

**POTENSI KONSORSIUM BAKTERI TERMOFILIK AMOBIL
SEBAGAI *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) DALAM
MENGHASILKAN BIOLISTRIK**



**FATHMA DWI FATIHA
NIM. 21032121/2021**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

**POTENSI KONSORSIUM BAKTERI TERMOFILIK AMOBIL
SEBAGAI *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) DALAM
MENGHASILKAN BIOLISTRIK**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar
Sarjana Sains*



Oleh:

**FATHMA DWI FATIHA
NIM. 21032121/2021**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

PERSETUJUAN SKRIPSI

POTENSI KONSORSIUM BAKTERI TERMOFILIK AMOBIL SEBAGAI *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) DALAM MENGHASILKAN BIOLISTRIK

Nama : Fathma Dwi Fatiha
NIM : 21032121/2021
Program Studi : Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 7 Agustus 2025

Mengetahui:
Kepala Departemen Biologi



Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si., M.Biomed.
NIP. 197508152006042001

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing



Dr. Irdawati, M.Si
NIP. 197104302001122001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Fathma Dwi Fatiha
NIM : 21032121/2021
Program Studi : Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

POTENSI KONSORSIUM BAKTERI TERMOFILIK AMOBIL SEBAGAI *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) DALAM MENGHASILKAN BIOLISTRIK

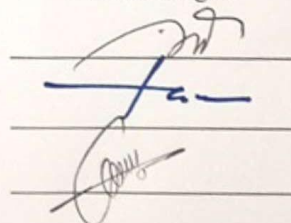
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 7 Agustus 2025

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Dr. Irdawati, M.Si
Anggota	: Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si, M. Biomed
Anggota	: Siska Alicia Farma, S.Pd., M.Biomed

Tanda Tangan



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

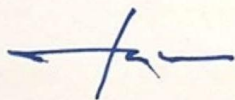
Nama : Fathma Dwi Fatiha
NIM : 21032121/2021
Program Studi : Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa, skripsi saya dengan judul “Potensi Konsorsium Bakteri Termofilik Amobil Sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dalam Menghasilkan Biolistrik” adalah benar merupakan karya sendiri, bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis dan diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 7 Agustus 2025

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Biologi



Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si., M.Biomed.
NIP. 197508152006042001

Saya yang menyatakan,



Fathma Dwi Fatiha
NIM. 21032121

Potensi Konsorsium Bakteri Termofilik Amobil Sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dalam Menghasilkan Biolistrik

Fathma Dwi Fatiha

ABSTRAK

Kebutuhan energi global yang terus meningkat tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya energi fosil yang terbatas dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang potensial adalah teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC), yaitu sistem bioelektrokimia yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme, seperti konsorsium bakteri termofilik amobil, untuk mengubah energi kimia dari substrat organik menjadi energi listrik. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui potensi konsorsium bakteri termofilik amobil sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam menghasilkan biolistrik dan mengetahui pola produksi energi listrik konsorsium bakteri termofilik amobil sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC).

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif. Penelitian berfokus pada hasil produksi biolistrik (tegangan listrik) dari enam isolat konsorsium amobil bakteri MS 9 & 12, MS 9 & 17, MS 9 & 18, MS 12 & 17, MS 12 & 18, dan MS 17 & 18 dengan 3 ulangan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Padang. Tegangan listrik diukur setiap 2 jam sekali selama 24 jam menggunakan multimeter digital dan dianalisis secara deskriptif dalam bentuk tabel dan gambar.

Hasil menunjukkan bahwa konsorsium MS 12 & MS 17 menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 0,948 V pada jam ke-20, dengan pola pertumbuhan yang stabil dan efisien. Sebaliknya, konsorsium MS 9 & MS 12 menghasilkan tegangan terendah sebesar 0,573 V. Pola peningkatan dan penurunan tegangan listrik selama 24 jam mencerminkan dinamika metabolisme mikroba, ketersediaan substrat, dan kestabilan sistem amobilisasi.

Kata kunci : Amobilisasi, Bakteri Termofilik, Biolistrik, Konsorsium Bakteri, *Microbial Fuel Cell* (MFC).

Potential of Immobilized Thermophilic Bacterial Consortium as *Microbial Fuel Cell* (MFC) in Generating Bioelectricity

Fathma Dwi Fatiha

ABSTRACT

The ever-increasing global energy demand is not matched by the limited availability of fossil fuel resources, which are also environmentally unfriendly. Therefore, efficient and sustainable renewable energy alternatives are needed. One promising approach is Microbial Fuel Cell (MFC) technology, a bioelectrochemical system that utilizes the activity of microorganisms, such as thermophilic amobil bacterial consortia, to convert chemical energy from organic substrates into electrical energy. The objective of this study is to determine the potential of thermophilic amobilic bacterial consortia as Microbial Fuel Cells (MFCs) in generating bioelectricity and to understand the patterns of electrical energy production by thermophilic amobilic bacterial consortia as Microbial Fuel Cells (MFCs).

This study is a descriptive study. The research focuses on the bioelectricity production (electric voltage) results from six isolates of the immobile bacterial consortium MS 9 & 12, MS 9 & 17, MS 9 & 18, MS 12 & 17, MS 12 & 18, and MS 17 & 18 with three replicates. The study was conducted at the Microbiology Laboratory, Department of Biology, FMIPA, University of Padang. Electrical voltage was measured every 2 hours over a 24-hour period using a digital multimeter and analyzed descriptively in the form of tables and graphs.

The results showed that the MS 12 & MS 17 consortium produced the highest voltage of 0.948 V at the 20th hour, with a stable and efficient growth pattern. Conversely, the MS 9 & MS 12 consortium produced the lowest voltage of 0.573 V. The patterns of voltage increase and decrease over 24 hours reflect microbial metabolic dynamics, substrate availability, and the stability of the mobilization system.

Keywords: Mobilization, Thermophilic Bacteria, Bioelectricity, Bacterial Consortium, *Microbial Fuel Cell* (MFC).

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta kesehatan sehingga dengan ridho-Nya penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Potensi Konsorsium Bakteri Termofilik Amobil Sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dalam Menghasilkan Biolistrik”**. Shalawat beserta salam untuk Rasulullah Muhammad SAW junjungan umat seluruh alam.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Dr. Irdawati, M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dengan sangat sabar selama penyelesaian skripsi. Tidak pernah berhenti untuk selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengalaman berharga selama penyusunan skripsi.
2. Ibu Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si., M.Biomed dan Ibu Siska Alicia Farma, S.Pd., M. Biomed sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, saran, dan penilaian yang sangat berarti dalam penulisan skripsi.
3. Ibu Dr. Violita, M.Si., selaku dosen Penasehat Akademik yang telah membimbing selama perkuliahan.

4. Ibu Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si., M.Biomed, sebagai Kepala Departemen Biologi dan Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
5. Bapak, Ibu, dan staf Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang yang telah membantu dalam kelancaran penelitian dan penyusunan skripsi ini.
6. Kedua orang tua penulis Bapak Riswa Harianto, S.H dan Ibu Desi Anggraini. Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan atas setiap doa yang senantiasa terpanjatkan, dukungan yang menenangkan, serta segala bentuk pengorbanan yang mungkin tak pernah terungkapkan secara langsung. Semoga ayah dan mama selalu diberikan kesehatan, umur yang panjang, dan Bahagia selalu.
7. Saudara kandung penulis Dhia Atika Anggraini, S.T., M.Sc., terima kasih telah menjadi rumah kedua tempat penulis berpulang saat rasa lelah dan putus asa datang bertubi-tubi.
8. Tim Microverse 24 (Shintia, Aza, Sasa, Anja, Adin, Putri, Rian), yang telah membantu, memberikan semangat pantang menyerah, selama proses penelitian berlangsung.
9. Kakak dan abang tim penelitian, terkhusus kepada bang Aldi Wahyuda Vestimarta, kak Titi Summaiati atas masukan, bantuan, dan dukungan kepada penulis selama berjalannya penelitian.
10. Sahabat saya selama perkuliahan (Rival, Qoyi, Qoqo, Kenny, Uwi, Pika, Dhea), terima kasih telah menjadi teman yang baik, dan menjadi pendengar yang baik selama penulis menjalani perkuliahan.

11. Sahabat saya yang terpisahkan oleh jarak (Rista, Indri dan Isya, Jihan, Godam, Alisha, Jala, Fatkim dan Zika) terima kasih atas keberadaanmu yang selalu terasa dekat, meski secara fisik tak bisa mendampingi. Terima kasih telah menjadi pendengar setia, pemberi nasihat yang bijak, serta pengingat agar penulis tidak menyerah di tengah jalan.
12. Kak Rini Wulandari dan Puti Afifa Mushkir, terima kasih telah menjadi kakak dan adik yang baik, supportif selama penulis berada di bangku perkuliahan.
13. Untuk diri sendiri, terima kasih, karena telah bertahan sejauh ini. Terima kasih karena tidak menyerah di saat dunia terasa sunyi dan semua tampak jauh dari harapan. Terima kasih karena tetap berdiri, bahkan saat tidak ada yang tahu bahwa ada air mata yang jatuh diam-diam, terima kasih karena memilih untuk terus melangkah, walau sering merasa sendiri dan penuh ketidakpastian.

Padang, 22 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KERANGKA TEORITIS.....	6
A. Konsorsium Bakteri.....	6
B. Bakteri Termofilik	7
C. Amobilisasi Sel Dengan Campuran Alginat.....	10
D. <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC).....	12
BAB III METODE PENELITIAN	16
A. Jenis Penelitian	16
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
C. Alat dan Bahan	16
D. Prosedur Penelitian.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
A. Hasil	22
B. Pembahasan	24
BAB V PENUTUP	33
A. Kesimpulan.....	33
B. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Rute Transfer Elektron Dalam MFC	11
2. Alginat/Grafit/Butiran Sel yang Telah Disiapkan	12
3. MFC <i>Dual Chamber</i> Menggunakan Jembatan Garam	13
4. Prinsip Kerja MFC	14
5. Konstruksi Sistem MFC	19
6. Tegangan Listrik Isolat Konsorsium Bakteri Termofilik Amobil	22
7. Pola Produksi Energi Listrik Isolat Konsorsium Bakteri	23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Rata-Rata Voltase Listrik Isolat yang diamobil	43
2. Hasil pengukuran pola pertumbuhan isolat termofilik yang diamobil.....	43
3. Perhitungan Standar Deviasi	46
4. Dokumentasi Penelitian	47

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi manusia semakin meningkat dan diprediksi akan terus bertambah setiap tahun, seiring dengan perkembangan ekonomi dan pertumbuhan populasi. Peningkatan dari berbagai aktivitas ekonomi menyebabkan permintaan energi mengalami peningkatan yang signifikan (Rachmayanti *et al.*, 2019). Berdasarkan data yang dirilis oleh Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), konsumsi listrik per kapita di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 9,55%, dari 1.173 kWh pada tahun 2022 menjadi 1.285 kWh pada tahun 2023 (Adi, 2024). Peningkatan kebutuhan energi ini tidak sejalan dengan ketersediaan sumber daya, sehingga menyebabkan pasokan energi nasional cenderung menurun (Ibrahim *et al.*, 2017). Selain itu, sebagian besar kebutuhan energi nasional masih bergantung pada sumber energi fosil, yang bersifat tidak terbarukan dan terbatas ketersediaannya (Setiawan *et al.*, 2019).

Penggunaan bahan bakar fosil berdampak pada kesehatan lingkungan, dimana fosil ini akan meningkatkan emisi karbon dioksida yang kemudian berdampak pada kesehatan (A'nnisa *et al.*, 2020). Energi alternatif diperlukan untuk mengurangi efek negatif dari bahan bakar ini. Penelitian Du *et al.* (2007) dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam sel elektrokimia, *Microbial Fuel Cell* (MFC) menjadi alternatif menarik untuk menghasilkan energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan.

Sistem elektrokimia *Microbial Fuel Cell* (MFC) menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan energi kimia dari substrat organik menjadi listrik.

Sumber energi sel bahan bakar mikroba (MFC) merupakan salah satu teknologi konversi yang mampu menghasilkan energi terbarukan dari berbagai sumber substrat. MFC berpotensi sebagai sumber energi yang bersih dan bebas polusi yang dapat menggantikan bahan bakar fosil konvensional (Obileke *et al.*, 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi sel bahan bakar bakteri (MFC) berkembang pesat. Inovasi terbaru meningkatkan efisiensi konversi energi dan memperluas aplikasinya ke berbagai bidang, mulai dari pengolahan limbah hingga sumber energi terbarukan. Penggunaan MFC sebagai sumber energi alternatif memiliki beberapa keuntungan, termasuk pengolahan limbah dan produksi listrik dari bahan organik. Dalam MFC, bakteri dan elektroda bekerja sama untuk membentuk biofilm pada permukaan anoda, yang memudahkan transformasi bahan organik rumit menjadi energi melalui metabolisme mikroba (Chouhan *et al.*, 2023).

Bakteri termofilik merupakan salah satu jenis mikroba yang mampu menghasilkan listrik. Menurut Irdawati (2016) bakteri termofilik hidup di lingkungan bersuhu tinggi, seperti sumber mata air panas. Mudiak Sapan merupakan salah satu sumber air panas tempat isolasi bakteri termofilik. Sumber air panas ini memiliki pH 8 dan suhu 93°C. Empat isolat bakteri termofilik terbaik berhasil diperoleh dan digunakan untuk membentuk konsorsium (Irdawati *et al.*, 2023). Bakteri termofilik mampu bertahan dan berkembang pada suhu tinggi

karena memiliki protein yang lebih stabil dan tahan panas (Zuraidah *et al.*, 2020). Bakteri termofilik sebagai MFC mampu menghasilkan biolistrik yang lebih baik karena memiliki potensi degradasi substrat dengan risiko kontaminasi rendah dibandingkan dengan bakteri mesofilik (Dai *et al.*, 2017). Penelitian oleh Choi *et al.* (2004) menunjukkan bahwa bakteri termofilik mampu menghasilkan tegangan listrik sebesar 700 mV. Temuan ini diperkuat oleh hasil penelitian Vestimarta dan Irdawati (2024), yang melaporkan tegangan sebesar 749 mV dengan menggunakan bakteri termofilik.

Pemilihan jenis mikroorganisme dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) sangat memengaruhi performa listrik yang dihasilkan. Sistem MFC dengan kultur tunggal sering kali menunjukkan densitas daya yang rendah akibat terbatasnya aktivitas elektrogenik mikroba (Chaturverdi & Verma, 2016). Untuk mengatasi keterbatasan ini, penggunaan bakteri termofilik dalam bentuk konsorsium menjadi alternatif yang lebih potensial. Konsorsium merupakan kumpulan bakteri yang bekerja sama, komensal, dan saling membantu. Dibandingkan dengan mikroba tunggal, komunitas mikroba yang berasosiasi mendegradasi senyawa kimia dengan lebih cepat. Bakteri dalam konsorsium akan bekerja sama untuk menghasilkan perombakan yang lebih baik dengan substrat yang cukup (Okoh, 2006). Untuk mendapatkan konsorsium bakteri yang tepat perlu dilakukan uji kompatibilitas. Uji kompatibilitas ini mengacu pada kondisi dimana dua atau lebih bakteri dapat bekerja sama dalam suatu komunitas (Jovanita *et al.*, 2022). Uji kompatibilitas konsorsium bakteri termofilik yang dilakukan oleh Fahra *et al.*, (2023) didapatkan hasil MS 9 dan MS 18, MS 9 dan MS 12 MS 9 dan MS 17

bersifat kompatibel yang ditandai dengan tidak adanya pertumbuhan zonaambat. Penelitian Uthami, (2024) memaparkan bahwa isolat konsorsium bakteri termofilik MS 12 dan MS 17 dapat memproduksi tegangan listrik sebesar 1,2085 V sedangkan hasil dari konsorsium bakteri termofilik MS 9 dan MS 18 menghasilkan tegangan listrik sebesar 0,8530 V.

Elektron yang dapat menghasilkan biolistrik dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu luas permukaan elektroda, ukuran reaktor, waktu beroperasi, temperatur, pH dan penerima elektron (Logan *et al.*, 2006), juga dipengaruhi oleh metode amobilisasi karena secara signifikan, amobilisasi sel mampu meningkatkan stabilitas *output* energi listrik dan memiliki potensi yang baik untuk aplikasi praktis pengembangan sistem *Microbial Fuel Cell* (Yong *et al.*, 2013). Stabilitas *output* energi listrik setelah penambahan NaCl menggunakan metode amobilisasi lebih baik dibandingkan dengan menggunakan sel bebas (Yong *et al.*, 2013). Salah satu teknik amobilisasi yang sering dilakukan ialah *entrapment* (penjebakan) menggunakan alginat (Oktarina *et al.*, 2017).

Penelitian mengenai teknik amobilisasi dalam meningkatkan kinerja *microbial fuel cell* (MFC) sudah dilakukan dengan menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* yang teramobilisasi mampu menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 0,39 V (Sofiah, 2018). Menurut penelitian Alikha *et al.*, (2024), kultur cair *Pseudomonas* sp. yang tidak diamobilisasi dan diamobilisasi menghasilkan tegangan listrik masing-masing 0,6 V dan 0,8 V. Sistem MFC dengan Bacterium strain BS2049 dan *Pseudomonas* sp. teramobilisasi menghasilkan tegangan listrik

lebih tinggi dibandingkan bakteri non amobilisasi (Nafi'ah *et al.*, 2024). Gandu *et al.*, (2020) melaporkan bakteri *Geobacter sulfurreducens* teramobilisasi menghasilkan energi listrik sebesar 0,5 V lebih tinggi dibanding bakteri non-amobilisasi sebesar 0,2 V.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian mengenai hal **“Potensi Konsorsium Bakteri Termofilik Amobil Sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dalam Menghasilkan Biolistrik”** ini perlu dilakukan.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana potensi konsorsium bakteri termofilik amobil sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam menghasilkan biolistrik?
2. Bagaimana pola produksi energi listrik konsorsium bakteri termofilik amobil sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC)?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui potensi konsorsium bakteri termofilik amobil sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam menghasilkan biolistrik.
2. Mengetahui pola produksi energi listrik konsorsium bakteri termofilik amobil sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC).

D. Manfaat Penelitian

1. Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan dalam bidang mikrobiologi.
2. Memberikan informasi tentang potensi konsorsium bakteri termofilik amobil sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam menghasilkan biolistrik.
3. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsorsium bakteri termofilik yang diamobilisasi berpotensi sebagai Microbial Fuel Cell (MFC) dengan produksi tegangan listrik tertinggi pada isolat MS 12 & MS 17 amobil (0,948 V) dan terendah pada isolat MS 9 & MS 12 (0,573 V).
2. Konsorsium bakteri termofilik amobil dalam sistem MFC menunjukkan pola produksi energi listrik yang semakin meningkat sampai pada jam ke-20, setelah itu produksi energi listrik menurun.

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi bahan dan konsentrasi matriks amobilisasi, untuk mendapatkan produksi listrik yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A. C. (2024, 15 Januari). *Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat, Tahun 2023 Capai 1.285 kWh/Kapita*. [Unggahan blog]. Diakses dari <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>
- Akbar, T. N., Kirom, M. R., & Iskandar, R. F. (2017). Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik. *eProceedings of Engineering*, 4(2).
- Alikha, A. D. (2024). Pengaruh Amobilisasi Bakteri Uncultured Pseudomonas sp Clone 034571 018 dan Uncultured Bacterium Clone 1 Menggunakan Matriks Karagenan Pada Potensial Daya Single Chamber Microbial Fuel Cell dengan Variasi Penambahan Besi (III). *Thesis*. Surabaya: Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- A'nnisa, L., Sasana, H., & Septiani, Y. (2020). Analisis Konsumsi Energi Fosil, Emisi Co₂, Konsumsi Energi Terbarukan Dan Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Pengeluaran Kesehatan Indonesia Periode Tahun 2000-2017. *DINAMIC: Directory Journal of Economic*, 2(2), 431-445.
- Bhatia, S. K., Yi, D. H., Kim, Y. H., Kim, H. J., Seo, H. M., Lee, J. H., & Yang, Y. H. (2015). Development of semi-synthetic microbial consortia of Streptomyces coelicolor for increased production of biodiesel (fatty acid methyl esters). *Fuel*, 159, 189-196.
- Cahyono, K., & Nurcahyani, E. (2021). Imobilisasi Bakteri Asam Laktat Dengan Menggunakan Alginat. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 4(1), 33-40.
- Chaturvedi, V., & Verma, P. (2016). Microbial fuel cell: a green approach for the utilization of waste for the generation of bioelectricity. *Bioresources and Bioprocessing*, 3(1), 38.
- Chen, N., Du, N., Shen, R., He, T., Xi, J., Tan, J., ... & Yuan, Q. (2023). Redox signaling-driven modulation of microbial biosynthesis and biocatalysis. *Nature Communications*, 14(1), 6800.
- Cheng, K. Y. (2009). Bioelectrochemical Systems for Energy Recovery from Wastewater. *Disertasi*. Australia: Murdoch University.
- Cheng, S., & Logan, B. E. (2007). Sustainable and efficient biohydrogen production via electrohydrogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(47), 18871-18873.
- Chibata I, (1983). *Immobilized Enzyme*. Tokyo: A Halsted Press Book Kodansha Ltd

- Choi, Y. J., Jung, E. K., Park, H. J., Paik, S. R., Jung, S. H., & Kim, S. H. (2004). Construction Of Microbial Fuel Cells Using Thermophilic Microorganisms, *Bacillus Licheniformis* And *Bacillus Thermoglucosidasius*. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 25(6), 813-818.
- Chouhan, R. S., Gandhi, S., Verma, S. K., Jerman, I., Baker, S., & Štok, M. (2023). Recent Advancements In The Development Of Two-Dimensional Nanostructured Based Anode Materials For Stable Power Density In Microbial Fuel Cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113813.
- Dai, K., Wen, J. L., Zhang, F., Ma, X. W., Cui, X. Y., Zhang, Q., & Zeng, R. J. (2017). Electricity Production And Microbial Characterization Of Thermophilic Microbial Fuel Cells. *Bioresource technology*, 243, 512-519.
- Dewi, I. R. (2020). Efektivitas Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus Aureus* Pada Media Agar Darah Manusia Kedaluwarsa Dibanding Agar Darah Domba. *Disertasi*. Yogyakarta: Poltekkes Kemenkes Yogyakarta.
- Du, Z., Li, H., & Gu, T. (2007). A State Of The Art Review On Microbial Fuel Cells: A Promising Technology For Wastewater Treatment And Bioenergy. *Biotechnology advances*, 25(5), 464-482.
- Dubey, S. K., & Verma, S. K. (2021). *Plant, Soil and Microbes in Tropical Ecosystems*. Jerman: Springer.
- El-Katatny, M. H. (2010). Enzyme Production And Nitrogen Fixation By Free, Immobilized And Coimmobilized Inoculants Of *Trichoderma Harzianum* And *Azospirillum Brasilense* And Their Possible Role In Growth Promotion Of Tomato. *Food Technology and Biotechnology*, 48(2), 161-174.
- Erable, B., Duțeanu, N. M., Ghangrekar, M. M., Dumas, C., & Scott, K. (2010). Application of electro-active biofilms. *Biofouling*, 26(1), 57-71.
- Fahra, F., & Irdawati, I. (2023). Compatibility Test of the Biculture Consortium of Thermophilic Bacteria from Mudiak Sapan Hot. *Jurnal Serambi Biologi*, 8(1), 22-25.
- Gandu, B., Rozenfeld, S., Hirsch, L. O., Schechter, A., & Cahan, R. (2020). Immobilization of bacterial cells on carbon-cloth anode using alginate for hydrogen generation in a microbial electrolysis cell. *Journal of Power Sources*, 455, 227986.
- Hassanzadeh, A. M., Khiabani Mahmoud, S., Sadrnia, M., Divband, B., Rahmanpour, O., Jabbari, V., ... & Kafil Hossein, S. (2017). Inmovilización y microencapsulación de *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus plantarum* usando base de zeolita y evaluando su viabilidad en condiciones simuladas de gastroesofágico-intestino. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 58(4), 163-170.

- Ibrahim, B., & Uju, A. C. M. (2019). Densitas biofilm pada elektroda berpengaruh positif terhadap produksi biolistrik microbial fuel cell limbah cair perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(1), 71-79.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Adjani, Z. N. (2017). Kinerja microbial fuel cell penghasil biolistrik dengan perbedaan jenis elektroda pada limbah cair industri perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 296-304.
- Irdawati & M, Fifendy. (2011). Isolation Bacteria Thermophilic Producer Amylase from Hot Springs Rimbo House Pasaman. *Report Research*. University Country of Padang.
- Irdawati, I., Auliya, P. R., Putri, D. H., Handayani, D., & Yusrizal, Y. (2023). The Ability of the thermophilic bacteria triculture consortium from mudiak sapan hot springs to produce biofuel. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(4), 2265-2270.
- Irdawati, I., Fahra, F., Putri, D. H., Handayani, D., & Yusrizal, Y. (2023). Effect of the Thermophilic Bacterial Biculture Consortium from Mudiak Sapan Hot Springs on Biofuel Production. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 9032-9037.
- Irdawati, I., Syamsuardi, S., Agustien, A., & Alberida, H. 2016. Profil Pertumbuhan Bakteri Termofilik Penghasil Xylanase Alkali dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan, Solok Selatan. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan dan Sains Biologi. ISBN: 978-602-74224-2-1.
- Irena, A. (2010). Isolasi Dan Optimasi Protease Bakteri Termofilik Dari Sumber Air Panas Tangkuban Perahu Bandung. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Islam, M. A., Karim, A., Mishra, P., Dubowski, J. J., Yousuf, A., Sarmin, S., & Khan, M. M. R. (2020). Microbial synergistic interactions enhanced power generation in co-culture driven microbial fuel cell. *Science of the Total Environment*, 738, 140138.
- Jiang, Y., Lv, Y., Wu, R., Lu, J., Dong, W., Zhou, J., ... & Jiang, M. (2020). Consolidated bioprocessing performance of a two-species microbial consortium for butanol production from lignocellulosic biomass. *Biotechnology and Bioengineering*, 117(10), 2985-2995.
- Jovanita, L., & Advinda, L. (2022). Compatibility Test of Fluorescent Pseudomonad Isolated from Plant Rhizosphere. *Jurnal Serambi Biologi*, 7(1), 65-69.
- Kang, D., Jacquioud, S., Herschend, J., Wei, S., Nesme, J., & Sørensen, S. J. (2020). Construction of simplified microbial consortia to degrade recalcitrant materials based on enrichment and dilution-to-extinction cultures. *Frontiers in microbiology*, 10, 3010.

- Kim, M. H. (2009). An analysis of anaerobic dual-anode chambered Microbial Fuel Cell (MFC) performance. *Thesis*. Knoxville: University of Tennessee.
- Kosman, R. (2011). Pemurnian Natrium Alginat Dari *Sargassum Duplicatum* JG Agardh, *Turbinaria Decurrens* (Bory) Dan *Turbinaria Ornata* (Turner) J. Agardh Asal Perairan Ternate, Maluku Utara. *Majalah Farmasi dan Farmakologi*, 15(1), 30-34.
- Kumar, R., Singh, L., & Zularisam, A. W. (2016). Exoelectrogens: recent advances in molecular drivers involved in extracellular electron transfer and strategies used to improve it for microbial fuel cell applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1322-1336.
- Kumar, S., & Nussinov, R. (2001). How do thermophilic proteins deal with heat?. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 58, 1216-1233.
- Li, S., Yang, X., Yang, S., Zhu, M., & Wang, X. (2012). Technology prospecting on enzymes: application, marketing and engineering. *Computational and structural biotechnology journal*, 2(3), e201209017.
- Liu, H., Cheng, S., & Logan, B. E. (2005). Production of electricity from acetate or butyrate using a single-chamber microbial fuel cell. *Environmental science & technology*, 39(2), 658-662.
- Liu, M., Shao, J., Zhou, B., Zhou, S., & Ni, J. (2010). Progress in research of microbial electricigenic respiration. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 16(3), 445-452.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., ... & Rabaey, K. (2006). Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environmental science & technology*, 40(17), 5181-5192.
- Madigan, M. T., Jhon. M. M., Paul, P. D., dan David, P. C. (2008). *Biology of Microorganisms Twelfth Edition*. New York: Prentice Hall International
- Mohammad, B. T., Al Daghistani, H. I., Jaouani, A., Abdel-Latif, S., & Kennes, C. (2017). Isolation and characterization of thermophilic bacteria from Jordanian hot springs: *Bacillus licheniformis* and *Thermomonas hydrothermalis* isolates as potential producers of thermostable enzymes. *International journal of microbiology*, 2017(1), 6943952.
- Mulyani, D. R., Dewi, E. N., & Kurniasih, R. A. (2018). Karakteristik es krim dengan penambahan alginat sebagai penstabil. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 6(3), 36-42.
- Nadila, P. (2019). Eksplorasi Bakteri Termofilik dari Sumber Air Panas Dikawasan Cagar Alam Tinggi Raja Kecamatan Silau Kahen Kabupaten Simalungun Sumatera Utara. *Doctoral dissertation*. Medan: Universitas Medan Area.

- Nafi'ah, N. (2024). Pengaruh Imobilisasi Bakteri Uncultured *Pseudomonas* Sp.Clone 034571 018 Dan Bacterium Strain Bs2049 Menggunakan Matriks Karagenan Pada Nilai Elektrisitas Dalam Sistem Single Chamber Microbial Fuel Cell Dengan Variasi Penambahan Fe (III). *Skripsi*. Surabaya:Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Novitasari, D. (2011). Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Nugroho, I., Utami, A. R. I., & Kirom, R. (2020). Pengaruh Lama Pembusukan Nasi Basi Dan Rasio Volume Variasi Substrat Terhadap Produksi Energi Listrik Pada Sistem Mfc. *eProceedings of Engineering*, 7(1).
- Obileke, K., Onyeaka, H., Meyer, E. L., & Nwokolo, N. (2021). Microbial Fuel Cells, A Renewable Energy Technology For Bio-Electricity Generation: A Mini-Review. *Electrochemistry Communications*, 125, 107003.
- Oh, S., & Logan, B. E. (2005). Hydrogen and electricity production from a food processing wastewater using fermentation and microbial fuel cell technologies. *Water research*, 39(19), 4673-4682.
- Okoh, A. I. (2006). Biodegradation Alternative In The Cleanup Of Petroleum Hydrocarbon Pollutants. *Biotechnology and molecular biology review*, 1(2), 38-50.
- Oktarina, E., Adrianto, R., & Setiawati, I. (2017). Imobilisasi Bakteri pada Kitosan-alginat dan Kitin-alginat. *Majalah TEGI*, 9(2).
- Oviantari, M. V., & Parwata, I. P. (2016). Amobilisasi Bakteri *Acinetobacter Baumannii* Menggunakan Alginat Sebagai Bahan Pembawa (Carrier). In *Prosiding Seminar Nasional Riset Inovatif (SENARI)*, pp. 160-169.
- Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource technology*, 101(6), 1533-1543.
- Parkash, A. (2015). Design and fabrication of a double chamber microbial fuel cell for voltage generation from biowaste. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 5(8), 1.
- Purnama, W. A., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur Dengan Substrat Lumpur Sawah Terhadap Produksi Arus Listrik Microbial Fuel Cell. *eProceedings of Engineering*, 7(1).
- Quirós, C., García, L. A., & Díaz, M. (1996). The evolution of the structure of calcium alginate *beads* and cell leakage during protease production. *Process biochemistry*, 31(8), 813-822.

- Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *TRENDS in Biotechnology*, 23(6), 291-298.
- Rachmayanti, A., Sari, R. M., & Ilhamdy, F. A. (2019). Proses Sakarifikasi Dan Fermentasi Terpisah Pada Produksi Bioetanol dari Bahan Baku Rumput Laut *Sargassum* sp. *Jurnal Marinade*, 02(01), 19–28.
- Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., & Oh, S. E. (2015). Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 745-756.
- Rahimnejad, M., Jafary, T., Haghpour, F., Najafpour, G. D., & Ghoreyshi, A. A. (2010). Nafion as a nanoproton conductor in microbial fuel cells. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 34(4), 289-291.
- Ramakrishna, S. V., & Prakasham, R. S. (1999). Microbial fermentations with immobilized cells. *Current science*, 87-100.
- Rolfe, M. D., Rice, C. J., Lucchini, S., Pin, C., Thompson, A., Cameron, A. D., ... & Hinton, J. C. (2012). Lag phase is a distinct growth phase that prepares bacteria for exponential growth and involves transient metal accumulation. *Journal of bacteriology*, 194(3), 686-701.
- Sahlan, A. Q., & Kusdiyantini, E. (2014). Isolasi dan karakterisasi isolat konsorsium bakteri lahan pertanian sebagai potensi degradasi pestisida propoxur. *Jurnal Akademika Biologi*, 3(4), 33-38.
- Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, I. (2017). Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of power sources*, 356, 225-244.
- Setiawan, A., Tua, D. P., & Husin, M. K. E. (2019). Pengaruh konsumsi bahan bakar fosil terhadap produk domestik bruto Indonesia dan hubungan timbal balik di antara keduanya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(3), 213-223.
- Sevda, S., & Sreekrishnan, T. R. (2012). Effect of salt concentration and mediators in salt bridge microbial fuel cell for electricity generation from synthetic wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(6), 878-886.
- Shou, W., Ram, S., & Vilar, J. M. (2007). Synthetic cooperation in engineered yeast populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(6), 1877-1882.
- Siregar, M., & Prayitno, S. B. (2016). Pengaruh Konsentrasi Konsorsium Bakteri K1, K2 Dan K3 Terhadap Status Kesehatan Rumput Laut (*Eucheuma Cottonii*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 5(1), 91-97.

- Sofiah F. 2018. Imobilisasi *Bacillus subtilis* dengan karaginan pada anoda microbial fuel cell menggunakan limbah pemindangan ikan. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Srinak, N., Chiewchankaset, P., Kalapanulak, S., Panichnumsin, P., & Saithong, T. (2024). Metabolic cross-feeding interactions modulate the dynamic community structure in microbial fuel cell under variable organic loading wastewaters. *PLOS Computational Biology*, 20(10), e1012533.
- Sulistiyawati, I., Rahayu, N. L., & Purwitaningrum, F. S. (2020). Produksi Biolistrik Menggunakan Microbial Fuel Cell (MFC) *Lactobacillus bulgaricus* dengan Substrat Limbah Tempe dan Tahu. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 37(2), 112-117.
- Summaiaty, T. (2024). Amobilisasi Kultur Campuran Bakteri Termofilik Pada Variasi Konsentrasi Alginat Dalam Produksi Enzim Xilanase. *Skripsi*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Timotius, K. H. (2017). Pengolahan Air Limbag dan Produksi Listrik Secara Simulasi Oleh Microbial Fuel Cells (MFCS). *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*.
- Utami, L., Lazulva, L., & Fatisa, Y. (2020). Electricity production from peat water uses microbial fuel cells technology. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 2(1), 55-60.
- Uthami, F. N. (2024). Pengaruh Konsorsium Bikultur Bakteri Termofilik Dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan Sebagai Microbial Fuel Cell (MFC) Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Skripsi*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Verma, S. (2002). Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes. *Columbia University*, 7(3), 98-104.
- Vestimarta, A. W., & Irdawati, I. (2024). Produksi Biolistrik dengan Microbial Fuel Cell (MFC) dari Bakteri Termofilik. *MASALIQ*, 4(1), 359-366.
- Wang, S., Tang, H., Peng, F., Yu, X., Su, H., Xu, P., & Tan, T. (2019). Metabolite-based mutualism enhances hydrogen production in a two-species microbial consortium. *Communications biology*, 2(1), 82.
- Widodo, A. A., & Ali, M. (2019). Biokonversi Bahan Organik Pada Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan Menjadi Energi Listrik Menggunakan Microbial Fuel Cell. *ENVIROTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 11(2), 30-37.
- Yong, Y. C., Liao, Z. H., Sun, J. Z., Zheng, T., Jiang, R. R., & Song, H. (2013). Enhancement of coulombic efficiency and salt tolerance in microbial fuel cells by graphite/alginate granules immobilization of *Shewanella oneidensis* MR-1. *Process Biochemistry*, 48(12), 1947-1951.

- Zeldes, B. M., Keller, M. W., Loder, A. J., Straub, C. T., Adams, M. W., & Kelly, R. M. (2015). Extremely Thermophilic Microorganisms as Metabolic Engineering Platforms for Production of Fuels and Industrial Chemicals. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1209.
- Zhou, K., Qiao, K., Edgar, S., & Stephanopoulos, G. (2015). Distributing a metabolic pathway among a microbial consortium enhances production of natural products. *Nature biotechnology*, 33(4), 377-383.
- Zilda, D. S., Kusumarini, A., & Chasanah, E. (2008). Penapisan dan Karakterisasi Protease dari Bakteri Termo-Asidofilik P5-A dari Sumber Air Panas Tambarana. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 3(2), 113-121.
- Zubaidah, S. (2000). *Bakteri: Kajian Tentang Beberapa Aspek Biologis*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Żur, J., Wojcieszńska, D., & Guzik, U. (2016). Metabolic responses of bacterial cells to immobilization. *Molecules*, 21(7), 958.
- Zuraidah, Z., Wahyuni, D., & Astuty, E. (2020). Karakteristik morfologi dan uji aktivitas bakteri termofilik dari kawasan wisata Ie Seuum (air panas). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 11(2).

