

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SUBSTRAT DAN TEGANGAN
TERHADAP PRODUKSI GAS HIDROGEN DENGAN MICROBIAL
ELECTROLYSIS CELL DUAL CHAMBER MENGGUNAKAN SUBSTRAT
NASI SELAMA 21 JAM**

*(Influence Of Variation Substrate Concentration And Voltage On Hydrogen Gas
Production With Microbial Electrolysis Cell Dual Chamber Using Rice Substrate
for 21 Hours)*

Anggi Putri Rianty¹, M. Ramdhan Kirom², Nurwulan³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹anggiputri@student.telkomuniversity.ac.id ²mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id,
³nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Microbial electrolysis cell (MEC) merupakan salah satu solusi alternatif bahan bakar. MEC memiliki faktor terpenting dalam memproduksi gas hidrogen yaitu tegangan dan substrat. Dalam penelitian ini akan dibuat sistem MEC yang bertujuan untuk memperoleh gas hidrogen melalui variasi limbah nasi dan tegangan. Variasi tegangan mulai dari 0,1 volt hingga 1,5 volt dan variasi konsentrasi nasi yaitu 71,14 mg/ml, 47,42 mg/ml, dan 23,714 mg/ml. Kelebihan dari MEC yang akan dibuat adalah MEC dinilai lebih murah karena berbasis limbah organik yang mudah ditemukan dan reaktor yang digunakan lebih kecil. Pada penelitian ini limbah yang digunakan adalah limbah nasi yang akan dicampur dengan lumpur. Pada MEC terdapat dua bilik yaitu bilik anoda dan katoda dan terdapat tegangan yang diinputkan. Gas hidrogen yang dihasilkan pada bilik katoda akan diukur oleh alat ukur gas hidrogen. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, gas hidrogen yang tertinggi adalah 746 PPM pada tegangan 0,8 volt dengan konsentrasi nasi yaitu 71,14 mg/ml. Berdasarkan hasil percobaan dinyatakan bahwa sistem MEC dengan menggunakan substrat nasi terbukti dapat menghasilkan gas hidrogen

Kata Kunci: *Microbial Electrolysis Cell*, Substrat, Tegangan, Produksi Gas Hidrogen

Abstract

Microbial electrolysis cell (MEC) is an alternative fuel solution. MEC has the most important factors in producing hydrogen gas, that is voltage and substrate. In this research, an MEC system will be created which aims to obtain hydrogen gas through variations of rice waste and voltage. Voltage variations ranging from 0.1 volts – 1,5 volts and variations in the concentration of rice are 71,14 mg/ml, 47,42 mg/ml, dan 23,714 mg/ml. The advantage of MEC in this experiment is that MEC is considered cheaper because it is based on organic waste which is easy to find and the reactor used is smaller. In this experiment, the substrate used is rice waste mixed with mud. In this MEC there are two chambers, that is anode and cathode chambers, and input voltage. The hydrogen gas produced in the cathode chamber will be measured by a hydrogen gas detector. Experimental results showed the highest hydrogen gas was 746 PPM at a voltage of 0.8 volts with a rice concentration of 71,14 mg/ml. Based on the experimental results, it is stated that the MEC system using rice as a substrate is proven to produce hydrogen gas.

Keywords: *Microbial Electrolysis Cell*, Substrate, Voltage, Hydrogen Gas Production

1. Pendahuluan

Energi merupakan sesuatu yang penting dan akan terus digunakan manusia. Pada tahun 2020, kebutuhan energi yang digunakan berkisar sekitar 107 hingga 199 juta SBM[1]. Kondisi tersebut membuat ketersediaan bahan bakar seiring berlajannya waktu akan semakin menipis. Bahan bakar juga dinilai tidak ramah lingkungan. Hal ini menyebabkan perlu adanya alternatif bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Produksi hidrogen dapat dilakukan dengan teknologi yang

murah dan mudah dengan memanfaatkan limbah yang melalui proses untuk menjadi hidrogen. Salah satu teknologi yang dapat menghasilkan gas hidrogen yaitu *microbial electrolysis cell* (MEC).

MEC memiliki faktor terpenting dalam memproduksi gas hidrogen yaitu tegangan dan substat. Pada penelitian sebelumnya, MEC yang digunakan menggunakan larutan asam asetat sebagai substrat bukan menggunakan limbah organik. Beberapa penelitian yang dilakukan tentang MEC juga menyatakan bahwa pada penelitian mereka, tegangan 1 volt merupakan tegangan yang paling bagus [2][3]. Sehingga pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem MEC dapat menghasilkan gas hidrogen dengan menggunakan limbah nasi, selain itu pada penelitian ini percobaan dengan mengubah konsentrasi nasi dan tegangan untuk mengetahui produksi gas hidrogen yang maksimal dengan limbah nasi sehingga tegangan yang diinputkan dapat lebih kecil.

Pada penelitian ini, alat yang dirancang berupa sistem yang akan menghasilkan produksi gas hidrogen yaitu *Microbial electrolysis cell*. MEC juga didesain dengan menggunakan membran atau dengan *dual chamber*. Penelitian oleh Abudukeremu Kadie dan teman-teman memberi saran agar desain reaktor lebih kecil karena memiliki biaya yang lebih murah dan membuat produksi hidrogen yang dihasilkan dapat lebih optimal[4]. Pada MEC menggunakan substat bahan organik, jenis substat yang digunakan adalah limbah nasi yang dicampur dengan lumpur. Lumpur yang digunakan adalah lumpur sawah dikarenakan mikroorganisme tumbuh lebih cepat pada lumpur sawah [5]. Nasi dipilih karena mengandung karbohidrat sebanyak 40,6 gr[6], nasi juga memiliki kandungan glukosa yang tinggi yang dapat digunakan sebagai sumber makanan pada mikroorganisme. Pada penelitian ini diharapkan sistem dapat memproduksi gas hidrogen, dan juga mengetahui pengaruh adanya variasi tegangan yang diinjeksikan pada substrat dan juga variasi konsentrasi dari limbah nasi untuk menghasilkan gas hidrogen yang maksimal.

2. Dasar Teori

2.1 Produksi Hidrogen

Bakteri dapat menghasilkan hidrogen melalui limbah organik ataupun limbah bio seperti limbah rumah tangga, limbah industri serta limbah pertanian. Untuk memperoleh hidrogen yang murni harus memisahkan hidrogen dari unsur-unsur lain yang membantuk senyawa tersebut[7]. Hidrogen diproduksi paling banyak dari metana atau bahan fosil yang lainnya. Tetapi produksi tersebut dinilai tidak sebersih dan ramah lingkungan. Beberapa metode dalam memproduksi hidrogen yaitu:

1. *Steam reforming*

Produksi hidrogen yang paling sering digunakan adalah menggunakan metode *steam reforming*. Kelebihan dari metode ini adalah bebas karbon dan biaya lingkungan yang rendah. Kekurangan dalam menggunakan metode *steam reforming* adalah sangat bergantung pada ketersediaan gas alam dan juga *steam reforming* melepaskan gas rumah kaca berupa CO₂ yang akan menyebabkan pemanasan global[7].

2. Elektolisis air

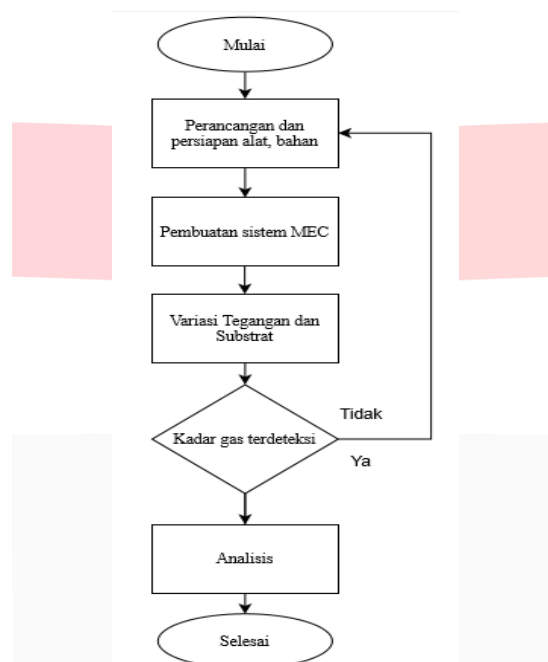
Elektolisis air memanfaatkan arus listrik untuk mengurai senyawa air menjadi gas hidrogen dan oksigen. Pada tahun 1800, Sir Anthony melakukan penelitian bahwa elektrolisis air dilakukan dengan melewati arus listrik, sehingga air dapat diuraikan menjadi unsur-unsur pembentuknya[7]. Pada elektrolisis air digunakan elektroda bermuatan positif yang disebut anode dan elektroda negatif yang disebut katode. Ketika dialiri arus listrik, molekul air akan terurai menjadi ion hidrogen dan ion oksigen. Ion hidrogen yang bermuatan positif akan berkumpul pada anode, sedangkan ion oksigen bermuatan negatif akan berumpul pada katode. Hidrogen murni yang dihasilkan pada proses ini tidak akan menimbulkan polusi ketika listrik yang digunakan berasal dari generator listrik berupa angin, air, ataupun panas matahari. Kekurangan metode ini yaitu metode ini dinilai sangat mahal karena pada prosesnya membutuhkan energi yang cukup besar[7].

2.2 Prinsip Kerja MEC

MEC memanfaatkan aktivitas dari limbah yang akan mengoksidasi bahan organik untuk menghasilkan gas hidrogen. Bakteri yang diletakan pada anoda akan secara elektrokimia mengoksidasi dan menghasilkan CO_2 , elektron, dan proton. Penambahan lumpur pada limbah nasi akan menjadi mikroba elektrolisis. Elektron hasil dari metabolime mikroba pada anoda akan bergerak melalui kawat ke katoda, dimana akan proton dan elektron akan tereduksi untuk membentuk gas hidrogen. Sedangkan proton akan dialirkan pada katoda melalui jembatan garam. Namun, hal ini tidak terjadi secara spontan, untuk menghasilkan hidrogen pada katoda memerlukan tegangan dari luar. MEC membutuhkan tegangan melalui catu daya.

3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam melakukan yaitu yang pertama melakukan studi literatur melalui jurnal, buku, dan penelitian yang telah dilakukan pada tahun-tahun sebelumnya yang berkaitan dengan materi penelitian yang dilakukan. Selanjutnya melakukan perancangan sistem MEC berupa reaktor, substrat, jembatan garam, elektroda. Selanjutnya melakukan persiapan alat serta bahan yang akan digunakan dalam melakukan penelitian, baik alat dan bahan utama ataupun alat dan bahan penunjang. Selanjutnya pembuatan sistem MEC, eksperimen dengan memasukkan variasi tegangan dan substrat, mendeteksi adanya kadar gas dengan menggunakan alat ukur gas hidrogen. Pada tahap mendeteksi adanya kadar gas, tidak terdeteksi adanya gas maka penelitian akan kembali pada tahap perancangan sistem MEC untuk memperbaiki sistem untuk mencari solusi tidak terdeteksinya gas, tetapi jika terdeteksi adanya gas maka dilanjutkan pada tahapan analisis. Pada penelitian ini, digunakan beberapa parameter dalam melakukan penelitian yaitu variasi tegangan dan juga variasi konsentrasi substrat limbah nasi.

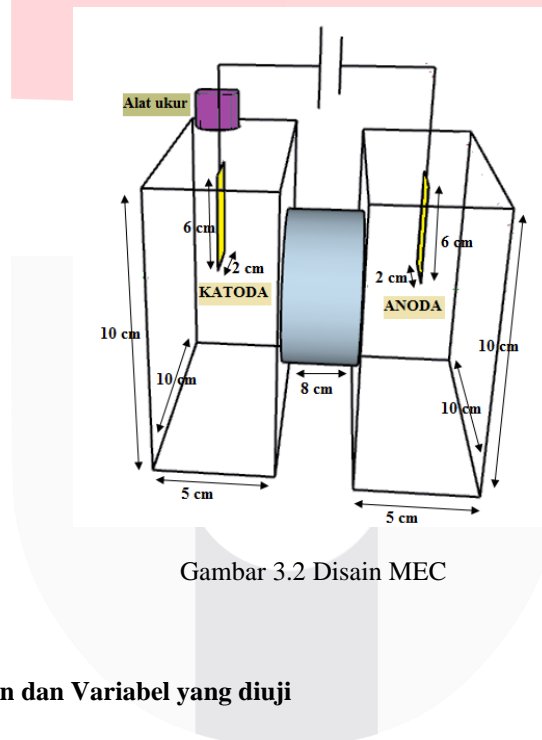
3.2 Perancangan Sitem MEC

Pada tahap perancangan, MEC akan menggunakan tiga reaktor yang berbahan dasar akrilik dengan ukuran reaktor yaitu panjang 10 cm, lebar yaitu 5 cm, dan tinggi 10 cm. Pada tahap persiapan sistem reaktor MEC akan dibagi menjadi anoda dan katoda yang akan disambungkan dengan jembatan garam. Bahan pada anoda yang digunakan yaitu seng yang berbentuk plat dengan ukuran

panjang yaitu 6 cm, lebar yaitu 2 cm, dan tebal yaitu 1 mm. Pada katoda bahan yang digunakan yaitu tembaga yang berbentuk sama dan memiliki ukuran yang sama juga seperti anoda.

Jembatan garam yang digunakan berupa pipa akan menghubungkan antara katoda dan anoda. Pada pipa akan ada sumbu kompor dan agar-agar. Sumbu kompor dengan panjang 188 cm untuk satu jembatan garam, sumbu kompor akan dimasukkan ke dalam pipa yang sebelumnya telah direndam oleh NaCl. Pipa PVC yang digunakan memiliki ukuran 1 inci dan panjang 8 cm. Anoda dan katoda akan dimasukkan ke dalam reaktor dan akan dihubungkan pada tegangan. Sebelum penggunaan dan sesudah, anoda dan katoda akan disterilkan menggunakan alkohol. Pada anoda dan katoda akan dipasang penutup berbahan akrilik dan selama sistem dijalankan akan ditutup. Pada katoda akan dilubangi sebagai jalan keluar gas hidrogen yang dihasilkan. Saluran lubang akan digunakan untuk alat ukur gas hidrogen mengukur gas hidrogen yang terbentuk. Susbtat yang digunakan yaitu limbah akan dicampur oleh lumpur.

Limbah nasi terlebih dahulu dibersihkan dan dihaluskan sehingga teksturnya akan menjadi seperti bubur. Kemudian lumpur akan dicampur dengan air dan masukan kedalam anoda yang terlebih dahulu limbah nasi telah dimasukan. Limbah nasi, lumpur dan air pada bilik anoda akan dicampur. Berikut gambar desain dari MEC yang ditunjukkan pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Disain MEC

3.3 Variabel Pengujian dan Variabel yang diuji

3.3.1 Variabel Pengujian

Variabel pengujian yang akan diuji yaitu tegangan yang akan dihubungkan pada anoda dan katoda serta konsentarsi limbah nasi pada bilik anoda. Pengujian pada setiap tegangan dilakukan dengan waktu 21 jam.

3.3.2 Variabel yang diuji

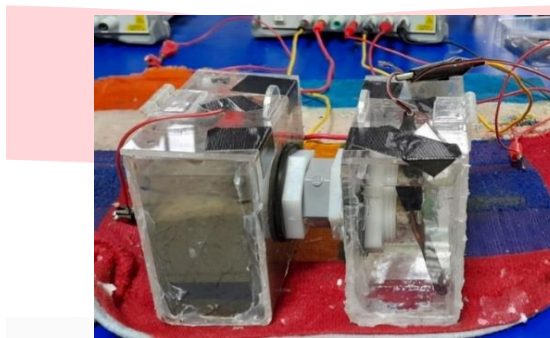
Variabel yang akan diukur adalah gas hidrogen yang dihasilkan oleh sistem.

4. Hasil dan Analisis Data

4.1 Proses Produksi Gas Hidrogen dengan Menggunakan MEC

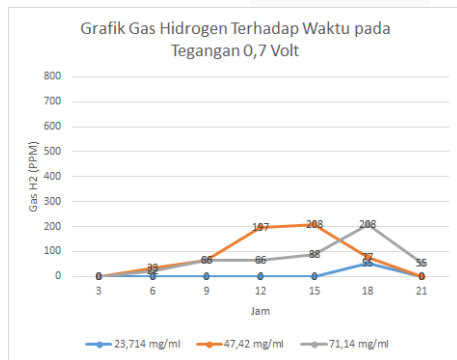
Prinsip kerja MEC memanfaatkan aktivitas dari limbah organik. MEC memiliki potensi mengubah bahan organik menjadi sesuatu yang berguna bagi masyarakat yaitu gas hidrogen. Pada

MEC terdapat anoda dan katoda yang menjadi tempat untuk menghasilkan gas hidrogen. Pada penelitian ini menggunakan *duall chamber*, dimana terdapat jembatan garam antara anoda dan katoda. Pada anoda terdapat limbah nasi yang telah tercampur dengan lumpur. Nasi memiliki kandungan glukosa yang tinggi dapat digunakan sebagai bahan makanan untuk bakteri pada substrat. Bakteri akan mengurai glukosa pada nasi menjadi asam asetat. Senyawa asam asetat ini yang dimanfaatkan untuk dapat menghasilkan gas hidrogen. Setelah proses penguraian, pada bilik anoda bakteri secara elektrokimia mengoksidasi substrat tersebut untuk menghasilkan proton, elektron dan CO₂. Elektron yang menempel pada elektroda di anoda akan ditransfer ke katoda melalui sirkuit eksternal dengan bantuan catu daya. Pada sistem, tegangan yang diinputkan pada anoda dan katoda digunakan untuk menggerakkan transportasi elektron dari anoda ke katoda. Sedangkan proton yang dihasilkan pada bilik anoda akan didifusikan melalui jembatan garam menuju katoda. Penggunaan membran atau jembatan garam selain mendifusikan proton juga dapat mengurangi persilangan hidrogen yang dihasilkan dengan substat pada bilik anoda. Elektron yang melewati sirkuit eksternal ke katoda akan bertemu dan mengikat proton yang bebas di katoda untuk membentuk gas hidrogen. Gelembung-gelembung gas hidrogen yang ada pada katoda akan terangkat keatas dan dibaca oleh alat ukur gas hidrogen.

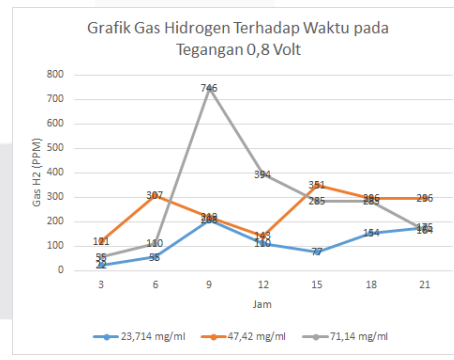


Gambar 4. 1 Sistem MEC

4.2 Pengamatan Gas Hidrogen yang dihasilkan



(a)



(b)



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengamatan Gas Hidrogen Terhadap Variasi Tegangan

Pengamatan kadar gas yang dihasilkan dilakukan setiap 3 jam sekali selama 21 jam untuk setiap tegangan yang diinputkan dalam 1 reaktor dengan menggunakan alat ukur gas hidrogen. Pada tegangan 0,1 hingga 0,6 volt tidak ada gas yang terdeteksi oleh alat ukur gas hidrogen. Gas hidrogen mulai tercipta pada tegangan 0.7 volt. Dan pada tegangan ke 1,4 volt gas hidrogen hanya ada pada konsentrasi nasi 47,42 mg/ml pada jam ke-9 yaitu 22 ppm, selain itu hasilnya 0 ppm. Pada 1,5 volt tidak ada gas hidrogen yang dihasilkan.

4.3 Pengaruh Tegangan yang di inputkan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, pada gambar 4.2 gas hidrogen yang dihasilkan tertinggi pada tegangan 0,8 volt yaitu 746 PPM. Jika tegangan yang diinputkan lebih dari 0,8 volt hasil gas hidrogen yang dihasilkan oleh sistem tidak lebih besar dari 0,8 volt. Bahkan jika tegangan yang diinputkan lebih dari 1,2 volt akan cenderung gas hidrogen yang dihasilkan kecil bahkan hingga tidak ada gas hidrogen yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan jurnal oleh Abdullah Almatou yang menyatakan bahwa tegangan yang tinggi dapat menghambat aktivitas bakteri dan mempengaruhi oksidasi pada ruang anoda sehingga proton yang dihasilkan rendah, sehingga menyebabkan gas hidrogen yang dihasilkan semakin sedikit[8]. Pada percobaan ini tegangan awal yang dibutuhkan lebih besar yaitu 0,7 volt disebabkan oleh limbah yang digunakan pada saat

percobaan yaitu limbah nasi. Limbah nasi membutuhkan proses yang lebih panjang agar menjadi asam asetat dan membutuhkan inputan tegangan lebih untuk dapat memproduksi gas hidrogen. Pada percobaan yang telah dilakukan, tegangan maksimal untuk dapat memproduksi gas hidrogen pada penelitian ini adalah 1,4 volt. Hal ini disebabkan pada tegangan 1,4 volt merupakan batas maksimal bakteri substrat nasi yang ada pada anoda, jika tegangan diterapkan melampaui batas maksimal, maka akan kehilangan fungsi biotiknya untuk melakukan aktivitas oksidasi substrat[3].

4.4 Pengaruh Konsentrasi Nasi



Gambar 4.3 Grafik Gas Hidrogen Terhadap Variasi Substrat

Berdasarkan gambar grafik 4.3 gas hidrogen yang dihasilkan mengalami naik turun dan produksi gas hidrogen tertinggi untuk setiap tegangan yang di inputkan rata-rata pada konsentrasi nasi 47,42 mg/ml, selanjutnya 71,14 mg/ml dan yang terakhir 23,714 mg/ml. Ini bisa disebabkan oleh faktor tegangan yang diinputkan sehingga hasil transfer elektron dan proton juga berbeda yang berpengaruh pada hasil gas hidrogen yang dihasilkan dan juga *range* waktu pengujian karena kompleksnya kandungan yang ada pada nasi tersebut sehingga memerlukan banyak waktu untuk dapat memproduksi gas hidrogen. Tetapi untuk menghasilkan gas hidrogen yang maksimal konsentrasi nasi yang digunakan adalah 71,14 mg/ml, sesuai dengan hasil percobaan gas hidrogen yang dihasilkan yaitu 746 PPM, sedangkan pada konsentrasi 47,42 mg/ml gas hidrogen yang dihasilkan tertinggi yaitu 296 PPM dan pada konsentrasi 23,714 mg/ml gas hidrogen yang dihasilkan 208 PPM pada tegangan 0,8 volt. Hal ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Abdullah Almatouq dan A.O. Babatunde yang menyatakan bahwa konsentrasi COD yang tinggi pada substrat menyebabkan proses pengolahan yang tinggi, dimana bakteri membutuhkan lebih banyak waktu untuk memproduksi gas hidrogen[8]. Sehingga untuk menghasilkan gas hidrogen dengan cepat konsentrasi nasi yang terbaik dalam percobaan ini adalah 47,42 mg/ml, tetapi untuk menghasilkan gas hidrogen yang maksimal dalam percobaan ini adalah 71,14 mg/m

5. Kesimpulan

Sistem MEC dengan menggunakan limbah nasi terbukti dapat menghasilkan gas hidrogen. Proses produksi gas hidrogen terbentuk pada penelitian ini sama dengan model seperti MFC dimana reaktor yang digunakan lebih sederhana. Gas hidrogen yang dihasilkan maksimal pada percobaan

ini yaitu 746 PPM dengan tegangan yang inputkan adalah 0,8 volt dengan konsentrasi nasi 71,14 mg/ml. Tegangan dan substrat berpengaruh pada produksi gas hidrogen yang dihasilkan, tegangan yang diinputkan lebih dari 1,2 volt menyebabkan produksi gas hidrogen cenderung lebih kecil. Tegangan ideal dalam percobaan ini untuk menghasilkan gas hidrogen maksimal adalah 0,8 volt. Konsentrasi substrat 71,14 mg/ml dapat menghasilkan gas hidrogen maksimal dalam percobaan ini. Pada saat percobaan gas hidrogen yang dihasilkan mengalami naik turun, hal ini disebabkan oleh aktivitas dari bakteri yang ada pada substrat tersebut.

Referensi:

- [1] J. Santosa and I. Rahardjo, *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2020 Dampak Pandemi COVID-19 terhadap Sektor Energi di Indonesia*, no. September. 2020.
- [2] K. Rabaey, K. Guo, and A. Pr, "A novel tubular microbial electrolysis cell for high rate hydrogen production," pp. 1–7, 2017, doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.03.029.
- [3] S. S. Lim, J. M. Fontmorin, P. Izadi, W. R. Wan Daud, K. Scott, and E. H. Yu, "Impact of applied cell voltage on the performance of a microbial electrolysis cell fully catalysed by microorganisms," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 4, pp. 2557–2568, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.11.142.
- [4] A. Kadier, Y. Simayi, P. Abdesahian, N. F. Azman, K. Chandrasekhar, and M. S. Kalil, "A comprehensive review of microbial electrolysis cells (MEC) reactor designs and configurations for sustainable hydrogen gas production," *Alexandria Eng. J.*, vol. 55, no. 1, pp. 427–443, 2016, doi: 10.1016/j.aej.2015.10.008.
- [5] W. A. Purnama, "ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DENGAN SUBSTRAT LUMPURSAWAH TERHADAP PRODUKSI ARUS LISTRIKMICROBIAL FUELCELL," Telkom university, 2020.
- [6] S. Pendidikan *et al.*, "SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF Intan Nurul Zahriani Dwi Heru Sutjahjo," pp. 171–182, 2013.
- [7] Triyani, *ENERGI TERBAHARUKAN ENERGI HIFROGEN*, Perdana. Jakarta: PT PERCA, 2017.
- [8] A. Almatouq and A. O. Babatunde, *Concurrent hydrogen production and phosphorus recovery in dual chamber microbial electrolysis cell*, vol. 237. Elsevier Ltd, 2017.