dihubungkan dengan membran berongga berbentuk tabung lingkaran. Gambar 2.4 adalah desain sistem MEC yang akan digunakan pada penelitian



GAMBAR 2.4
DESAIN SISTEM MEC

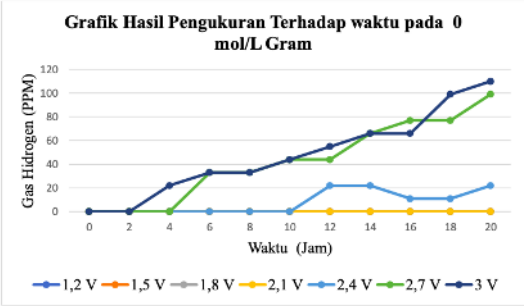
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Produksi Gas Hidrogen (H_2)

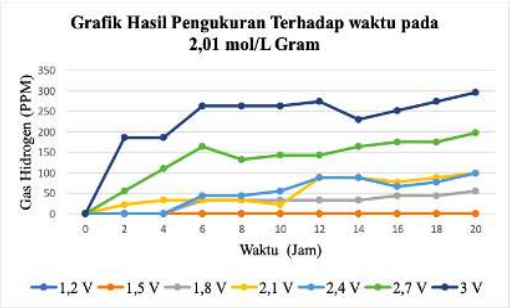
Produksi gas hidrogen (H_2) menggunakan MEC dengan memanfaatkan limbah kulit nanas yang difermentasikan selama dua hari. Nanas memiliki kandungan 86,70% air, 10,54% karbohidrat dan 13,65% gula reduksi yang berpotensi untuk menghasilkan gas hidrogen (H_2). Substrat kulit nanas yang difermentasikan akan dicampurkan dengan lumpur yang kemudian akan diletakkan di bilik anoda, sedangkan pada bilik katoda akan diletakkan aquades. Kedua *chamber* akan diinputkan tegangan dari luar menggunakan *power supply*, untuk mengalirkan elektron dari anoda ke katoda. pada bilik anoda diletakkan *seng* yang dihubungkan pada sumber tegangan positif sedangkan pada bilik katoda diletakkan tembaga yang dihubungkan pada sumber tegangan negatif. Campuran fermentasi kulit nanas dan lumpur akan menghasilkan bakteri yang nantinya pada proses pembentukan gas hidrogen (H_2) bisa menghasilkan elektron dan proton. Bakteri kemudian mentransfer elektron ke anoda dan proton akan dilepaskan ke aquades. Elektron yang mengalir menuju katoda akan bertemu dan kemudian mengikat proton bebas di katoda untuk menghasilkan gas hidrogen (H_2).

B. Hasil Pengujian Gas Hidrogen (H_2) dan Pengambilan Data

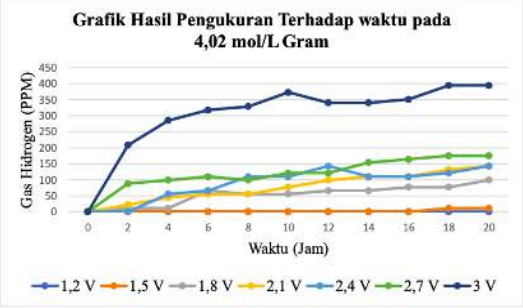
Grafik berikut adalah hasil pengukuran gas hidrogen (H_2) pada saat pengambilan data



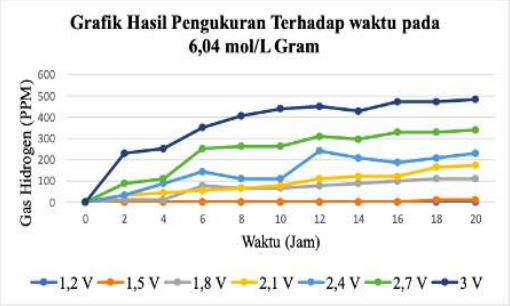
GAMBAR 4.1
HASIL PENGUKURAN GAS HIDROGEN TERHADAP WAKTU PADA 0 MOL/L GARAM



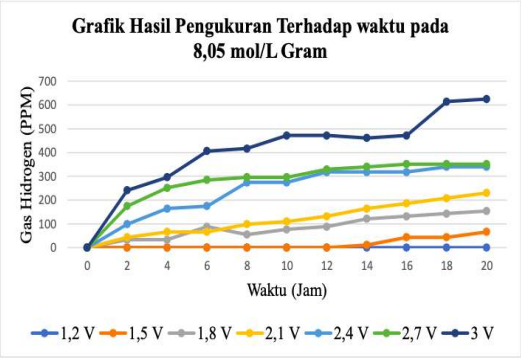
GAMBAR 4.2
HASIL PENGUKURAN GAS HIDROGEN TERHADAP WAKTU PADA 2,01 MOL/L GARAM



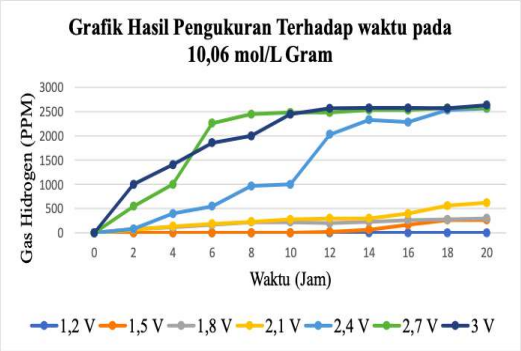
GAMBAR 4.3
HASIL PENGUKURAN GAS HIDROGEN TERHADAP WAKTU PADA 4,02 MOL/L GARAM



GAMBAR 4.4
HASIL PENGUKURAN GAS HIDROGEN TERHADAP WAKTU PADA 6,04 MOL/L GARAM



GAMBAR 4. 5
HASIL PENGUKURAN GAS HIDROGEN TERHADAP WAKTU PADA 8,05 MOL/L GARAM



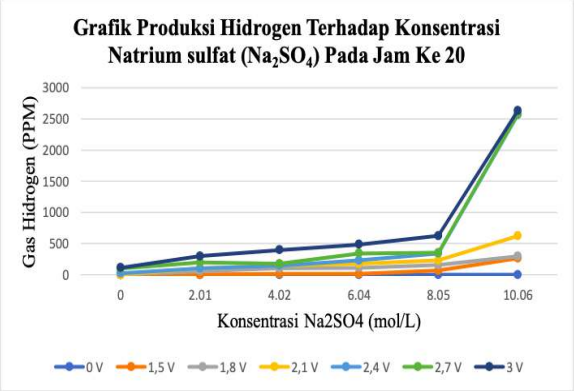
GAMBAR 4. 6
HASIL PENGUKURAN GAS HIDROGEN TERHADAP WAKTU PADA 10,06 MOL/L GARAM

Dari hasil yang didapatkan pada saat melakukan pengujian alat berdasarkan Tabel 4.1 sampai Tabel 4.6 pada sumber tegangan 1,2 Volt MEC belum menghasilkan gas hidrogen (H_2). Gas hidrogen (H_2) mulai terbentuk pada sumber tegangan 1,5 Volt, mulai optimal dan mendekati perhitungan teoritis saat sumber tegangan 2,4 Volt yaitu 2029 PPM. Gas hidrogen (H_2) maksimum dihasilkan pada saat sumber tegangan 3 Volt yaitu 2632 PPM. Pada penelitian ini tegangan yang diinputkan mulai dari 1,2 Volt sampai 3 Volt, dan mendapatkan nilai gas hidrogen (H_2) pada sumber tegangan 1,5 Volt.

Penelitian ini membutuhkan input tegangan lebih besar dibanding 0,8 Volt, hal ini dikarenakan pada penelitian ini penulis menggunakan limbah kulit nanas yang difermentasikan sebagai substrat. Bakteri pada substrat kulit nanas berkembang pada saat tertentu, sehingga mempengaruhi produksi gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan. Dilihat dari data yang dihasilkan pada penelitian ini bakteri biasanya akan aktif secara baik pada suhu dan waktu tertentu. Pada jam 11.00 sampai 16.00 disaat suhu ruang naik, biasanya produksi gelembung pada plat tembaga mengalami penurunan, hal ini yang menyebabkan pada jam tersebut produksi gas hidrogen (H_2) mengalami penurunan. Saat malam hari ketika suhu ruang kembali normal biasanya produksi gas hidrogen (H_2) akan kembali mengalami kenaikan, biasanya ini terjadi mulai jam 17.00 hingga 10.00

A. Pengaruh Konsentrasi Natrium sulfat (Na_2SO_4) pada Membran Berongga Terhadap Gas Hidrogen (H_2) yang Dihasilkan

Hasih produksi gas hidrogen (H_2) pada membran berongga dengan konsentrasi natrium sulfat (Na_2SO_4) 0 mol/L sampai 10,06 mol/L dapat dilihat pada Gambar



GAMBAR 4. 7
GRAFIK PRODUKSI GAS HIDROGEN (H2) PADA JAM KE 20

Berdasarkan grafik pada Gambar dilihat bahwa membran berongga yang menggunakan 0 mol/L natrium sulfat (Na_2SO_4) hanya menghasilkan gas hidrogen (H_2) maksimum sebesar 110 PPM pada sumber tegangan 3 Volt. Hal ini disebabkan karna tidak ada katalisator untuk membantu aliran proton menjadi lebih baik. Pada membran berongga yang menggunakan 0 mol/L sampai 8,05 mol/L natrium sulfat (Na_2SO_4) gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan belum optimal dan sangat jauh dari hasil perhitungan secara teoritis. Membran berongga mulai optimal digunakan pada penelitian ini adalah dengan jumlah konsentrasi 10,06 mol/L natrium sulfat (Na_2SO_4) pada jam ke 14 pada sumber tegangan 2,4 Volt yaitu 2328 PPM, hasil gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan hampir mendekati dengan perhitungan teoritis. Jumlah maksimum gas hidrogen (H_2) yang dihasilan adalah pada sumber tegangan 3 Volt pada jam ke 20 yaitu 2632 PPM, jumlah produksi gas hidrogen (H_2) ini bahkan melebihi hitungan teoritis. natrium sulfat (Na_2SO_4) disini berfungsi sebagai katalisator untuk membantu aliran proton agar lebih baik dan meningkatkan proses pengaliran proton melalui rongga material semen.

V. KESIMPULAN

A. Dari hasil data yang didapatkan konsentrasi natrium sulfat (Na2SO4) yang optimal digunakan untuk menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang sesuai dengan hitungan teoritis adalah 10,06 mol/L.
B. Pengaruh tegangan sebagai injeksi bakteri pada penelitian ini dengan sumber tegangan 1,2 Volt sampai 3 Volt adalah semakin besar tegangan yang diinputkan maka konsentrasi gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan semakin besar.
C. Dibandingkan dari penelitian sebelumnya di Penn State University dan Wageningen University di Netherlands yang menggunakan asam asetat sebagai substrat, kulit nanas membutuhkan waktu yang lama untuk penguraian bakteri untuk menjadi asam asetat sehingga membutuhkan waktu yang lama dan sumber tegangan lebih tinggi untuk menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang optimal.

REFERENSI

E. K. H. E Hugeng Wandono, "EFEKTIVITAS LIMBAH KULIT KERING NANAS MADU (Ananas Comosus l.Merr)UNTUK PEMBUATAN BIOETANOL DENGAN PROSES FERMENTASI DAN DISTILASI," *Jurnal Energi Baru & Terbarukan,* vol. 1(2), pp. 32-41, 2020.

I. E. A. (IEA), "international Energy Outlook," 2014. [Online]. Available: www.eia.gov/forecasts/ieo/index.cfm. [Accessed 29 september 2021].

G. B. I. M.-A. R. C. C. Ramos, "Effect of initial total solids concentration and initial pH on the biohydrogen production from cafeteria food waste," no. Int. J. Hydrogen Energy 37 (2012) 13288–13295. .

J. M. S. S. a. A. R. I. U. Angling, Analisis Pengaruh Parameter-parameter Reaktor Hidrogen Pada Konsumsi Bahan Bakar Motor Bakar, eProceedings of Engineering 7.1, 2020.

D. C. S. C. H. H. T. S. A. W. J. B.E. Logan, "Microbial electrolysis cells for high yield hydrogen gas production from organic matter," vol. Environ. Sci. Technol. 42 (2008) 8630–8640..

A. Darma, "Pengaruh Laju Alir Umpan Serta Waktu Tinggal Dalam Pemanfaatan Air Limbah Industri Tahu Menjadi Biogas Melalui Fermentasi Anaerob Dengan Sistem Batch. Diss.," vol. 2015. PhD Thesis. Politeknik Negeri Sriwijaya. .

Energy Efficiency & Renewable Energy, Hydrogen Production: Microbial Biomass Conversion, Washington, DC 20585: U.S Dapartemen of Energy.

H. H. G. E. S. M. C. B. R.A. Rozendal, "Principle and perspectives of hydrogen production through biocatalyzed electrolysis," no. Int. J. Hydrogen Energy 31 (2006) 1632–1640..

M. M. B. L. P.A. Selembo, "The use of stainless steel and nickel alloys as low-cost cathodes in microbial electrolysis cellsJ.," vol. Power Sources 190 (2009) , p. 271–278.

A. P. R. D. S. E. F. H. G. P. A. G. G. Kyazze, "Influence of catholyte pH and temperature on hydrogen production from acetate using a two chamber concentric tubular microbial electrolysis cell," Vols. Int. J. Hydrogen Energy 35 (2010) 7716-7722.