

OPTIMASI pH DAN KONSENTRASI STARTER *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 SEBAGAI MICROBIAL FUEL CELL (MFC) UNTUK PRODUKSI BIOLISTRIK



Oleh :

SILVI TAMARA

NIM. 22032096/2022

DEPARTEMEN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2026

OPTIMASI pH DAN KONSENTRASI STARTER *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 SEBAGAI MICROBIAL FUEL CELL (MFC) UNTUK PRODUKSI BIOLISTRIK



Oleh :

SILVI TAMARA

NIM. 22032096/2022

DEPARTEMEN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2026

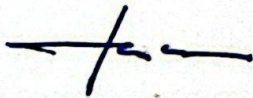
PERSETUJUAN SKRIPSI

OPTIMASI pH DAN KONSENTRASI STARTER *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 SEBAGAI MICROBIAL FUEL CELL (MFC) UNTUK PRODUKSI BIOLISTRIK

Nama : Silvi Tamara
NIM : 22032096/2022
Program Studi : Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 7 Mei 2026

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

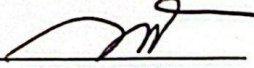
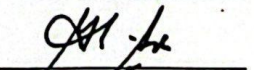
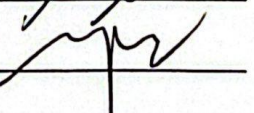
Nama : Silvi Tamara
NIM : 22032096/2022
Program Studi : Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

OPTIMASI pH DAN KONSENTRASI STARTER *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 SEBAGAI MICROBIAL FUEL CELL (MFC) UNTUK PRODUKSI BIOLISTRIK

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

Padang, 7 Mei 2026

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Dr. Irdawati, M.Si	
Anggota	: Prof. Dr. Linda Advinda, M.Kes	
Anggota	: Dr. dr. Elsa Yuniarti, S.Ked., M.Biomed.,	

AIFO-K

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

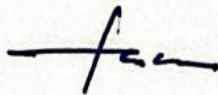
Nama : Silvi Tamara
NIM : 22032096/2022
Program Studi : Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa, skripsi saya dengan judul “Optimasi pH dan Konsentrasi Starter *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 sebagai *Microbial Fuel Cell* untuk Produksi 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 Mei 2026

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Biologi



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

Saya yang menyatakan,



Silvi Tamara
NIM. 22032096

**Optimasi pH dan Konsentrasi Starter *Bacillus licheniformis*
strain Nam 2-2 Sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) Untuk
Produksi Biolistrik**

Silvi Tamara

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang dapat dikembangkan adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC) yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghasilkan energi listrik. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh pH dan konsentrasi starter serta interaksinya terhadap produksi biolistrik menggunakan *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2.

Penelitian ini merupakan eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dua faktor, yaitu pH (7; 7,5; 8) dan konsentrasi starter (3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%) dengan tiga ulangan. Sistem yang digunakan adalah MFC tipe dual chamber. Data tegangan listrik dianalisis menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH dan konsentrasi starter berpengaruh nyata terhadap produksi biolistrik. Tegangan tertinggi diperoleh pada kombinasi pH 7,5 dan konsentrasi starter 12% sebesar 0,975 V, sedangkan terendah pada pH 7,5 dan starter 3% sebesar 0,657 V.

Kata kunci: *Bacillus licheniformis*, Biolistrik, *Microbial Fuel Cell*, pH, Konsentrasi Starter.

Optimization of pH and Starter Concentration *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 as a *Microbial Fuel Cell* (MFC) for Bioelectricity Production

Silvi Tamara

ABSTRACT

The increasing demand for electrical energy encourages the development of environmentally friendly alternative energy sources. One of the potential technologies is *Microbial Fuel Cell* (MFC), which utilizes microbial activity to produce electricity. This study aimed to determine the effect of pH and starter concentration and their interaction on bioelectricity production using *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2.

This research was an experimental study using a factorial Completely Randomized Design (CRD) with two factors: pH (7; 7.5; 8) and starter concentration (3%, 6%, 9%, 12%, and 15%) with three replications. The system used was a dual-chamber MFC. Data were analyzed using ANOVA followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level.

The results showed that pH and starter concentration significantly affected bioelectricity production. The highest voltage was obtained at a combination of pH 7.5 and 12% starter concentration (0.975 V), while the lowest was at pH 7.5 and 3% starter concentration (0.657 V).

Keywords: *Bacillus licheniformis*, Bioelectricity, *Microbial Fuel Cell*, pH, Starter concentration,

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi pH dan Konsentrasi Starter pada *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 Sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) Untuk Produksi Biolistrik”. Shalawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘alaihi wasallam. Penulisan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Irdawati, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga, kesabaran, perhatian, serta bimbingan yang penuh motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dr. Violita, S.Si, M.Si, selaku dosen Penasihat Akademik yang telah memberikan arahan, dukungan, dan motivasi selama perjalanan perkuliahan.
3. Ibu Prof. Dr. Linda Advinda, M.Kes dan Ibu Dr. Dr. Elsa Yuniarti, S.Ked., M.Biomed., AIFO-K, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu, perhatian, serta saran berharga yang sangat membantu dalam penyempurnaan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si., M.Biomed., selaku Kepala Departemen Biologi dan Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

5. Bapak dan Ibu dosen, pimpinan serta Staf Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang yang telah membantu dan mengajar penulis selama proses perkuliahan.
6. Kedua orang tua penulis, Bapak Yasri Wijaya dan Irma Suryani, yang senantiasa memberikan doa yang tiada henti, kasih sayang, dukungan, serta pengorbanan yang begitu tulus dalam setiap langkah penulis hingga mampu menyelesaikan skripsi ini.
7. Saudara kandung penulis, (Alm) Deta Pratama, Silva Tamara, dan Bagas Tanto Wijaya, yang telah memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan yang selalu menguatkan penulis dalam setiap proses hingga terselesaikannya skripsi ini.
8. Semua pihak yang terlibat, berpartisipasi, serta memberikan bantuan dan dukungan selama proses perkuliahan penulis hingga menyelesaikan skripsi ini.

Padang, 21 April 2026

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Hipotesis Penelitian.....	6
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Bakteri Termofilik.....	8
B. <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC).....	9
C. Pengaruh pH dan Konsentrasi Starter	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
A. Jenis Penelitian.....	14
B. Waktu dan Tempat Penelitian	14
C. Alat dan Bahan.....	14
D. Rancangan Penelitian	15
E. Prosedur Penelitian.....	15
F. Analisis Data	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
A. Hasil	19
B. Pembahasan.....	21
BAB V PENUTUP	27
A. Kesimpulan	27
B. Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA	28

LAMPIRAN.....	32
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial Dua Faktor.	15
2. Rata-rata tegangan biolistrik dan hasil uji DMRT pada perlakuan pH.....	19
3. Rata-rata tegangan biolistrik dan hasil uji DMRT pada perlakuan konsentrasi starter (B)	19
4. Rata-rata tegangan biolistrik dan hasil uji DMRT pada interaksi pH (A) dan konsentrasi starter (B)	20

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Prinsip Kerja MFC	11
2. Konstruksi MFC.....	17

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Pengukuran Tegangan Listrik 24 Jam Bakteri <i>B. licheniformis</i> pada Variasi pH dan Konsentrasi Starter	32
2. Nilai Rata-Rata Absorbansi pada berbagai pH dan Konsentrasi	34
3. Analisis Ragam (ANOVA) Pengaruh pH (A), Konsentrasi Starter (B).....	35
4. Notasi Duncan Kombinasi pH dan Konsentrasi Starter pada Bakteri <i>B. licheniformis</i>	38
5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian	44

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi listrik berperan penting pada kehidupan manusia dalam melaksanakan aktivitas sehari-hari. Namun, pasokan listrik di Indonesia masih didominasi oleh sumber daya tidak terbarukan, seperti batu bara, minyak bumi, dan bensin, yang pembentukannya cukup lambat sehingga cadangan fosil terus menipis (Nugraha *et al.*, 2020). Ketersediaan listrik menjadi salah satu faktor pendorong utama dalam menunjang pertumbuhan ekonomi nasional, sedangkan Indonesia masih tertinggal dibanding beberapa negara ASEAN karena ketergantungannya pada bahan bakar fosil (Meilani & Wuryandani, 2010).

Sejalan dengan kondisi tersebut, konsumsi listrik di Indonesia pada periode 2004-2014 mengalami peningkatan yang cukup pesat, yaitu pada tahun 2004 sebesar 100,1 terawatt hours (TWh) dan meningkat mencapai 198,6 TWh di tahun 2014. Dengan demikian, terjadi kenaikan konsumsi listrik sebesar 98,5% dengan rata-rata pertumbuhan 7,2% per tahun (Mulyani & Hartono, 2018). Kenaikan ini terus berlanjut hingga tahun-tahun berikutnya, dimana data statistik dari tahun 2015 hingga 2022 menunjukkan bahwa konsumsi listrik Indonesia meningkat secara bertahap hingga mencapai sekitar 1.408 kWh per kapita pada tahun 2024 (Solikah, 2024).

Hal tersebut kemudian mendorong peningkatan permintaan energi seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri, yang pada akhirnya memicu terjadinya krisis energi global saat ini. Kondisi ini diperparah oleh perubahan lingkungan, keterbatasan akses energi, serta tingginya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Logayah *et al.*, 2023). Situasi ini terjadi karena pasokan energi

global terus menurun akibat eksploitasi berlebihan terhadap sumber bahan bakar fosil. Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan tersebut, mengingat laju pertumbuhan populasi tidak sebanding dengan ketersediaan pasokan energi (Samudro, 2016)

Dalam upaya mencari solusi tersebut, salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan yakni melalui penggunaan bakteri termofilik dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC). MFC menggabungkan proses biologis dan elektrokimia dengan menggunakan mikroorganisme sebagai sumber penghasil energi listrik (Rahimnejad *et al.*, 2015). MFC memanfaatkan katalis bakteri untuk pertumbuhan dan metabolisme, sehingga sisa energi dapat disimpan dalam bentuk listrik (Novriandy, 2021). MFC juga mampu menghasilkan listrik dari berbagai substrat organik (Akbar *et al.*, 2017).

Selanjutnya, efisiensi MFC sangat dipengaruhi oleh jenis bakteri yang digunakan, salah satunya adalah bakteri termofilik. Bakteri termofilik merupakan bakteri yang dapat bertahan hidup pada lingkungan yang memiliki temperatur suhu sebesar 45°C-80°C (Irdawati *et al.*, 2015). Bakteri ini menghasilkan enzim termostabil melalui aktivitas fermentatif yang berjalan lancar di kondisi ekstrem (Susilowati *et al.*, 2013). Kemampuan tersebut menyebabkan enzim yang dihasilkannya dimanfaatkan sebagai biokatalisator di berbagai industri (Irdawati, 2012). Salah satu enzim yang banyak dimanfaatkan dalam industri adalah xilanase, yang digunakan pada industri tekstil, makanan, deterjen, kertas, dan kosmetik (Irdawati *et al.*, 2021).

Bakteri ini juga mampu beradaptasi dengan lingkungan yang bersifat basa, biasanya dengan nilai pH antara 7 dan 8, untuk meningkatkan kualitas hidup dan

aktivitas metabolisme di lingkungan yang ekstrem (Tuntun & Huda, 2014). Selain itu, bakteri termofilik juga memiliki membran lipid yang terdapat dalam lemak jenuh dan dapat membentuk ikatan hidrofobik (Bahri *et al.*, 2021).

Bakteri termofilik ditemukan di lingkungan bersuhu tinggi seperti mata air panas dan daerah vulkanik. Salah satu sumbernya adalah mata air panas Mudiak Sapan, Sumatera Barat, yang memiliki suhu 93°C dan pH 8 (Irdawati *et al.*, 2016). Irdawati *et al.*, (2023) memaparkan bahwa sumber air panas Mudiak Sapan yang memiliki pH 8 dan suhu sekitar 93°C merupakan salah satu daerah yang menjadi habitat bakteri termofilik. Salah satu strain yang berhasil diidentifikasi adalah *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 (MS-18), yang dikenal memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim xilanase pada tingkat aktivitas maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah mikroorganisme dari lingkungan ekstrem tersebut memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai inovasi dalam pemanfaatan energi terbarukan.

Kemudian, bakteri termofilik seperti *B. licheniformis*, telah diidentifikasi sebagai kandidat potensial untuk meningkatkan produktivitas MFC karena kemampuannya untuk tumbuh pada suhu tinggi dan secara efisien memanfaatkan substrat organik (Kaoplod & Chaijak, 2022). Jika dibandingkan dengan bakteri mesofilik, energi listrik yang dihasilkan oleh bakteri termofilik *B. licheniformis* jauh lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa *B. licheniformis* memiliki potensi yang signifikan untuk digunakan dalam sistem MFC. Elektron yang dihasilkan oleh *B. licheniformis* ditransfer secara efisien ke anoda melalui sistem mediator (Choi *et al.*, 2004).

Di samping itu, penggunaan kultur murni atau monokultur juga

mempengaruhi kinerja MFC. Sistem ini memungkinkan proses konversi substrat yang lebih stabil dengan mengidentifikasi satu jenis mikroorganisme dengan karakteristik metabolisme yang jelas (Shrestha *et al.*, 2013). Dalam sistem MFC, mikroorganisme pada anoda dapat digunakan baik sebagai kultur murni maupun campuran. Penggunaan kultur murni menghasilkan proses konversi substrat lebih efisien karena memiliki metabolisme yang sehat dan terdefinisi dengan baik. Namun, jenis metode kultur murni ini biasanya membutuhkan kondisi lingkungan dan substrat tertentu untuk mencapai kinerja elektrokimia yang optimal (Wang *et al.*, 2022).

Selanjutnya, salah satu kondisi lingkungan yang berperan penting dalam menentukan efektivitas proses bioelektrokimia pada sistem MFC adalah suhu, pH, dan intensitas cahaya, karena mempengaruhi efisiensi transfer elektron dalam sistem MFC. Apabila nilai pH berada diluar kisaran optimum, dapat mengurangi aktivitas mikroba serta efisiensi konversi energi listrik dalam sistem tersebut (Chong *et al.*, 2025). Suherman (2024) memaparkan bahwa variasi pH berpengaruh terhadap besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh bakteri termofilik dari sumber air panas Sapan Sungai Aro yaitu sebesar 994,5 mV pada pH 7 yang menunjukkan kondisi optimum. Halim *et al.*, (2021) memaparkan bahwa pada sistem MFC tipe *dual-chamber*, variasi pH terbukti mempengaruhi produksi biolistrik dimana pH 8 menghasilkan tegangan listrik tertinggi yaitu 1,13 V dibandingkan dengan pH 9 dan 10. Sari *et al.*, (2016), memaparkan bahwa dengan menggunakan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* juga menghasilkan produksi biolistrik tertinggi pada pH 7 dengan tegangan listrik 1,70 V.

Selain itu, konsentrasi inokulum awal atau starter juga merupakan faktor

penting yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, karena keseimbangan antara jumlah inokulum awal dan ketersediaan nutrisi dalam substrat mempengaruhi aktivitas enzim yang optimal, sehingga menghasilkan produksi yang maksimal (Cai *et al.*, 2008). Fitriani *et al.*, (2017) memaparkan bahwa konsentrasi starter sebesar 3% menghasilkan tegangan listrik tertinggi sekitar 0,57 V, sedangkan konsentrasi starter sebesar 4% menghasilkan 0,51 V. Francantika &

Irdawati, (2025), memaparkan bahwa bakteri termofilik MS 12 dan MS 18 menunjukkan variasi konsentrasi starter yang optimum diperoleh pada konsentrasi starter 9% yang menghasilkan tegangan listrik sebesar 0,813 V. Besarnya potensial sel yang dihasilkan pada sistem MFC dipengaruhi oleh konsentrasi awal starter. Ketika konsentrasi starter substrat rendah, jumlah elektron yang dihasilkan oleh proses metabolisme di elektroda juga berkurang (Kusuma *et al.*, 2018).

Berdasarkan uraian tersebut, meskipun *Microbial Fuel Cell* (MFC) telah banyak diteliti, penggunaan bakteri seperti *B. licheniformis* masih relatif terbatas, terutama dalam menilai dampak pH dan konsentrasi starter terhadap efisiensi listrik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan kondisi MFC yang ideal berdasarkan *B. licheniformis* dengan memvariasikan pH dan konsentrasi starter yang akan meningkatkan produksi listrik dan efisiensi sistem secara signifikan.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi pH terhadap optimasi *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) untuk produksi biolistrik?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi starter terhadap optimasi *Bacillus licheniformis* strain Nam 2-2 sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) untuk

produksi biolistrik?

3. Bagaimana interaksi antara variasi pH dan konsentrasi starter pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) untuk produksi biolistrik?

C. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah :

1. Variasi pH pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) berpengaruh dalam produksi biolistrik.
2. Variasi konsentrasi starter pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) berpengaruh dalam produksi biolistrik.
3. Terdapat interaksi antara variasi pH dan konsentrasi starter pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) untuk produksi biolistrik.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi pH pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam produksi biolistrik.
2. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi starter pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam produksi biolistrik.
3. Mengetahui interaksi antara variasi pH dan konsentrasi starter pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam produksi biolistrik.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan dalam bidang mikrobiologi.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh dan interaksi antara variasi pH dan konsentrasi starter pada *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2* sebagai *Microbial Fuel Cell* (MFC) untuk produksi biolistrik.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Variasi pH berpengaruh nyata terhadap produksi biolistrik pada sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) menggunakan *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2*, dengan nilai tegangan tertinggi pada pH 7,5 sebesar 0,841 V.
2. Variasi konsentrasi starter berpengaruh nyata terhadap produksi biolistrik pada sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) menggunakan *Bacillus licheniformis strain Nam 2-2*, di mana konsentrasi starter 12% menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 0,883 V.
3. Interaksi antara variasi pH dan konsentrasi starter berpengaruh nyata terhadap produksi biolistrik, dengan kombinasi pH 7,5 dan konsentrasi starter 12% menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 0,975 V.

B. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan mengkaji parameter lain seperti suhu, jenis substrat, dan waktu operasi untuk memperoleh kondisi optimum yang lebih luas. Selain itu, variasi mikroorganisme dan pengembangan desain reaktor MFC perlu dilakukan guna meningkatkan efisiensi produksi biolistrik, serta pengujian skala lebih besar untuk melihat potensi aplikasinya sebagai energi alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, T. N., Kirom, M. R., & Iskandar, R. F. (2017). Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik. *E-Proceeding of Engineering*, 4(2), 2123–2138.
- Apriansa, A., & Irdawati, I. (2025). Optimizing Bioelectricity Production from Thermophilic Bioelectrogens Consortium Using Agricultural Waste in Microbial Fuel Cells. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1853–1863.
- Bahri, S., Fidianara, F., Muksin, Y. D., Tamami, F., Handayani, A. A. T., & Hermansyah, H. (2021). Eksplorasi Bakteri Termofilik dari Sumber Air Panas Aik Sebau Di Kawasan Taman Nasional Gunung Rinjani Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Pijar Mipa*, 16(2), 235–241.
- Cai, C. G., Lou, B. G., & Zheng, X. D. (2008). Keratinase Production and Keratin Degradation by A Mutant Strain of *Bacillus subtilis*. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 9(1), 60–67.
- Choi, Y., Jung, E., Park, H., Paik, S. R., Jung, S., & Kim, S. (2004). Construction of Microbial Fuel Cells Using Thermophilic Microorganisms, *Bacillus licheniformis* and *Bacillus thermoglucosidasius*. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 25(6), 813–818.
- Chong, P. L., Chuah, J. H., Chow, C. O., & Ng, P. K. (2025). Plant Microbial Fuel Cells: A Comprehensive Review of Influential Factors, Innovative Configurations, Diverse Applications, Persistent Challenges, and Promising Prospects. *International Journal of Green Energy*, 22(3), 599–648.
- Dakal, T. C., Singh, N., Kaur, A., Dhillon, P. K., Bhatankar, J., Meena, R., Sharma, R. K., Gadi, B. R., Sahu, B. Sen, Patel, A., Singh, B., & Kumari, K. (2025). New horizons in microbial fuel cell technology: applications, challenges, and prospects. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 18(1).
- Fitriani, F. Z., Suyati, L., & Rahmanto, W. H. (2017). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 20 (2) (2017) : 74-78 *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 20 (2) (2017) : 74-78 Pengaruh Konsentrasi Substrat Maltosa terhadap Potensial Listrik Baterai *Lactobacillus bulgaricus* (MFC). 20(2), 74–78.
- Francantika, M., & Irdawati, I. (2025). Optimization of Starter Concentration of Thermophilic Bacteria Consortium from Mudiak Sapan to Produce Bioelectricity. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1640–1645.
- Halim, M. A., Rahman, M. O., Ibrahim, M., Kundu, R., & Biswas, B. K. (2021). Effect of Anolyte pH on the Performance of a Dual-Chambered Microbial Fuel Cell

- Operated with Different Biomass Feed. *Journal of Chemistry*, 2021. Harvyandha, A., Kusumawardani, M., Rosyid, A., Studi, P., Telekomunikasi, J., Elektro, J. T., Malang, P. N., & Pi, R. (2019). *Telemetri Pengukuran Derajat Keasaman Secara Realtime Menggunakan Raspberry pi 1 ,2,3*. 519–524.
- Irdawati. (2012). Isolasi Bakteri Termofilik Penghasil Amilase dari Sumber Air Panas Rimbo Panti, Pasaman. Prosiding Semirata BKS PTN-B MIPA. FMIPA: Universitas Negeri Medan.
- Irdawati., Fifendy, Mades., & Yenti, N. 2015. Penapisan Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Amilase Dari Sumber Air Panas Sapan Sungai Aro Kabupaten Salok Selatan. *Eksakta*, 1, 1-15.
- Irdawati, I., Syamsuardi, S., Agustien, A., & Alberida, H. (2016). Profil Pertumbuhan Bakteri Termofilik Penghasil Xylanase Alkali dari Sumber Air Panas Mudiak Sapan, Solok Selatan. Universitas Negeri Padang.
- Irdawati, I., Sofiyyana, A., Advinda, L., Fiffendy, M., Salvia, S., Syamsuardi, S., & Yahya, Y. (2021). Optimization of Agricultural Waste Substrate as an Alternative Medium for Xylan in Producing Xylanase Enzymes by Thermophilic Bacteria. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1940, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
- Irdawati, Matondang, I., Advinda, L., Anhar, A., & Y, Y. (2023). The Potential of Hot Water Mudiak Sapan Thermophilic Bactery Consortium Formulation in Producing Xylanase Enzyme. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(4), 551–558.
- Kaoplod, W., & Chaijak, P. (2022). Electricity Generation in Cellulose-Fed Microbial Fuel Cell Using Thermophilic Bacterium, *Bacillus sp.* WK21. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 50(1), 122–125.
- Khater, D., Hazaa, M., & Hassan, R. Y. A. (2015). *Electricity Generation Using Glucose as Substrate in Microbial Fuel Cell*. 2, 84–98.
- Kusuma, R. A., Suyati, L., & Rahmanto, W. H. (2018). Effect of Lactose Concentration as *Lactobacillus bulgaricus* Substrate on Potential Cells Produced in Microbial Fuel Cell Systems. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 21(3), 144–148.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., & Rabaey, K. (2006). Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. *Environmental Science and Technology*, 40(17), 5181–5192.

- Meilani, H., & Wuryandani, D. (2010). Potensi Panas Bumi sebagai Energi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Publik*, 1(1), 47–74.
- Mulyani, D., & Hartono, D. (2018). *Pengaruh Efisiensi Energi Listrik Pada Sektor Industri dan Komersial Terhadap Permintaan Listrik di Indonesia*. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 11(1), 1-17. 1–7.
- Muralidharan, A., & Mohandass, R. (2016). *Impact of Salt Concentration on Electricity Production in Microbial Hydrogen Based Salt Bridge Fuel Cells Impact of Salt Concentration on Electricity Production in Microbial Hydrogen Based Salt*. May 2011.
- Muslimin, A. M., & Winarsih, T. (2022). *Perancangan Alat Ukur pH Digital Berbasis Mikrokontroler ATmega32u4*. 18(1).
- Novriandy, M. (2021). Pengaruh Mikroorganisme Terhadap Produktivitas Energi Listrik Mfc Dengan Variasi Limbah Pabrik Tahu Dan Limbah Perikanan. *Jtam Rotary*, 3(1), 107.
- Nugraha, H. W., Djajakirana, G., Anwar, S., & Santosa, D. A. (2020). Producing Renewable Electric Energy Through a Microbial Fuel Cell in The Rice Field. *Biodiversitas*, 21(9), 4139–4146.
- Nugroho, I., Amaliyah, R. I. U., Si, M., Kirom, M. R., Si, S., Si, M., Prodi, S., Fisika, T., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2020). *Pengaruh Lama Pembusukan Nasi Basi Dan Rasio Volume Variasi Substrat Terhadap Produksi Energi Listrik Pada Sistem Mfc (the Impact of Duration Rottenness Waste Rice and Volume Ratio of Substrate Variations To Electrical Energy Production on Mfc System)*. 7(1), 1230–1236.
- Nuritasari, D., Sarjono, P. R., & Aminin, A. L. N. (2017). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Isolasi Bakteri Termofilik Sumber Air Panas Gedongsongo dengan Media Pengaya MB (*Minimal Broth*) dan TS (*Taoge Sukrosa*) serta. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 20(2), 84–91.
- Parkash, A. (2015). Design and Fabrication of a Double Chamber Microbial Fuel Cell for Voltage Generation from Biowaste. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 05(08), 2–6.
- 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.

- Richana, N. U. R., Irawadi, T. U. N. T., & Nur, M. A. (2007). *The Process of Xylanase Production from Bacillus pumilus RXAIII-5*. 1(2), 74–80. Samudro, G. (2016). Konservasi Energi Berbasis Renewable Energy Technology Dengan Pemanfaatan Teknologi Microbial. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(2), 57.
- Sari, D., Suyati, L., & Widodo, D. S. (2016). Pengaruh Buffer Kalium Fosfat dan Natrium Fosfat terhadap Produksi Listrik dalam Sistem Microbial Fuel Cell (MFC) dengan *Lactobacillus bulgaricus* pada Whey Tahu. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(3), 107–110.
- Satria Zulfikar, E., Tamjidillah, M., & Nizar Ramadhan, M. (2021). Produktivitas Listrik Microbial Fuel Cell pada Substrat Limbah Air Rebusan Mie Instan. *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa*, 3(1), 69–80.
- Septiani, V., Choirunnisa, A., & Syam, A. K. (2017). Uji Aktivitas Antimikroba Ekstrak Etanol Daun Karuk (*Piper sarmentosum* Roxb.) Terhadap *Streptococcus mutans* dan *Candida albicans*. *Kartika Jurnal Ilmiah Farmasi*, 5(1).
- Shrestha, P. M., Nevin, K. P., Shrestha, M., & Lovley, D. R. (2013). When is Amicrobial Culture “Pure”? Persistent Cryptic Contaminant Escapes Detection Even With Deep Genome Sequencing. *Mbio*, 4(2).
- Solikah, A. A. (2024). *Systematic Indonesia Literature Review Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia*.
- Suherman, D. (2024). *Optimasi pH Konsorsium Trikultur Bakteri Termofilik dari Sumber Air Panas Sapan Sungai Aro Menggunakan Microbial Fuel Cell (MFC) Dalam Produksi Biolistrik*. Skripsi. Padang id: Universitas Negeri Padang, Indonesia.
- Susilowati, P. E., Raharjo, S., Kurniawati, D., Rahim, R., Sumarlin, S., & Ardiansyah, A. (2013). Produksi Xilanase dari Isolat Sumber Air Panas Sonai, Sulawesi Tenggara, menggunakan Limbah Pertanian. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(3), 199
- Tuntun, M., & Huda, M. (2014). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Termofilik Dari Sumber Air Panas Way Panas Bumi Natar Lampung Selatan. *Jurnal Analisis Kesehatan Politeknik Kesehatan Kemenkes Tanjungkarang*, 3(1), 297–304.
- Wang, J., Ren, K., Zhu, Y., Huang, J., & Liu, S. (2022). A Review of Recent Advances in Microbial Fuel Cells: Preparation, Operation, and Application. *BioTech*, 11(4).
- Zalukhu, E. S., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. (2019). Produksi Energi Listrik Dengan Sistem Microbial Fuel Cell Menggunakan Substrat Limbah Tempe the Production of Electric Energy Whit the Microbial Fuel Cell System Using Waste Substrate of Tempe. *E-Proceeding of Engineering*, 6(1), 1258–1266.