

# Analisis Membran Berongga Berbahan Semen Terhadap Produksi Listrik Pada *Microbial Fuel Cell* Dengan Variasi Ketebalan

## *Porous Cement Membrane Analysis On Electricity Production In Microbial Fuel Cell With Thickness Variation*

1<sup>st</sup> Syafrialdi Musfar  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
syafrialdimusfar@student.telkomu  
niversity.ac.id

2<sup>nd</sup> M.Ramdlan Kirom  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
mramdlankirom@telkomuniversity  
.ac.id

3<sup>rd</sup> Nurwulan Fitriyanti  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**—*Microbial Fuel Cell* adalah sistem pembangkit yang mengandalkan reaksi katalis menggunakan mikroba, reaksi yang terjadi berasal dari interaksi antara bakteri dan senyawa lain sehingga menghasilkan ion elektron dan proton. Dari ion elektron dan proton yang dihasilkan akan menimbulkan perbedaan potensial listrik sehingga menghasilkan listrik. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan energi primer pada bidang bioenergi. Rancangan *Microbial Fuel Cell* (MFC) menggunakan *dual-chamber* yang dimana pada masing-masing *chamber* berisi katoda dan anoda, selain itu juga terdapat *Proton exchange membrane* (PEM) sebagai salah satu bagian utama pada MFC yang memisahkan *dual-chamber*. *Proton exchange membrane* (PEM) merupakan salah satu komponen utama dalam MFC, berfungsi sebagai tempat pertukaran proton dari ruangan anoda ke katoda. Penelitian berfokus pada analisis ketebalan membran berbahan baku semen putih (WPC) dengan 4 variasi ketebalan terhadap produksi listrik dengan menggunakan limbah tahu sebagai substratnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sensor tegangan dan arus, pengukuran dilakukan selama 15 hari dengan pengambilan data dilakukan setiap hari. Didapatkan bahwa nilai keluaran terbesar terdapat pada membran 3 mm dengan nilai keluaran maksimum sebesar 11 mW/m<sup>2</sup>.

**Kata kunci** — *Chamber, Microbial Fuel Cell, Proton Exchange Membrane*

**Abstract**—*Microbial Fuel Cell* is a generating system that relies on a catalytic reaction using microbes, the reaction comes from the interaction between bacteria and other compounds to produce electron and proton. These electrons and protons will cause an electric potential difference to produce electricity. *Microbial Fuel Cell* (MFC) is one solution to supply primary energy needs in the bioenergy field. The design of the *Microbial Fuel Cell* (MFC) using *dual-chamber* system where each chamber contains a cathode and anode, besides of that there is also a *proton exchange membrane* (PEM) as one of the main parts of the MFC as a separator between chambers. *Proton exchange membrane* (PEM) is one of the main parts in the MFC, which has functions to proton exchange from the anode to the cathode. The research focuses on the analysis of the membrane thickness was made from white cement (WPC) with 4 thickness variations on electricity production using tofu liquiq waste as the substrate. Measurements were made using voltage and current sensors, measured for 15 days with daily data collection. It was found that the largest output value was on a 3 mm membrane with a maximum output value of 11 mW/m<sup>2</sup>.

**Keywords**— *Chamber, Microbial Fuel Cell, Proton Exchange Membrane*

### I. PENDAHULUAN

Berkurangnya produksi fosil khususnya pada minyak bumi dan batubara membuat manusia terpicu untuk menemukan solusi sumber energi yang baru dan terbarukan (EBT), selain itu Indonesia

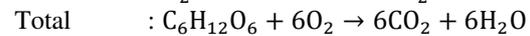
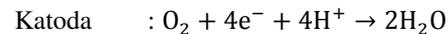
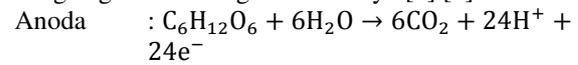
memiliki potensi EBT yang besar untuk memenuhi kebutuhan energi primer, khususnya pada bioenergi yang potensi nilainya mencapai 32,6 GW, Pemanfaat EBT di Indonesia sebagai sumber energi masihlah kecil, dimana pada tahun 2018 persentase penggunaan EBT hanya 14,4% dari total kapasitas sumber energi fosil ataupun non-fosil [1]. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu hasil pengembangan dari EBT yang berfokus pada bioenergi. MFC mengandalkan reaksi katalis menggunakan mikroba, dimana reaksi ini akan mengurai berbagai senyawa dan menghasilkan ion elektron dan proton, dari ion-ion ini akan menghasilkan beda potensial sehingga bisa menghasilkan listrik [2]. Mikroba yang digunakan pada umumnya banyak berasal dari limbah pertanian ataupun sejenisnya. Pemanfaatan limbah-limbah ini dapat menjadi solusi terhadap minumannya penggunaan limbah sebagai sumber energi di Indonesia. MFC terdapat berbagai jenis, salah satunya ialah jenis *dual-chamber*, jenis ini menggunakan 2 ruangan yaitu katoda dan anoda yang dipisahkan oleh sebuah membran yang biasa disebut *Proton Exchange Membrane* (PEM). Besar efisiensi kinerja dari MFC dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, beberapa diantaranya ialah, jenis substrat yang digunakan, luas permukaan membran, ketebalan membran, luas permukaan elektroda, jenis bahan elektroda, dsb [2]. Berdasarkan harga pasar pada umumnya harga PEM yang dijual masih tergolong mahal, hal ini menjadi masalah tersendiri yang membuat pengembangan MFC menjadi lebih lambat. Karena itu penulis melakukan penelitian untuk mengembangkan solusi alternatif lain untuk pengganti PEM. Penelitian yang dilakukan berfokus pada optimasi PEM dengan bahan dasar yang cukup mudah didapatkan yaitu semen. Selain itu, ketebalan PEM akan divariasikan untuk melihat hubungan hasil keluaran yang didapat terhadap ketebalan membran. Hasil pengukuran akan dilihat berdasarkan ketebalan membran dengan memanfaatkan limbah air tahu sebagai substart. Selain itu, perlu diketahui pengaruh hubungan ketebalan membran terhadap hasil pengukuran yang diperoleh. Elektroda menggunakan bahan Zn dan Cu sebagai anoda dan katoda.

## II. METODE

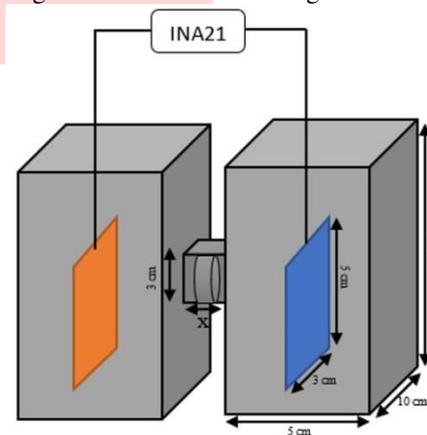
### A. Microbial Fuel Cell

*Microbial Fuel Cell* (MFC) memanfaatkan reaksi kimia untuk menghasilkan listrik, dimana elektron yang dihasilkan merupakan reaksi antar mikroba dan senyawa organik dan anorganik. Mikroba yang digunakan pada umumnya berupa bakteri alami, elektron yang dihasilkan akan tetap di anoda sedangkan proton akan di transfer ke katoda melalui sebuah membran yang disebut *Proton Exchange Membrane* (PEM). Elektron yang didapat akan mengalir menuju rangkain eksternal melalui

plat anoda. Elektron yang dihasilkan merupakan hasil reaksi mikroba pada plat anoda yang dapat mengubah senyawa organik pada limbah menjadi senyawa lainnya. Berikut reaksi yang terjadi dengan glukosa sebagai substratnya [3] [4].



MFC menggunakan sistem *dual-chamber* dengan volume maksimum mencapai 500 ml, pada *chamber* anoda akan terdapat plat Zn dengan ukuran 15 cm<sup>2</sup> sebagai elektroda dengan campuran substart 250 ml limbah air tahu dan 200 ml lumpur sawah, sedangkan pada *chamber* katoda plat Cu dengan luas 15 cm<sup>2</sup> dengan 450 ml aquades sebagai mediator antara reaksi pada ion proton dan udara, udara ini *disupply* dari pompa udara menggunakan selang yang terhubung langsung ke *chamber* katoda. Berikut gambar 2.1 desain rancangan MFC.



GAMBAR 2.1 Desain Rancangan MFC

### B. Preparasi PEM

*Proton Exchange Membrane* (PEM) merupakan salah satu bagian utama pada MFC yang berfungsi sebagai media untuk memindahkan proton dari ruang anoda ke katoda. Hal ini dapat terjadi karena membran mempunyai pori-pori yang sangat banyak dan ukurannya sangat kecil hingga sulit untuk dilalui oleh senyawa, hanya unsur kimia saja yang bisa melalui pori-pori. Proses transfer proton ini dipengaruhi oleh hukum laju difusi yang dimana banyak faktor yang mempengaruhinya, salah satunya ialah ketebalan membran. Pada hukum laju difusi saat membran yang digunakan semakin tebal maka laju difusi partikel akan semakin lambat dan berlaku sebaliknya [5].

Semen akan menjadi bahan baku utama untuk pembuatan membrane yang dimana lapisan semen mempunyai juga mempunyai pori-pori, selain itu berdasarkan sifat karakteritiknya semen memiliki sifat yang mirip dengan keramik, khususnya sebagai bahan permeabilitas. Penggunaan keramik sebagai lapisan membran untuk proses difusi masih memiliki kendala dimana membutuhkan suhu yang

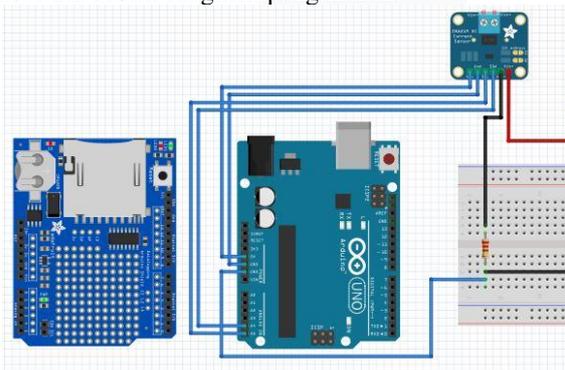
optimal agar dapat menghasilkan *output* yang maksimal [6]. Penelitian ini akan memvariasikan ketebalan membran menggunakan bahan *white portland cement* (WPC) atau biasa disebut semen putih untuk melihat pengaruh ketebalan membran terhadap *output* yang dihasilkan, ketebalan membran yang digunakan ialah 3 mm, 5 mm, 8 mm, 10 mm.

### C. Substrat

Substrat limbah yang digunakan ialah limbah air tahu disalah satu paprik pembuatan tahu di Bojongsoang. Limbah air tahu banya mengandung senyawa organik yang bisa digunakan. Sebelum digunakan limbah air tahu akan difermentasi selama 4 hari untuk mengurai senyawa yang terkandung, selain itu lumpur sawah juga digunakan sebagai substrat pada ruang anoda yang berfungsi sebagai sumber mikroba alami untuk membantu proses reaksi. Pada ruang anoda akan menggunakan aquades sebagai substrat untuk membantu proses pengikatan proton setelah melalui PEM yang akan dibantu menggunakan udara yang akan disupply melalui selang udara. Volume masing masing substrat ialah tahu 250 ml, lumpur 200 ml, aquades 450ml. Maka total volume substrat pada masing-masing *chamber* ialah 450 ml

### D. Rangkain Pengukuran

Pengukuran arus dan tegangan akan dilakukan menggunakan beberapa komponen yaitu Arduino Uno, Sensor INA219, dan SD *card module* Arduino sebagai data logger pengukuran. SD *card module* akan dihubungkan dengan Arduino Uno secara vertikal melalui pin *header* yang ada. Berikut gambar 2.2 desain rangkain pengukuran.



**GAMBAR 2.2** Desain Rangkain Pengukuran

Berdasarkan Gambar 2.2, reaktor MFC terhubung dengan beban sebesar dan juga terhubung dengan sensor INA219 sebagai sensor tegangan dan arus. sensor INA juga terhubung ke Arduino Uno agar datanya dapat diproses sehingga dapat disimpan pada data logger. Sensor INA219 juga terhubung ke data logger sebagai *supply* daya, model perhitungan dari pengukuran tegangan dan arus dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

$$P_d = \frac{P}{A}$$

Dimana :

P : Daya listrik (Watt)

V : Tegangan (Volt)

I : Kuat Arus (Ampere)

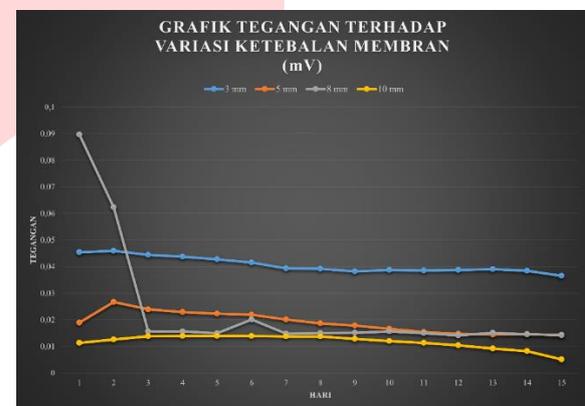
A : Luas Permukaan Elektroda (m<sup>2</sup>)

P<sub>d</sub> : Rapat Daya (Watt/m<sup>2</sup>)

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

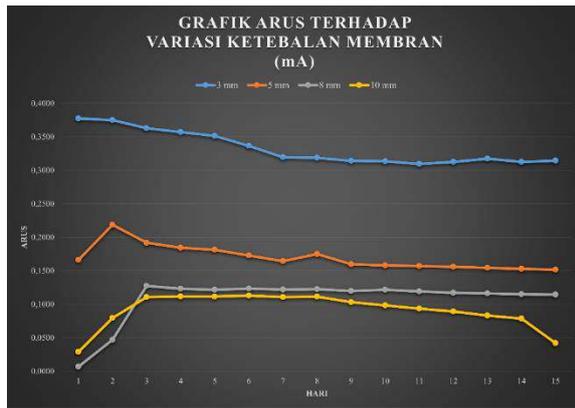
### A. Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan selama 15 hari dan pengumpulan data dilakukan setiap hari dengan delay pengukuran pada sensor dikonfigurasi setiap 10 detik, berikut gambar 4.2 grafik *output* tegangan.



**GAMBAR 4.3** Grafik *Output* Tegangan

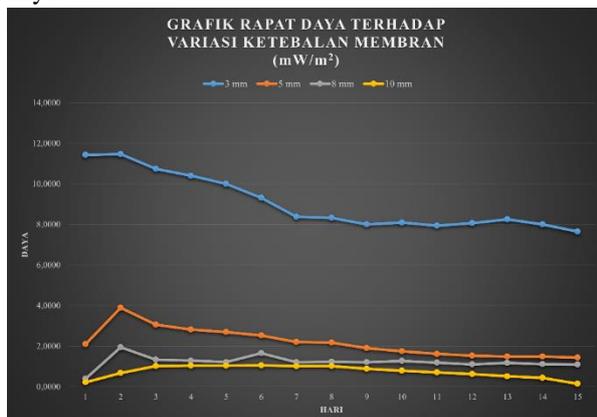
Bedasarkan hasil pengukuran yang dilakukan selama 15 hari, hasil pengukuran dengan rata-rata terbesar yaitu membran dengan ketebalan 3 mm dengan nilai 0,0407 mV. Hasil pengukuran pada membran 3 mm ini tidak terlalu fluktuatif dibanding membran lainnya. Dilihat dari grafik pengukuran pada membran 8 mm dan 10 mm cenderung jauh lebih fluktuatif. Pada membran 8 mm hari pertama dan kedua pengukuran cenderung jauh lebih tinggi dibanding hari lainnya, nilai maksimumnya mencapai, 0,0896 mV dan 0,0623 mV setelah 2 hari pertama nilai pengukuran menurun secara drastis hingga dibawah 0,015 mV, namun terjadi sedikit pada peningkatan hari ke 5 hingga ke 7 dengan nilai maksimum pengukurannya mencapai 0,02 mV. Sedangkan pada membran 10 mm peningkatan nilai mulai pada pengukuran hari ke 3 hingga ke 8 dimana nilainya stabil dikisaran 0,0137–0,0139 mV, namun setelah hari ke 8 hingga hari ke 15 nilai pengukuran mengalami penurunan drastis hingga dibawah 0,01 mV. Berikut gambar 4.3 grafik *output* arus.



Gambar 4.4 Grafik Output Arus

Berdasarkan grafik *output* arus pola grafik menunjukkan perbedaan dari grafik tegangan, pola grafik pengukuran membran 3 dan 5 mm serupa dengan pengukuran tegangan. Pada membrane 3 mm nilai rata-rata pengukuran mencapai 0,3327 mA dan nilai maksimumnya mencapai 0,3774 mA. Sama seperti membran 3 mm, membran 5 mm pada pengukuran arus juga mempunyai pola grafik yang sama pada pengukuran tegangan. Pada hari ke 2 terjadi peningkatan yang cukup besar dimana menjadi nilai maksimum pengukuran membran 5 mm dengan nilai 0,2186 mA, namun setelah hari ke 2 terjadi penurunan hingga hari ke 15 dengan nilai rata-ratanya sebesar 0,1695 mA.

pada membran 8 mm peningkatan drastis mulai terjadi pada hari 1 hingga hari ke 3 dengan nilai maksimumnya mencapai 0,1273 mA dan mulai terjadi penurunan hingga hari ke 15, penurunan nilainya cenderung stabil dengan rata-rata nilai pengukuran sebesar 0,1077 mA. Pada membran 10 mm sama seperti membran 8 mm dimana terjadi peningkatan yang cukup besar padahari ke 1 hingga hari ke 3 dengan nilai maksimum sebesar 0,0139. Penurunan yang cukup besar mulai terjadi pada hari ke 9 hingga hari ke 15 dimana nilainya dibawah 0,001 mA dan nilai rata-rata pengukuran mencapai 0,0909 mA. Berikut gambar 4.4 grafik *output* rapat daya.



GAMBAR 4.5 Grafik Ouput Rapat Daya

Berdasarkan hasil pengukuran rapat daya dapat dilihat pola grafik pada membran 3 mm nilai maksimum pengukuran mencapai 11,4218 mW/m<sup>2</sup> dan nilai rata-ratanya sebesar 9,0663 mW/m<sup>2</sup>. pada membran 5 mm dan 8 mm mempunyai pola yang serupa dengan terjadi nilai peningkatan maksimum pada hari ke 2 dan hingga hari ke 15. Besar nilai maksimum pada pengukuran membran 5 mm mencapai 3,8916 mW/m<sup>2</sup> dan nilai rata-ratanya mencapai 2,1747 mW/m<sup>2</sup>, sedangkan pada membran 8 mm nilai maksimum pengukuran mencapai 1,9443 mW/m<sup>2</sup> dan nilai rata-ratanya mencapai 0,1223 mW/m<sup>2</sup>. Membran 10 mm mempunyai pola grafik yang cenderung berbeda dari membran lainnya dimana peningkatan terjadi pada hari ke 1 hingga hari ke 3 dengan nilai maksimum mencapai 1,0433 mW/m<sup>2</sup>, namun nilai ini cenderung stabil hingga hari ke 8 dengan kisaran nilai antara 1,01 – 1,04 mW/m<sup>2</sup>. Penurunan yang cukup besar terjadi mulai hari ke 9 hingga hari ke 15 dengan nilainya dibawah 0,5 mW

#### B. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat ketebalan membran mempunyai pengaruh, dimana saat membran semakin tipis maka hasilnya akan semakin baik, hal ini didasarkan pada hukum laju difusi atau yang lebih dikenal dengan hukum Difusi Fick, hukum laju difusi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsentrasi, ketebalan membran, suhu, dll. Pada penelitian ini faktor terfokus pada ketebalan membran. Membran bertugas sebagai media untuk mentransfer proton yang telah terurai dari proses redoks (reduksi dan oksidasi) yang terjadi antar mikroorganisme dan substrat. Proton dan elektron yang dihasilkan akan menghasilkan beda potensial pada plat elektroda sehingga menghasilkan beda potensial yang akan terhubung pada rangkaian eksternal. Selain itu dapat dilihat pada hasil pengukuran bahwa terjadi penurunan nilai dari waktu ke waktu untuk setiap membran, hal ini bisa disebabkan karena senyawa organik yang dibutuhkan bakteri pada proses degradasi menjadi lebih sedikit hingga mempengaruhi hasil pengukuran.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan yang dinyatakan dalam beberapa poin diantaranya.

1. Dari 4 macam ketebalan membran, membrane 3 mm menghasilkan energi listrik yang paling besar dari 3 membran

lainnya, sedangkan membran 10 mm menghasilkan energi listrik yang paling kecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan membran mempengaruhi hasil penelitian, dimana semakin tipis membran maka hasil energi listrik yang dihasilkan akan semakin besar.

2. Membran dengan hasil *output* rapat daya paling maksimal ialah membran dengan ketebalan 3 mm dengan nilai rata-rata rapat dayanya mencapai 9,0663 mW/m<sup>2</sup> dan nilai maksimum yang diperoleh mencapai 11,4218 mW/m<sup>2</sup>.
3. Berdasarkan waktu pengukuran yang dilakukan selama 15 hari, terjadinya penurunan nilai tegangan setiap harinya. Hal ini bisa disebabkan karena penurunan senyawa organik yang terdegradasi oleh bakteri dari waktu ke waktu hingga mempengaruhi jumlah elektron yang hasil.

#### REFERENSI

- [1] S. D. J. E. Nasional, "Outlook Energi Indonesia," *DEN*, 2019.
- [2] M. Rahimnejad, G. Bakeri, G. Najafpour, M. Ghasemi and S.-E. Oh, "Effect of Proton Exchange Membranes in Mircobial Fuel Cell," *Biofuel Research Journal*, p. 15, 2014.
- [3] A. Suhandi, B. Prihandoko and B. Soegiono, "Effect of Graphite-Epoxy Composition to the Properties Composite Bipolar Plate for Proton Exchange Membrane Fuel Cell Application," *Material Science and Technology*, pp. 255-263, 2013.
- [4] G. Bhargavi, V. Venu and S. Renganathan, "Microbial Fuel Cells: Recent Development in Design and Materials," *The Electrochemical Society*, 2018.
- [5] B. Haryanto, "Pengaruh Pemilihan Kondisi Batas, Langkah Ruang, Langkah Waktu, dan Koefisien Difusi pada Model Difusi," *APLIKA*, 2008.
- [6] J. Winfield, I. Gajda, J. Greenman and I. Ieropoulos, "A Review Into the Use of Ceramics in Microbial Fuel Cell," *Bioresourece Technology*, pp. 296-302, 2016.
- [7] M. Roman, P. Roman, R. Verbeke, L. Gutierrez, M. Vanoppen, M. Dickmann, W. Egger, I. Vankelecom, J. Post, E. Cornelissen, K. Keesman and A. Verliefde, "Non-Steady Diffusion and Adsorption of Organic Micropollutans in Ion-Exchange Membranes : Effect of the Membrane Thickness," *IScience*, p. 9, February 2021.
- [8] J. Lin, J. Huang, J. Wang, J. Yu, X. You, X. Lin, B. V. D. Bruggen and S. Zhao, "High-Performance Porous Anion Exchange Membranes for Efficient Acid Recovery from Acidic Wastewater by Diffusion Dialysis," *Journal of Membrane Science*, p. 9, 2021.