

Electrical Energy Production of MS 12 Thermophilic Bacteria as *Microbil fuel Cells* on TMM (Thermophilic Minimum Media) Substrates

Produksi Energi Listrik Bakteri Termofilik MS 12 sebagai *Microbil fuel Cell* pada Substrat TMM (Termofilik Minimum Media)

Monika Aryeni Fatwah^{*}, Irdawati¹, Richard Samea Andrian¹

¹Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Padang, West Sumatera, Indonesia

*Correspondence author: monikaaryeni0301@gmail.com

Abstract

Electrical energy is an important aspect of everyday life, but resources for producing this energy are increasingly limited. These limitations encourage the need for serious attention to energy use. The importance of environmentally friendly aspects in generating electrical energy is the main focus, one of which is the production of electrical energy using microorganisms as biocatalysts or commonly known as *Microbil fuel Cells* (MFC). This research explores the potential use of thermophilic bacteria in *Microbil fuel Cells* (MFCs). The aim of the research is to determine the production of electrical energy by utilizing thermophilic bacteria as MFC on the TMM substrate. Research was conducted at the Microbiology Laboratory, Department of Biology, FMIPA, UNP. Data was analyzed descriptively by displaying graphs and pictures. The results of the research showed that the electrical voltage production of MS 12 isolate reached the highest value, namely 640.5 mV at 20 hours of incubation.

Key words: *Electrical energy, MFC, Thermophilic, TMM*

Abstrak

Energi listrik merupakan aspek penting dalam kehidupan sehari-hari, namun sumber daya untuk produksi energi ini semakin terbatas. Keterbatasan ini mendorong perlunya perhatian serius terhadap penggunaan energi. Pentingnya aspek ramah lingkungan dalam pembangkitan energi listrik menjadi sorotan utama, salah satunya produksi energi listrik menggunakan mikroorganisme sebagai biokatalisator atau biasa dikenal dengan *Microbil fuel Cell* (MFC). Tujuan penelitian untuk mengetahui produksi energi listrik dengan memanfaatkan bakteri termofilik sebagai MFC pada substrat TMM. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, FMIPA, UNP. Pada penelitian ini digunakan isolat bakteri termofilik MS 12 yang berasal dari sumber mata air panas Mudiak Sapan. Data dianalisis secara deskriptif dengan menampilkan grafik dan gambar. Hasil penelitian memperlihatkan produksi tegangan listrik isolat MS 12 mencapai nilai tertinggi yaitu 640.5 mV pada waktu 20 jam inkubasi

Kata kunci: *Energi listrik, MFC, Termofilik, TMM*

Pendahuluan

Energi listrik merupakan aspek penting dalam kehidupan sehari-hari karena mendukung berbagai aktivitas manusia, mulai dari kebutuhan rumah tangga, industri, hingga transportasi. Sumber daya untuk menghasilkan energi ini semakin berkurang, sehingga perlu perhatian serius dalam penggunaannya (Ardiansyah & Wahyono, 2022). Energi alternatif dapat dihasilkan melalui pemanfaatan sumber daya alam yang dapat diperbarui, seperti biomassa (Patil dkk., 2008).

Pembangkit energi listrik melalui *Microbil fuel Cell* (MFC) menjadi perhatian utama dalam menangani masalah keterbatasan sumber energi karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan (Maddalwara dkk., 2021). MFC merupakan tipe bahan bakar sel yang menggunakan mikroorganisme hidup sebagai

biokatalisator di dalam anoda untuk menghasilkan bioelektrisitas (Tardast dkk., 2012). Penggunaan mikroorganisme sebagai sumber bahan bakar sudah banyak digunakan sejak tahun 1970-an, sehingga dapat dikatakan bahwa penemuan mengenai MFC bukanlah hal yang baru (Sitorus, 2010). Bioteknologi ini merupakan suatu perangkat yang terdiri dari elektroda dan perangkat elektronik untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan bakteri sebagai katalis (Darmawan dkk., 2022).

Produksi serasah yang dihasilkan berbeda antara daerah satu dengan daerah yang lainnya. Perbedaan jumlah produksi serasah ini terutama dipengaruhi oleh faktor kerapatan. Menurut Leksono dkk. (2014), nilai kerapatan berpengaruh terhadap produksi serasah yang dihasilkan, karena semakin besar kerapatan mangrove, semakin tinggi pula jatuhnya serasahnya.

Pada umumnya MFC terdiri dari dua ruang yaitu anoda dan katoda, ruang ini biasa dikenal dengan elektroda. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh membran penukar proton. Sisi anoda mengandung mikroorganisme aktif elektrokimia dan material organik sedangkan pada sisi katoda bersifat abiotik. Bakteri berperan sebagai biokatalis yang akan mendegradasi bahan organik untuk menghasilkan elektron yang merupakan hasil dari proses metabolisme bakteri. Elektron yang dihasilkan bergerak dari sisi anoda menuju sisi katoda melalui rangkaian listrik (Prabowo & Chusniasih, 2023). Bakteri ini dikenal dengan sebutan "Exoelectrogens" yang berarti dapat mentransfer elektron (Sipayung dkk., 2019). Oleh karena itu, hal ini menunjukkan bahwa MFC merupakan teknologi penghasil listrik yang ramah lingkungan (Obileke dkk., 2021).

Melalui aktivitas bakteri dalam mengoksidasi substrat organik, MFC dapat mengubah energi kimia sehingga menghasilkan energi dalam bentuk potensial listrik (Saragih & Melaca, 2018). Salah satu bakteri yang dapat digunakan untuk MFC adalah bakteri termofilik. Bakteri termofilik merupakan bakteri yang dapat hidup pada lingkungan bersuhu tinggi, seperti sumber-sumber mata air panas (Irdawati dkk., 2016). Pemanfaatan bakteri termofilik sebagai katalis biologis memiliki banyak aplikasi di berbagai industri (Irdawati & Fifendy, 2011). Menurut Irdawati dkk., (2024) bakteri termofilik memiliki keunggulan seperti aktivitas dan peningkatan spesifikasi katalisis yang dapat diatur. Bakteri termofilik yang digunakan pada penelitian ini diambil dari sumber mata air panas Mudiak Sapan yang berlokasi di Kabupaten Solok Selatan. Sumber air panas ini memiliki suhu 93°C dan pH 8 (Fifendy dkk., 2015).

MFC berbasis bakteri termofilik memiliki keuntungan dan lebih disukai dibandingkan bakteri mesofilik. Bakteri ini memiliki laju reaksi biokimia dan produksi elektron yang tinggi sehingga bermanfaat untuk penerapannya dalam operasional MFC (Yadav dkk., 2021). Selain itu, pengoperasian MFC dalam kondisi termofilik dapat meningkatkan kinetika reaksi anodik, sehingga menghasilkan pengoperasian sel bahan bakar yang lebih baik (Choi dkk., 2004).

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian mengenai produksi energi listrik dengan memanfaatkan bakteri termofilik MS 12 sebagai *Microbial fuel Cell* (MFC) pada substrat TMM (Termofilik Minimum Media).

Bahan dan Metode

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif yang dilakukan pada Bulan Januari 2024 di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain gelas ukur, *beaker glass*, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *erlenmeyer*, lampu bunsen, spatula, *vortex stirrer*, timbangan digital, jarum ose, *hot plate*, oven, pipet tetes, *autoclave*, *shaker incubator*, *magnetic stirrer*, spektrofotometer, lemari pendingin, petridish, label, mikropipet, inkubator, elektroda (plat *zinc* dan tembaga), kabel jepit buaya, botol kaca, multimeter digital, paralon, plastik kaca, toples, dan aluminium foil. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu bakteri termofilik MS 12, bubuk NA, akuades, alkohol 70%, medium TMM cair (MgSO₄.7H₂O, K₂HPO₄, (NH₄)₂SO₄, NaCl, *yeast extract*, pepton, glukosa), kapas, dan tisu.

Prosedur Penelitian

a. Pembuatan Medium NA

Sebanyak 10 g bubuk Nutrient Agar (NA) ditimbang, dimasukkan ke dalam *erlenmeyer* kemudian ditambahkan akuades hingga volumenya menjadi 500 ml, lalu dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga mendidih. Medium NA kemudian dimasukkan ke dalam setiap tabung reaksi sebanyak 5 ml menggunakan *pipet volumetric* dan ditutup rapat dengan kapas dan aluminium foil. Untuk mencegah kontaminasi, medium NA disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C tekanan 15 psi selama 15 menit.

b. Pembuatan Medium TMM

Bakteri termofilik ditumbuhkan menggunakan medium *Thermophilic Minimum Media* (TMM) yang terdiri dari 0,01% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0,1% K_2HPO_4 ; 0,1% NaCl, 0,35% $(NH_4)_2SO_4$; 0,05% *yeast extract*, 0,05% pepton, 6% glukosa (Zilda dkk., 2008). Dilarutkan dengan akuades hingga volume 1000 ml. Kemudian dipanaskan hingga homogen dan disterilisasi dengan *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 15 psi selama 15 menit.

c. Aktivasi Bakteri Termofilik

Sebanyak 5 ose isolat MS 12 diambil dari agar miring, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi garam fisiologis (NaCl 0,85%) sebanyak 5 ml, lalu disetarakan menggunakan larutan *Mc Farland* 0,5. Sebanyak 5 ml suspensi bakteri dimasukkan ke dalam *erlenmeyer* yang berisi medium TMM cair sebanyak 20 ml dan dibuat dua ulangan. Selanjutnya inkubasi di *incubator shaker* selama 24 jam pada suhu 50°C.

d. Preparasi Elektroda

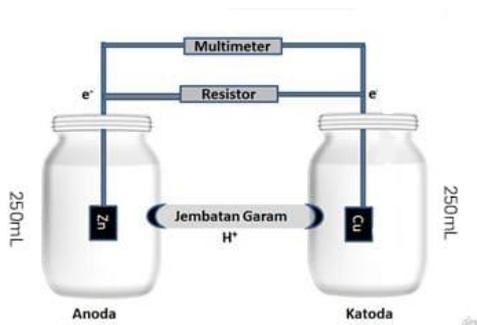
Material elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah plat *zinc* (Zn) untuk bagian kompartemen anoda dan pada katoda menggunakan plat tembaga (Cu), dengan masing-masing ukuran elektroda 2 x 5 cm, serta menggunakan kabel dengan jepit buaya sebagai penghubung elektroda ke alat multimeter digital.

e. pembuatan Jembatan Garam

Pembuatan jembatan garam menggunakan sumbu kompor berukuran 5 cm, kemudian dibalut menggunakan lakban. Lalu rendam kedalam larutan NaCl 100 ml dan dipanaskan menggunakan *hot plate* selama 2 jam. Selanjutnya sumbu dibungkus menggunakan aluminium foil dan dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam.

f. Perakitan Fermentor

Bakteri termofilik MS 12 difermentasi dalam bioreaktor yakni dipersiapkan 2 toples. Tipe MFC yang digunakan adalah *reactor dual chamber* yang terdiri atas kompartemen anoda dan katoda. Kompartemen anoda diisi dengan TMM, sedangkan kompartemen katoda diisi dengan larutan akuades. Konstruksi Sistem MFC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi Sistem MFC

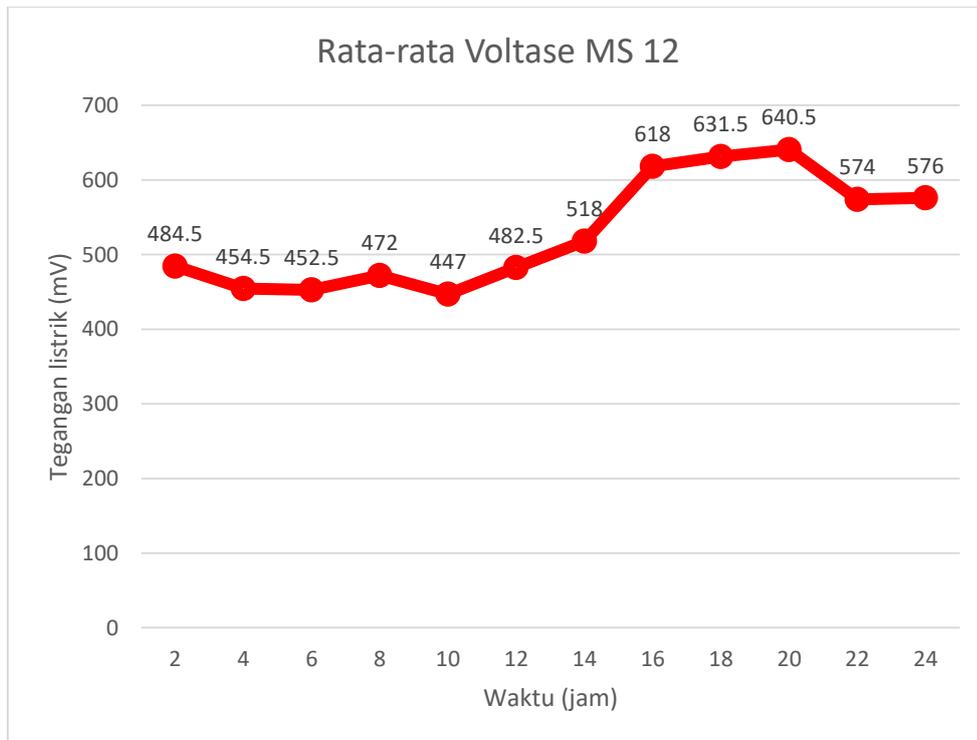
Sumber: (Nugroho dkk., 2020)

g. Perhitungan Voltase

Fermentor diinkubasi dalam inkubator dan dicek sekali 2 jam selama 24 jam dengan menggunakan multimeter digital dalam satuan mV.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan Gambar 2. pengukuran tegangan listrik selama 24 jam dengan memanfaatkan bakteri termofilik didapat hasil bahwa produksi tegangan listrik isolat MS 12 mencapai nilai rata-rata tertinggi yaitu 640.5 V pada waktu 20 jam inkubasi.



Gambar 2. Grafik Produksi Tegangan Listrik MS 12

Banyak faktor yang mempengaruhi hasil produksi energi listrik menggunakan teknologi MFC, diantaranya mikroorganisme, elektroda, substrat, pH, suhu, media pertumbuhan (Nawaz dkk., 2022). Hasil yang diperoleh dari fermentasi bakteri MS 12 dilakukan dalam media pertumbuhan khusus yang mengandung nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan bakteri, yakni medium TMM (Irdawati dkk., 2023). Media ini merupakan media khusus untuk pertumbuhan bakteri termofilik. Salah satu kandungan TMM adalah glukosa. Glukosa merupakan sumber karbon yang dibutuhkan bakteri untuk pertumbuhan dan perkembangannya (Goto, 1992).

Tinggi rendahnya tegangan listrik yang diperoleh berkorelasi dengan jumlah elektron yang dihasilkan oleh bakteri. Tingkat tegangan listrik yang diperoleh menyatakan kedinamisan sistem karena dikatalis oleh makhluk hidup (Sitorus, 2010). Menurut Ibrahim dkk. (2014), saat bakteri melakukan proses metabolisme dengan melakukan pemecahan substrat sederhana, maka akan terjadi peningkatan tegangan listrik yang dapat diamati pada multimeter. Sedangkan penurunan tegangan listrik yang terjadi disebabkan oleh bakteri yang masih beradaptasi untuk memecah substrat yang lebih kompleks menjadi sederhana. Selain itu, nilai tegangan listrik yang turun pada akhir pengukuran disebabkan karena berkurangnya jumlah nutrisi yang terkandung dalam substrat TMM akibat aktivitas metabolisme bakteri yang semakin lama, sehingga ion yang dihasilkan pun berkurang (Ibrahim dkk., 2017).

Jenis mikroorganisme mempengaruhi hasil produksi energi listrik. Mikroorganisme yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bakteri termofilik. Bakteri termofilik merupakan bakteri yang dapat hidup pada keadaan lingkungan bersuhu tinggi. Banyak penelitian yang menggunakan bakteri termofilik sebagai katalisator untuk memproduksi energi listrik. Hal ini karena bakteri termofilik memiliki tingkat reaksi biokimia dan produksi elektron yang tinggi sehingga dapat menghasilkan tingkat energi listrik yang tinggi (Hamed dkk., 2021). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Vestimarta & Irdawati (2024), didapatkan hasil tegangan listrik sebesar 749 mV menggunakan bakteri termofilik.

Microbial fuel Cell (MFC) merupakan teknologi ramah lingkungan penghasil energi listrik melalui proses pemecahan bahan organik oleh mikroorganisme pada aktivitas metabolismenya (Kumar dkk., 2019). Mikroorganisme tersebut dapat mengoksidasi bahan organik kompleks dan menghasilkan elektron yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik akibat adanya perbedaan potensial yang terjadi. Elektron

tersebut kemudian mengalir dari daerah anoda menuju katoda dan bereaksi dengan oksigen membentuk air pada katoda (Birjandi dkk., 2020). Pemanfaatan MFC memiliki kelebihan antara lain memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, kondisi operasi yang tidak rumit, serta dapat diaplikasikan di tempat yang listriknya kurang memadai (Vidales dkk., 2019)

Bioreaktor yang dipakai pada penelitian ini adalah model bioreaktor dual chamber, yaitu model dua kompartemen yang terpisah yaitu anoda dan katoda. Kedua kompartemen tersebut dihubungkan melalui jembatan garam (dapat dilihat pada gambar 1). Variasi jenis elektroda yang digunakan adalah kombinasi elektroda lempengan Zn/Cu. Masing-masing elektroda di dalam chamber dihubungkan dengan menggunakan kabel jepit buaya menuju multimeter (Alif dkk., 2022). Selama elektroda dan membran penukar proton tetap utuh, elektron yang terus berpindah memungkinkan adanya pasokan arus listrik yang konstan, Sebuah multimeter dihubungkan ke kabel jepit buaya dari kompartemen anoda dan katoda, hal ini bertujuan untuk membaca potensial listrik yang dihasilkan (Sikder & Rahman, 2023).

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah memberi kesempatan penulis untuk menulis artikel ini. Ungkapan terima kasih penulis tujukan kepada semua pihak yang ikut berpartisipasi memberikan bantuan kepada penulis demi kelancaran penelitian dan penulisan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Alif, A., Baari, M. J., & Febryanti, A. (2022). Studi Pemanfaatan Limbah Cair Ikan dan Udang sebagai Substrat dalam Produksi Listrik pada Sistem *Microbil fuel Cell* (MFC). KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 8(3), 238-247.
- Ardiansyah, G., & Wahyono, E. B. (2022). Pemanfaatan Daya Listrik bagi Pelanggan Tegangan Menengah. Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik Universitas Darma Persada, 12(1): 19-27.
- Ardiansyah, G., & Wahyono, E. B. (2022). Pemanfaatan Daya Listrik Bagi Pelanggan Tegangan Menengah. Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik Universitas Darma Persada, 12(1), 19-27.
- Birjandi, N., Younesi, H., Ghoreyshi, A. A., & Rahimnejad, M. (2020). Enhanced medicinal herbs wastewater treatment in continuous flow bio-electro-Fenton operations along with power generation. Renewable energy, 155, 1079-1090.
- Choi, Y., Jung, E., Park, H., Paik, S. R., Jung, S., & Kim, S. (2004). Construction of *Microbil fuel Cells* using thermophilic microorganisms, *Bacillus licheniformis* and *Bacillus thermoglucosidasius*. Bulletin-Korean Chemical Society, 25(6), 813-818.
- Darmawan, R., Juliastuti, S. R., Hendrianie, N., Saragih, V., Melaca, K. M., Sopian, S., & Tominaga, M. (2022). Production of Bio-Electricity from Sidoarjo Mud and Molasses Using *Microbil fuel Cells* (MFCs) Assisted External Resistance Technology. Trends in Sciences, 19(23), 1521-1521.
- Fifendy, M., Irdawati, I., & Yenti, N. (2015). Penapisan Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Amilase dari Sumber Air Panas Sapan Sungai Aro Kabupaten Solok Selatan. Eksakta Berkala Ilmiah Bidang MIPA, 1, 73-81.
- Hamed, M. S., Majdi, H. S., & Hasan, B. O. (2020). Effect of electrode material and hydrodynamics on the produced current in double chamber *Microbil fuel Cells*. ACS omega, 5(18), 10339-10348.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Adjani, Z. N. (2017). Kinerja *Microbil fuel Cell* penghasil biolistrik dengan perbedaan jenis elektroda pada limbah cair industri perikanan. Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia, 20(2), 296-304.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Rosmalawati, S. (2014). Kinerja rangkaian seri sistem *Microbil fuel Cell* sebagai penghasil biolistrik dari limbah cair perikanan.
- Irdawati & M, Fifendy. (2011). Isolation Bacteria Thermophilic Producer Amylase from Hot Springs Rimbo House Pasaman. Report Research. University Country of Padang.

- Irdawati, I., Ayasy, M. D., Anhar, A., Advinda, L., & Yusrizal, Y. (2024). PRODUCTION OF SPESIFIC XYLANASE ENZYME BY MUDIAK SAPAN HOT WATER THERMOPHILIC BACTERY. *Bioscience*, 8(1), 65-71.
- 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* 2, 19, 25, dan 26 November, Bengkulu.
- Kumar, S. S., Kumar, V., Malyan, S. K., Sharma, J., Mathimani, T., Maskarenj, M. S., ... & Pugazhendhi, A. (2019). *Microbil fuel Cells* (MFCs) for bioelectrochemical treatment of different wastewater streams. *Fuel*, 254, 115526.
- Maddalwar, S., Nayak, K. K., Kumar, M., & Singh, L. (2021). Plant *Microbil fuel Cell*: opportunities, challenges, and prospects. *Bioresource Technology*, 341, 125772.
- Nawaz, A., ul Haq, I., Qaisar, K., Gunes, B., Raja, S. I., Mohyuddin, K., & Amin, H. (2022). *Microbil fuel Cells*: Insight into simultaneous wastewater treatment and bioelectricity generation. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 357-373.
- 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). *Microbil fuel Cells*, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, 125, 107003.
- Patil, V., Tran, K. Q., & Giselrød, H. R. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences*, 9(7), 1188-1195.
- Prabowo, R. D., & Chusniasih, D. (2023). Mini Review: *Microbil fuel Cell* Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Jurnal Energi dan Ketenagalistrikan*, 1(2), 192-196.
- Saragih, V., & Melaca, K. M. (2018). Pengaruh Eksternal Resistensi dan Penambahan Molasseses pada Lumpur Lapindo Untuk Menghasilkan Biolistrik. *Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Sikder, S., & Rahman, M. M. (2023). Efficiency of *Microbil fuel Cell* in wastewater (municipal, textile and tannery) treatment and bioelectricity production. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100421.
- Sipayung, N. P., Kirom, M. R., & Iskandar, R. F. (2019). Studi pengaruh waktu inkubasi substrat tomat busuk pada *Microbil fuel Cell* terhadap produksi energi listrik pada reaktor dual chamber. *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- Sitorus, B. (2010). Diversifikasi sumber energi terbarukan melalui penggunaan air buangan dalam sel elektrokimia berbasis mikroba. *Jurnal Elkha*, 2(1).
- Tardast, A., Rahimnejad, M., D Najafpour, G., Asghar Ghoreyshi, A., & Zare, H. (2012). Fabrication and operation of a novel membrane-less *Microbil fuel Cell* as a bioelectricity generator. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 3(5).
- Vestimarta, A. W., & Irdawati, I. (2024). Produksi Biolistrik dengan *Microbil fuel Cell* (MFC) dari Bakteri Termofilik. *MASALIQ*, 4(1), 359-366.
- Vidales, A. G., Omanovic, S., & Tartakovsky, B. (2019). Combined energy storage and methane bioelectrosynthesis from carbon dioxide in a microbial electrosynthesis system. *Bioresource technology reports*, 8, 100302.

- Yadav, M., Sehwat, N., Singh, M., Kumar, V., Sharma, A. K., & Kumar, S. (2021). Thermophilic microbes-based fuel cells: an eco-friendly approach for sustainable energy production. In *Bioremediation for Environmental Sustainability* (pp. 235-246). *Elsevier*.
- 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.
- Kusmana, C., S. Takeda & H. Watanabe. (1994). Litter production of mangrove forest in East Sumatera, Indonesia. Dalam: Soemodihardjo S., P. Wiroatmodjo, S. Bandijono, M. Sudomo & Suhardjo.(eds). 1990. *Prosiding 46 Seminar V Ekosistem Mangrove*, Jember: 247 - 267