

**Kajian Historis dan Peranan Pesantren  
LDII Millenium Alfiena Nganjuk 1996-  
2021**

**Moh. Ashif Fuadi**

**Pengelolaan Administrasi Birokrasi  
Pada Masa Sultan Mahmud  
Badaruddin II di Kesultanan  
Palembang Darussalam Pada Tahun  
1803-1821**

**Sari Febriani**

**Eksistensi Tarekat Naqsyabandi  
Haqqani di Jakarta**

**Retna Dwi Estuningtyas**

**Kekisruhan di Cirebon Pada Abad XIX:  
Suatu Gambaran dari Koloniaal  
Verslag 1870 – 1880**

**Lesi Maryani**

**Dinamika Awal Aktivitas Nahdhlatul  
Ulama Dalam Catatan Pers Masa  
Kolonial 1925 – 1942**

**Akhmad Saehudin**

**Analisis Semiotika De Saussure Pada  
Syair Pupujian Sunda Eling Eling Umat**

**Kiki Esa Perdana**

**Studi Eksperimental Penggunaan  
Reaktor Microbial Fuel Cell (MFC)  
dengan Membran Berongga Sebagai  
Alat Memanen Energi Terbarukan dari  
Variasi Limbah Organik**

**Umi Nihayah & M. Ramdhan Kirom**

ISSN 2621-4938  
e-ISSN 2621-4946

THE INTERNATIONAL JOURNAL OF  
**PeGON**  
ISLAM NUSANTARA CIVILIZATION

Volume 7 . issue 1 . 2022



THE INTERNATIONAL JOURNAL OF  
**PeGON**  
ISLAM NUSANTARA CIVILIZATION  
Vol. 7 - Issue 1 - 2022

The International Journal of Pegon: Islam Nusantara Civilization published by Islam Nusantara Center Foundation. This journal specialized academic journal dealing with the theme of religious civilization and literature in Indonesia and Southeast Asia. The subject covers textual and fieldwork studies with perspectives of philosophy, philology, sociology, antropology, archeology, art, history, and many more. This journal invites scholars from Indonesia and non Indonesia to contribute and enrich the studies published in this journal. This journal published twice a year with the articles written in Indonesian, Pegon, Arabic and English and with the fair procedure of blind peer-review.

**Editorial Team**

**Editor-In-Chief**

A. Ginanjar Syaban (*Director of Islam Nusantara Center*)

**Managing Editor**

Mohamad Shofin Sugito

**Peer Reviewer**

Abdurahman Mas'ud (*Ministry of Religious Affairs, The Republic of Indonesia*) Oman  
Fathurrahman (*State Islamic University of Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia*) MN.  
Harissuddin (*State Islamic University of Jember, Indonesia*)  
KH. Abdul Mun'im DZ (*The Vice General Secretary of PBNU*)  
Farid F Saenong (*State Islamic University of Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia*)  
Ngatawi al Zastrouw (*University of Nahdlatul Ulama Indonesia*)  
Islah Gusmian (*State Islamic University of Surakarta, Indonesia*)  
Zainul Milal Bizawie (*Islam Nusantara Center Jakarta, Indonesia*)

**Editors**

Johan Wahyudi  
Mohammad Taufiq  
Ahmad Ali

**Asistant Editors**

Muhammad Anwar  
Zainal Abidin  
Zainul Wafa

ISSN 2621-4938

e-ISSN 2621-4946

**Published by:**

ISLAM NUSANTARA CENTER (INC)  
Wisma Usaha UIN Syarif Hidayatullah Jakarta (BANK BNI) Lt. 2,  
Jl. Ir. H. Juanda No. 95 Ciputat Tangerang Selatan Banten  
<http://ejournalpegon.jaringansantri.com/ojs/>

 Islam Nusantara Center



## TABLE OF CONTENTS

The International Journal of **PEGON**

Islam Nusantara Civilization

Vol. 7 - Issue 1 - 2022

<b>Table of Contents</b>	iii
<b>KAJIAN HISTORIS DAN PERANAN PESANTREN LDII MILLENIUM ALFIENA NGANJUK 1996-2021</b> Moh. Ashif Fuadi	1
<b>PENGELOLAAN ADMINISTRASI BIROKRASI PADA MASA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II DI KESULTANAN PALEMBANG DARUSSALAM PADA TAHUN 1803-1821</b> Sari Febriani	33
<b>EKSISTENSI TAREKAT NAQSYABANDI HAQQANI DI JAKARTA</b> Retna Dwi Estuningtyas	53
<b>KEKISRUHAN DI CIREBON PADA ABAD XIX: SUATU GAMBARAN DARI KOLONIAAL VERSLAG 1870 – 1880</b> Lesi Maryani	73
<b>DINAMIKA AWAL AKTIVITAS NAHDHLATUL ULAMA DALAM CATATAN PERS MASA KOLONIAL 1925 – 1942</b> Akhnad Saehudin	95
<b>ANALISIS SEMIOTIKA DE SAUSSURE PADA SYAIR PUPUJIAN SUNDA ELING ELING UMAT</b> Kiki Esa Perdana	119
<b>STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN REAKTOR MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DENGAN MEMBRAN BERONGGA SEBAGAI ALAT MEMANEN ENERGI TERBARUKAN DARI VARIASI LIMBAH ORGANIK</b> Umi Nihayah & M. Ramdhan Kirom	135

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN REAKTOR MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DENGAN MEMBRAN BERONGGA SEBAGAI ALAT MEMANEN ENERGI TERBARUKAN DARI VARIASI LIMBAH ORGANIK

**Umi Nihayah**

Prodi S1 Teknik Fisika, Universitas Telkom  
uminihayah12345@gmail.com

**M. Ramdhan Kirom**

Prodi S1 Teknik Fisika, Universitas Telkom  
mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id

## أبستراك

سأنت إيني إيندونيسيا ميمقوباي تانتاغان بيسار أونتوك مينغكاتكان أينيركي بيركواليتاس دالام راغكا ميندوكوڠ فيمباغونان بيركيلانجوتان. سيلاما إيني، أينيركي ياڠ ديڤكوناكان أونتوك ميمفروودوكسي ليستريك بيرأورينتاسي فادا أينيركي فوسيل ياڠ مييبابكان دامفاك نيڤاتيف، سيداڠكان فيمانفأتان أينيركي نو فوسيل ماسيه رينداه. سولومي ياڠ ديبيركان يابتو فيمانفأتان أينيركي بارو دان تيرياروكان ياڠ بيسا ديڤكوناكان أونتوك كيبوتوهان فرودوكسي ليستريك سيفيرتي فيمانفأتان تيكنولوڤي ميچروبيال فويل چيل (م ف چ). م ف چ أدالاه فيراڠكات بيرباسبس بيوايلىكتراكيميا ياڠ ميغوباه أينيركي كيميا مينجادي ليستريك ديغان ميمانفأتان سيباوا أورڤانك سيرتا ميمانفأتان أينيماتيك كاتاليس ديغان بانتوان ميكروأورڤانيسسي. فادا فينيليتيان إيني ميڤكوناكان ديسلين دوال چهامبير م ف چ ۱.۰ x ۱.۰ x ۰.۵ م أونتوك ميغيتاهووي كيلواران أروس دان تپكاڠان ياڠ دهاسيلكان ميڤكوناكان ميمبران بيروڤكا سيمين أوكوران دياميتر ۳ م چ دان تيبال ۰.۵ م چ ديغان چامفوران ناتريأوم چلوريدا (NaCl). كومفارتيمين أودا

میغچکوناکان فلات سینک (Zn) دان کاتودا میغچکوناکان فلات تیمباکا (Cu) دیغان اؤکوران ساما ۳x۵ چ م. فینیلیتیبیان میغچکوناکان فیرباندیغان ۱:۱ اونتوک فاریاسی لیمباه اؤرکانیک سوبترات لیمباه چاپر تاهو دان لیمباه کولیت فیساغ دیغان دیچامفور لومفور ساواه. داری هاسیل فیغوکوران، فرودوکسی لیستریک ماکسیمال سیلاما ۱۴ هاری فادا سوبترات لیمباه چاپر تاهو یایتو دیغان اینکوباسی ۶ هاری دان فادا سوبترات لیمباه کولیت فیساغ فادات دان چاپر یایتو دیغان اینکوباسی ۳ هاری. هاسیل فیغوکوران دافات دیفرولیه دایا ۳۹۰,۶۴۸ م و فادا سوبترات لیمباه چاپر تاهو، دایا ۶۸,۵۴۳ م و فادا سوبترات لیمباه کولیت فیساغ فادات، دان دایا ۴۳,۶ م و فادا سوبترات لیمباه کولیت فیساغ چاپر.

کاتا کونجی: اروس، دوأل چهامبیر، لیمباه اؤرکانیک، میمبران بیروغچکا، میجروبیال فویل جیل (MFC)، تیچاغان.

### Abstrak

Saat ini Indonesia mempunyai tantangan besar untuk meningkatkan energi berkualitas dalam rangka mendukung pembangunan berkelanjutan. Selama ini, energi yang digunakan untuk memproduksi listrik berorientasi pada energi fosil yang menyebabkan dampak negatif, sedangkan pemanfaatan energi non fosil masih rendah. Solusi yang diberikan yaitu pemanfaatan energi baru dan terbarukan yang bisa digunakan untuk kebutuhan produksi listrik seperti pemanfaatan teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC). MFC adalah perangkat berbasis bioelektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi listrik dengan memanfaatkan senyawa organik serta memanfaatkan enzimatis katalis dengan bantuan mikroorganisme. Pada penelitian ini menggunakan desain *dual chamber MFC* 10x10x5 cm untuk mengetahui keluaran arus dan tegangan yang dihasilkan menggunakan membran berongga semen ukuran diameter 3 cm dan tebal 0,5 cm dengan campuran *Natrium Chlorida* (NaCl). Kompartemen anoda menggunakan plat seng (Zn) dan katoda menggunakan plat tembaga (Cu) dengan ukuran sama 5x3 cm. Penelitian menggunakan perbandingan 1:1 untuk variasi limbah organik substrat limbah cair tahu dan limbah kulit pisang dengan dicampur lumpur sawah. Dari hasil pengukuran, produksi listrik maksimal selama 14 hari pada substrat limbah cair tahu yaitu dengan inkubasi 6 hari dan pada substrat limbah kulit pisang padat dan cair yaitu dengan inkubasi 3 hari. Hasil pengukuran dapat diperoleh daya 390,648 mW pada substrat limbah cair tahu, daya 68,543 mW pada substrat limbah kulit pisang padat, dan daya 43,6 mW pada substrat limbah kulit pisang cair.

**Kata Kunci:** Arus, Dual Chamber, Limbah Organik, Membran Berongga, *Microbial Fuel Cell* (MFC), Tegangan.

## **Abstract**

Indonesia currently has a big challenge to improve quality energy in order to support sustainable development. So far, the energy used to produce electricity is oriented towards fossil energy which causes negative impacts, while the utilization of non-fossil energy is still low. The solution provided is the use of new and renewable energy that can be used for electricity production needs such as the use of Microbial Fuel Cell (MFC) technology. mFC is a bioelectrochemical-based device that converts chemical energy into electricity by utilizing organic compounds and utilizing enzymatic catalysts with the help of microorganisms. In this study using a dual chamber MFC design of 10x10x5 cm to determine the output current and voltage produced using a cement hollow membrane with a diameter of 3 cm and a thickness of 0.5 cm with a mixture of sodium chloride (NaCl). The anode compartment uses a zinc plate (Zn) and the cathode uses a copper plate (Cu) with the same size 5x3 cm. The study used a ratio of 1:1 for variations of organic waste as a substrate of tofu liquid waste and banana peel waste mixed with rice mud. From the measurement results, the maximum electricity production is 14 days on the tofu liquid waste substrate with 6 days incubation and on the solid and liquid banana peel waste substrate with 3 days incubation. The measurement results can be obtained 390.648 mW power on tofu liquid waste substrate, 68.543 mW power on solid banana peel waste substrate, and 43.6 mW power on liquid banana peel waste substrate.

**Keywords:** *Current, Dual Chamber, Organic Waste, Hollow Membrane, Microbial Fuel Cell (MFC), Voltage.*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam rangka mengurangi bahan bakar fosil, menurut Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional (KEN) menargetkan Indonesia untuk beralih menggunakan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebesar 23% di tahun 2025 dan 31% di tahun 2030. Target tersebut setara dengan produksi listrik yang dihasilkan sebesar 45,2 GW pada tahun 2025. Salah satu pemanfaatan EBT yang bisa digunakan untuk kebutuhan produksi listrik yaitu pemanfaatan teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC). MFC adalah perangkat berbasis bioelektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi listrik dengan memanfaatkan senyawa organik serta memanfaatkan enzimatik katalis dengan bantuan mikroorganisme.

Sistem pada MFC menggunakan tipe yaitu *dual chamber* yang terdapat dua ruang terdiri dari anoda dan katoda. Pada ruang anoda terjadi reaksi anaerobik dengan mikroba digunakan untuk oksidasi substrat sehingga menghasilkan elektron dan proton. Sedangkan pada bagian katoda terjadi proses aerob dengan proton yang dihasilkan dari ruang anoda akan berdifusi menuju ruang katoda melalui membran transfer proton seperti jembatan garam atau poros membran. Bagian anoda menjadi tempat untuk substrat limbah dan katoda terdapat larutan elektrolit. Hasil elektron dari ruang anoda akan berpindah melalui hubungan kabel eksternal sehingga pada dua ruang tersebut terjadi beda potensial yang menghasilkan energi listrik. Proses MFC ini sangat dipengaruhi oleh substrat berupa senyawa organik yang digunakan sebagai nutrisi bakteri untuk melakukan metabolisme.

MFC telah banyak dikembangkan dan digunakan untuk mengolah air limbah seperti limbah cair tahu, limbah tempe, limbah kulit pisang, dan lain-lain. MFC yang telah dikembangkan juga mempunyai beberapa bentuk reaktor atau tipe separator yang berbeda yang mempengaruhi dalam transfer katoda dan anoda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Elsa Nuramanah Ramdani tahun 2020, teknologi MFC menggunakan limbah cair tahu dan lumpur sawah sebagai substratnya serta media transfer berupa jembatan garam. Pertimbangan penggunaan substrat dan waktu inkubasi mempengaruhi dalam menghasilkan daya maksimal dan media transfer jembatan garam juga berpengaruh dalam keluaran arus yang dihasilkan. Difusi oksigen yang tidak dapat diprediksi dan pemisahan *Power of Hydrogen* (pH) dalam jembatan garam mempengaruhi dalam menghasilkan arus. Sehingga dalam penelitian dilakukan media tipe separator yang berbeda agar dapat menghasilkan daya maksimal yaitu menggunakan

membran poros atau berongga menggunakan semen dengan campuran *Sodium Chloride* (NaCl) sebagai media transfer proton dan elektron. Membran poros dari semen tersebut memiliki peran yang sama dengan *Proton Exchange Membrane* (PEM) sebagai media transfer elektrolisis untuk menghasilkan beda tegangan. Konsep membran poros digunakan untuk sifat selektivitas ion sebagai media transfer proton dalam menghasilkan keluaran daya yang optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Zuo pada tahun 2007 konduktor dan lapisan katalis yang dilapisi membran poros dapat menghasilkan daya  $17,7 \text{ Wm}^{-3}$ . Membran poros yang digunakan lebih hemat biaya dan menghasilkan daya maksimal.

Pada penelitian ini, eksperimen yang dilakukan yaitu melihat pengaruh variasi limbah yang dijadikan substrat terhadap produksi energi listrik dengan menggunakan dua variasi limbah. Sehingga, dari kedua variasi limbah menggunakan MFC *dual chamber* dari media transfer berupa membran berongga semen dapat diketahui nilai optimum substrat agar produksi listrik yang dihasilkan maksimal. Produksi listrik yang dihasilkan dapat diketahui perbandingan keluaran dari membran berongga semen dan jembatan garam biasa.

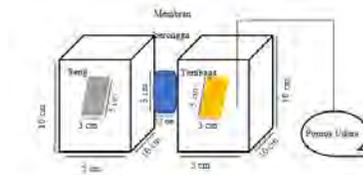
## 2. METODE

### 2.1. Desain MFC

Skema yang digunakan pada penelitian sistem MFC ini menggunakan desain *dual chamber* yang terdiri dari kompartemen katoda yang diisi dengan larutan elektrolit berupa larutan akuades dan suplai oksigen dari *aerator* dan kompartemen anoda yang diisi menggunakan variasi limbah yang diuji dan dicampurkan dengan lumpur sawah. Pada reaktor ini menggunakan bahan akrilik dengan per *chamber* kapasitas volume 500 mL dengan tiap *chamber* yaitu  $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}$  yang dapat dilihat pada Gambar 1. Diantara kompartemen anoda dan katoda terdapat lubang sebagai penempatan membran dengan ukuran  $0,5 \times 3 \text{ cm}$ . Pada *chamber* juga terdapat jalur udara dan kabel yang terletak bagian atas dengan ukuran diameter masing-masing  $0,5 \text{ cm}$  dan  $0,3 \text{ cm}$ . Bagian pengukuran untuk mengetahui nilai tegangan dan arus menggunakan mikrokontroler arduino dengan data *logger*. Sambungan antar ruang dan arduino menggunakan kabel atau capit buaya.

Pada desain sistem MFC menggunakan elektroda lempeng tembaga (Cu) pada ruang katoda dan lempeng seng (Zn) pada ruang anoda. Untuk luas permukaan elektroda yaitu  $15 \text{ cm}^2$  dengan panjang  $3 \text{ cm}$  dan lebar  $5 \text{ cm}$ .

Adapun tambahan desain MFC yaitu membran berongga yang terbuat dari campuran semen dan NaCl yang berfungsi sebagai media transfer. Penggunaan semen pada lapisan tersebut digunakan untuk pengikat NaCl dan sebagai pertukaran proton. Bentuk membran berongga menggunakan semen seperti kepingan koin. Variasi yang dibutuhkan dengan perbandingan 6 (lapisan semen) : 1 (NaCl) dalam satuan gram. Tebal membran yang digunakan sebesar 0,5 cm dengan diameter 3 cm.



**Gambar 1.** Desain rangkaian reaktor sistem MFC

## 2.2. Preparasi Substrat

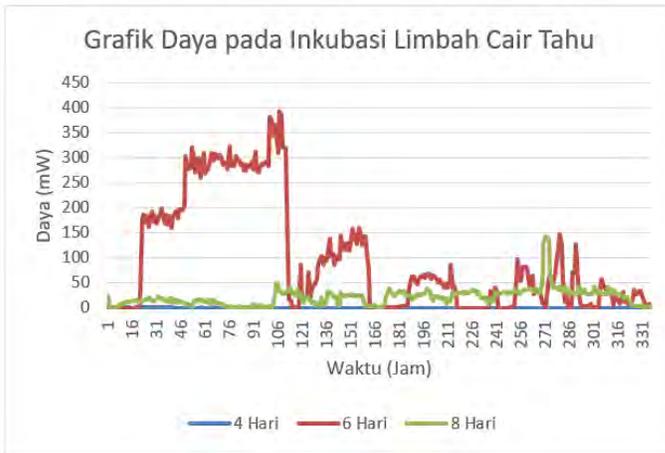
Setelah mengetahui penelitian sebelumnya, preparasi substrat yang digunakan mengikuti prosedur penelitian terdahulu yaitu variasi substrat pada limbah cair tahu, kulit pisang, dan lumpur sawah. Volume perbandingan pada variasi limbah sama yaitu 1 (limbah) : 1 (lumpur sawah) dengan volume 200 mL. Beberapa preparasi substrat dengan variasi limbah menggunakan waktu inkubasi yaitu pada limbah cair tahu dan limbah kulit pisang. Penelitian pada limbah kulit pisang terdiri dari keadaan padat dan cair. Inkubasi dilakukan dengan substrat yang diambil dari pabrik tahu atau kulit pisang yang dihaluskan dengan air disimpan pada tempat tertutup dan suhu ruangan agar terjadi penguraian pada senyawa organik. Pada limbah cair tahu waktu inkubasi dilakukan tiga kali yaitu selama 4 (reaktor I), 6 (reaktor II), dan 8 (reaktor III) hari. Adapun pada limbah kulit pisang langsung diolah dan dihaluskan limbah tersebut serta menggunakan waktu inkubasi yaitu 3 (reaktor I), 4 (reaktor II), dan 5 (reaktor III) hari. Variasi limbah tersebut dicampur menggunakan lumpur untuk dimasukkan dalam kompartemen anoda. Pada limbah kulit pisang terlebih dahulu dibersihkan dan dihaluskan menjadi bubuk. Eksperimen dilakukan selama 14 hari.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada Gambar 2 menampilkan grafik hasil pengukuran daya terhadap waktu selama 14 hari penelitian yang dihasilkan oleh reaktor dengan variasi waktu inkubasi pada substrat limbah cair tahu. Hasil grafik yang diperoleh tidak linear seiring bertambahnya waktu pengukuran. Pada pengukuran jam pertama telah diperoleh hasil daya rata-rata setiap reaktor. Reaktor I memperoleh nilai pertama daya rata-rata sebesar 0 mW, hal ini disebabkan oleh tegangan dan arus yang diperoleh sangat kecil. Pada tegangan dan arus tersebut terjadi pertukaran proton dan elektron yang sangat kecil, hal ini disebabkan oleh aktivitas bakteri yang masih menyesuaikan lingkungan barunya sehingga belum terjadinya pencacahan senyawa organik dari substrat sebagai media nutrisi bagi bakteri. Pada umumnya mikroba tersebut membutuhkan waktu yang panjang dalam memecah senyawa organik yang kompleks.

Pada reaktor III nilai daya pertama lebih besar, hal ini disebabkan mikroba telah melakukan penyesuaian dengan lingkungan baru dalam jangka waktu inkubasi lebih lama daripada lainnya. Mikroba tersebut telah mencacah senyawa organik pada limbah cair tahu dan memaksimalkan nutrisi yang terdapat dalam kompartemen sehingga ion-ion dapat mengalir untuk menghasilkan beda potensial untuk menghasilkan listrik yang menyebabkan nilai tegangan tinggi. Berdasarkan Gambar 2 daya terhadap waktu inkubasi memperoleh nilai daya terbesar pada reaktor II dengan waktu inkubasi 6 hari. Fase pertumbuhan bakteri bergantung pada faktor lingkungan dan nutrisi. Apabila nutrisi seimbang dengan kebutuhan mikroba maka mikroba dapat melakukan aktivitas metabolisme yang cukup baik sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang besar. Pada reaktor II diperoleh nilai daya maksimal, hal ini disebabkan populasi mikroba yang didapatkan dari substrat lebih banyak daripada lainnya dan mengalami keseimbangan.

Selama proses berlangsung grafik waktu inkubasi 6 hari pada limbah cair tahu mengalami fluktuatif yang tidak stabil. Hal ini disebabkan adanya perbedaan pada beda potensial dari kedua elektroda, termasuk perbedaan kimia maupun biologi. Adakalanya tegangan naik pada waktu tertentu terjadi ketika mikroba sedang melakukan aktivitas metabolisme dengan pesat, sedangkan tegangan turun begitu sebaliknya.



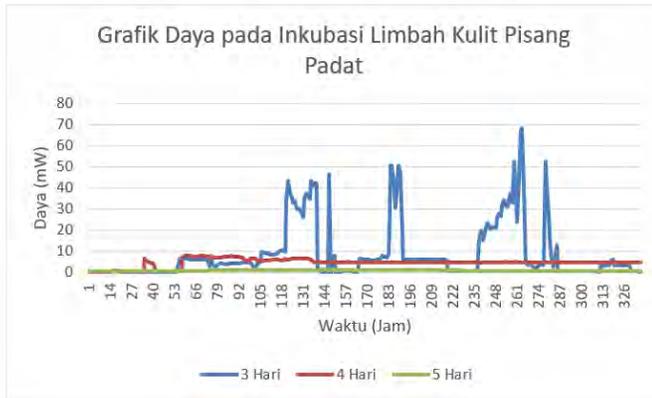
**Gambar 2.** Grafik daya pada inkubasi limbah cair tahu

Pada penelitian Gambar 3 menampilkan grafik hasil pengukuran daya terhadap waktu selama 14 hari penelitian yang dihasilkan oleh reaktor dengan variasi waktu inkubasi pada substrat limbah kulit pisang. Pada kekentalan dengan percobaan padat menggunakan perbandingan 1 (limbah kulit pisang) : 2 (air). Pada reaktor III memperoleh nilai perolehan pertama lebih besar, hal ini disebabkan mikroba telah melakukan penyesuaian dengan lingkungan baru dan melakukan degradasi dengan sempurna dalam jangka waktu inkubasi lebih lama daripada lainnya. Adapun daya tertinggi pada reaktor I dengan waktu inkubasi 3 hari.

Pada penelitian Gambar 4 menampilkan grafik hasil daya terhadap waktu selama 14 hari penelitian yang dihasilkan oleh reaktor dengan variasi waktu inkubasi pada substrat limbah kulit pisang. Pada kekentalan dengan percobaan padat menggunakan perbandingan 1 (limbah kulit pisang) : 5 (air). Pada reaktor II perolehan pertama nilai daya lebih besar, hal ini disebabkan mikroba telah melakukan penyesuaian dengan lingkungan baru dan melakukan degradasi sempurna dengan kandungan karbohidrat yang masih baru. Pada reaktor III daya yang diperoleh menurun daripada sebelumnya, hal ini disebabkan oleh terhambatnya aktivitas metabolisme dan kompetisi antar mikroba lainnya untuk memperoleh nutrisi sehingga menyebabkan produksi listrik lebih kecil. Adapun reaktor I memperoleh hasil daya tertinggi.

Pada waktu inkubasi yang memperoleh daya tinggi tersebut, mikroba telah beradaptasi dengan lingkungan barunya yaitu sistem MFC sehingga

pertumbuhan mikroba menjadi naik dan menyebabkan produksi listrik juga meningkat. Namun, pada jam berikutnya produksi listrik mengalami penurunan. Hal ini disebabkan mikroba tidak memperoleh nutrisi tambahan, sehingga mikroba dalam fase kematian.



**Gambar 3.** Grafik daya pada inkubasi limbah kulit pisang padat

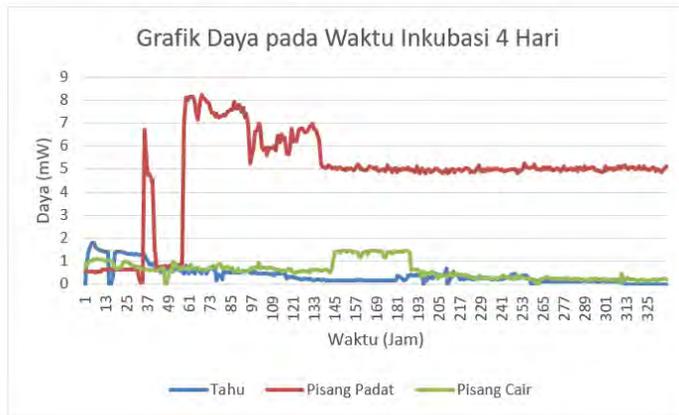


**Gambar 4.** Grafik daya pada inkubasi limbah kulit pisang cair

Pada limbah cair tahu terdapat beberapa kandungan karbohidrat, protein, maupun lemak. Adapun pada limbah kulit pisang juga terdapat banyak karbohidrat. Banyak senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu dan kulit pisang salah satunya adalah glukosa. Glukosa merupakan bahan yang dapat berhubungan dengan mikroba dengan cara oksidasi sehingga produksi listrik dapat meningkat. Dapat dilihat Gambar 5 menunjukkan hasil daya pada variasi substrat limbah dengan waktu inkubasi sama yaitu 4 hari. Pada grafik limbah cair tahu memperoleh hasil daya yang

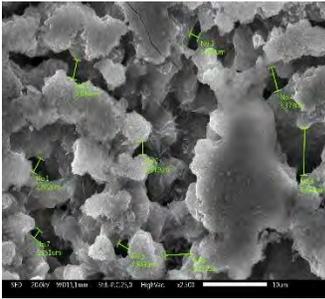
paling rendah daripada substrat lainnya. Aktivitas mikroba dalam limbah tersebut belum mencapai maksimum untuk mendegradasi senyawa organik dan memperoleh nutrisi, sehingga daya yang diperoleh rendah. Grafik menunjukkan bahwa substrat dengan kandungan senyawa glukosa tinggi yaitu pada limbah kulit pisang dengan kekentalan tinggi. Hal ini disebabkan oleh perkembangan dalam pertumbuhan mikroba yang mendapatkan makanan dari nutrisi dengan seimbang sehingga mempercepat aktivitas dalam metabolisme.

Pertumbuhan bakteri didefinisikan sebagai penambahan ukuran atau volume sel dengan cara membelah diri. Pertumbuhan bakteri mengalami beberapa fase perkembangan yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase penurunan. Keadaan fase tersebut berdasarkan kultur pada waktu tertentu yang dapat dilihat dari beberapa grafik variasi substrat. Fase lag dimulai dari keadaan proses MFC pertama yang diawali dengan nilai tegangan 0 mV. Fase ini biasanya fase penyesuaian ketika mikroba dipindahkan ke lingkungan baru. Tahap selanjutnya fase eksponensial yang ditandai dengan grafik mengalami peningkatan. Setelah peningkatan, pertumbuhan pada fase stasioner yang hanya diseimbangkan dengan jumlah sel mati. Faktornya karena tidak ada tambahan nutrisi atau keadaan nutrisi sudah habis terpakai. Apabila kondisi karbon habis, maka pertumbuhan akan berhenti. Faktor lainnya yaitu produk substrat menumpuk atau mencapai endapan dimana pertumbuhan menghambat atau bersifat toksik bagi sel. Umumnya terjadi dengan lingkungan kondisi kepadatan yang tinggi. Fase ini tidak seimbang karena lebih mudah untuk sel mensintesis beberapa komponen daripada yang lain. Grafik ditunjukkan dengan keadaan stabil. Tahap selanjutnya ditampilkan grafik menurun, fase ini dalam tahap kematian. Populasi mikroba menurun jumlahnya dan jumlah sel yang mati lebih banyak daripada yang hidup, sehingga tegangan yang dihasilkan menurun.



**Gambar 5.** Grafik daya pada inkubasi 4 hari

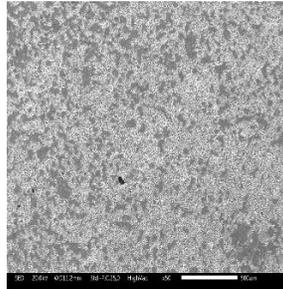
Penyebab adanya tegangan yang tidak konstan disebabkan oleh aktivitas metabolisme terhadap lingkungannya. Perubahan ini menyebabkan perubahan pula pada sifat fisiologi dan morfologi mikroba. Faktor yang dapat berpengaruh yaitu keadaan suhu yang tidak optimum. Mikroba menyesuaikan suhu sesuai dengan kisaran pertumbuhannya atau ketahanannya. Faktor pH juga mempengaruhi dalam aktivitas metabolisme. Mikroba membutuhkan pH netral dalam media pertumbuhannya. Namun, bakteri juga dapat hidup pada keadaan pH tinggi maupun rendah tergantung pada jenis bakterinya. Apabila pH dalam keadaan non netral maka bisa dibantu dengan buffer untuk menyeimbangkan. Ion-ion lain yang beracun juga dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Interaksi antar populasi mikroba juga mempengaruhi dalam pertumbuhan metabolisme. Akibat interaksi tersebut terdapat beberapa populasi yang mengalami kompetisi untuk memenuhi kebutuhannya yaitu dengan nutrisi.



**Gambar 6.** Poros 2500x



**Gambar 7.** Poros 30000x



**Gambar 8.** Poros 50x

Pada penelitian menggunakan media metode separator dengan membran berongga. Membran berongga tersebut memperoleh daya lebih kecil daripada jembatan garam. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan yang digunakan cukup minimum dan konsentrasi NaCl masih terbilang rendah. Pada perlakuan media membran berongga semen dibandingkan dengan jembatan garam memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap beda potensial yang dihasilkan. Dapat dilihat pada Gambar 6 terdapat poros dari membran semen tampak permukaan. Pada poros tersebut terdapat *rod* yang terbentuk dari proses pencetakan. *Rod* tersebut termasuk dalam hambatan internal sehingga proton tidak sempurna dalam mentransfer ke katoda. Dapat dilihat pada Gambar 7 menunjukkan poros dengan ukuran 100 – 300 nm dan terdapat *rod*. Dalam pengukuran berbagai variasi limbah organik tegangan yang dihasilkan berbeda disetiap waktu inkubasi. Hal ini disebabkan salah satunya adalah metode separator membran semen berongga. Membran tersebut mengalami perbedaan pada homogenitas dalam pengadukan dan perekatan membran yang menimbulkan *rod* sehingga distribusi poros berbeda disetiap permukaan. Distribusi proton yang berbeda menyebabkan proses transfer proton dapat terjadi keterhambatan sehingga hasil yang diperoleh berbeda pada setiap variabel pengukuran dapat dilihat pada Gambar 8. Dalam morfologi membran berongga semen dapat

digunakan beberapa kali dan memiliki sifat ketahanan yang kuat. Membran berongga semen tersebut membuktikan bahwa arus dapat dihasilkan dengan adanya proton yang mengalir pada poros membran semen.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Elsa Nuramanah Ramdani (2021) membahas mengenai pengaruh Sistem MFC terhadap limbah cair tahu dengan campuran lumpur sawah menggunakan tipe separator jembatan garam. Waktu inkubasi yang dilakukan yaitu 4 dan 8 hari. Dengan volume perbandingan sama dengan variasi 1:1, pada waktu inkubasi 4 hari mendapatkan arus sebesar 1,261 mA pada titik jam 22. Pada waktu inkubasi 8 hari memperoleh arus maksimal sebesar 1,581 mA pada titik jam 2. Grafik yang dihasilkan pada waktu inkubasi tersebut stasioner, hal ini disebabkan lamanya waktu inkubasi meningkatkan sumber senyawa organik sehingga dapat dimanfaatkan oleh aktivitas mikroba. Nilai pada inkubasi pada penelitian ini yang menggunakan limbah cair tahu dengan variasi volume sama dan waktu inkubasi 4 dan 8 hari memiliki kesamaan dengan listrik yang dihasilkan dengan metode waktu inkubasi dari sistem MFC yang menggunakan media membran berongga semen. Arus yang dihasilkan 2 kali lebih besar jika dibandingkan dengan arus yang dihasilkan oleh sistem MFC menggunakan metode jembatan garam.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Moehammad Rifky Dharmawan (2020) menggunakan limbah kulit pisang pada perbandingan volume 1:1 menghasilkan arus lebih kecil sebesar 0,08 mA [5]. Pada penelitian yang menggunakan limbah kulit pisang menggunakan waktu inkubasi 3, 4, dan 5 hari. Variabel penelitian ini mengacu pada substrat limbah cair tahu dengan perbandingan volume 1:1. Penelitian tersebut dilakukan untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari limbah cair tahu penelitian sebelumnya dan penelitian sekarang. Sistem MFC limbah kulit pisang dengan membran berongga semen memiliki kesamaan dengan metode jembatan garam. Arus yang dihasilkan 6 kali lebih besar pada membran berongga semen jika dibandingkan dengan metode jembatan garam.

Jembatan garam merupakan media penukar kation yang banyak diaplikasikan dalam sistem MFC dengan harga yang terjangkau dan media yang diminati karena selektif terhadap ion proton. Pada penelitian ini, menggunakan metode membran semen berongga sebagai media penukar proton yang cukup memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini tidak terlepas dengan adanya fungsi media penukar kation yang memiliki hambatan internal, sehingga mempengaruhi produktivitas listrik. Semakin besar luas penampang pada media separator akan semakin besar difusi yang sedang terjadi. Sehingga pada penelitian ini menggunakan media membran

semen berongga dengan ukuran diameter 3 cm dan ketebalan 0,5 cukup signifikan untuk digunakan. Namun, pada membran berongga ini perlu dilakukan tambahan dari beberapa konsentrasi NaCl. Apabila konsentrasi molaritas NaCl yang ditambahkan semakin besar, maka semakin besar pula dapat membantu dalam media transfer proton. Nilai arus minimum pada metode separator membran berongga dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti ketidakmampuan mikroba dalam mendegradasi substrat, ketidakmampuan mikroba dalam membantu transfer ion-ion dari aktivitas metabolisme, dan hambatan internal pada kompartemen anoda dan katoda.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian dan hasil pembahasan yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan. Pertama, produksi listrik maksimal selama 14 hari menghasilkan nilai dengan variasi substrat limbah cair tahu adalah pada reaktor II pada titik jam 76 yaitu daya 390,648 mW. Pada variasi substrat limbah kulit pisang padat adalah pada reaktor I pada titik jam 264 yaitu daya 68,543 mW, sedangkan pada variasi substrat limbah kulit pisang cair adalah pada reaktor pada titik jam 39 yaitu daya 43,6 mW. Kedua, inkubasi 4 hari pada variasi substrat menunjukkan bahwa substrat dengan kandungan senyawa glukosa tinggi yaitu pada limbah kulit pisang dengan kekentalan tinggi. Hal ini disebabkan oleh perkembangan dalam pertumbuhan mikroba yang mendapatkan makanan dari nutrisi dengan seimbang sehingga mempercepat aktivitas dalam metabolisme. Terakhir, penggunaan tipe separator membran berongga semen terbukti dapat digunakan pada sistem MFC dalam menghasilkan produksi listrik sebagai media pengganti PEM.[]

- IESR, Energi Terbarukan : Energi untuk Kini dan Nanti, Jakarta: IESR, 2017.
- D. Das, Microbial Fuel Cell, India: Springer, 2018.
- E. N. Ramdani, M. R. Kirom, dan A.R.I Utami, "Pengaruh Rasio Massa dan Waktu Inkubasi Terhadap Limbah Cair Tahu dengan Campuran Lumpur Sawah sebagai Sumber Energi Listrik dengan Sistem MFC," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 415-422, 2021.
- A. A. Tyani, M. R. Kirom, dan A.R.I Utami, "Analisis Pengaruh Rasio Variasi Volume terhadap Energi Listrik dengan Substrat Limbah Industri Tempe dan Lumpur Sawah pada MFC," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 415-422, 2021.
- M. R. Dharmawan, M. R. Kirom, dan N. Fitriyani, "Analisis Produksi Listrik Menggunakan Substrat Lumpur Sawah dan Kulit Pisang dengan Metode Sedimen MFC," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 4323-4329, 2020.
- H. E. Putra, "Pemanfaatan Sistem Microbial Fuel Cell dalam Menghasilkan Listrik pada Pengolahan Air Limbah Industri Pangan," in *Pusat Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*, Bandung, 2019.
- M. Novriandy e. al, "Pengaruh Mikroorganisme terhadap Produktivitas Energi Listrik MFC dengan Variasi Limbah Pabrik Tahu dan Limbah Perikanan," *ROTARY*, vol. 3, no. 1, pp. 107-118, 2021.
- Raina M. Maier e. al, *Environmental Microbiology*, British: Elsevier, 2009.

كاجيبان هيسٽوريس دان فيرانان فيساتترين  
ل د ا ا ميلينياوم ألفينا غانجوك ١٩٩٦  
٢٠٢١  
محمد عصفى قعدى

فيغلولان ادمينيستراسي بيروكراسي قادا  
ماسا سلطان محمود بدار الدين ٢ دي  
كيسولتانان قاليمباغ دار السلام قادا تاهون  
١٨٠٣-١٨٢١  
ساري فيبرياتا

ايسيسٽينسي تاريكات نقشبندي حقتى دي  
جاكارتا  
ريتنا دوي ايسٽونيقتباس

كيكيسروهان دي چيرييون قادا اباد-٢٠  
سواتو كامباران داري كولونييال فيرسلانك  
١٨٨٠-١٨٧٠  
ليسي مرياني

ديناميكا اوال اکتيفيتاس نهضة العلماء دالام  
چاتاتان فيرس ماسا كولونييال ١٩٢٥-١٩٤٢  
احمد شيخ الدين

اناليسيس سيميويوتيا دي ساوستوري قادا  
شاير فوقجيان سوندا ايلغ ايلغ اومات  
كيكي ايسا فيردانا

ستودي ايسقيريمينتال فيغكونان رياكتور  
ميچروبيال فويل چيل (م ف چ) ديغان  
ميمبران بيروغكا سيباچاي آلات ميمانين  
اينيركي تيرباروكان داري فارياسي ليمباه  
اورپاتيک  
امى نهايه دان محمد رمضان كيريم

ISSN 2621-4938  
e-ISSN 2621-4946

THE INTERNATIONAL JOURNAL OF  
**PeGON**  
ISLAM NUSANTARA CIVILIZATION

Volume 7 . issue 1 . 2022