

Pengaruh Luas Permukaan Elektroda terhadap Produksi Biolistrik dengan Metode Sediment Microbial Fuel Cells (SMFCs) menggunakan Substrat Lumpur Instalasi Pengolahan Air Lindi

Umi Sholikah¹, Eka Masrifatus Anifah², Muhammad Nur Ibnu Lutfi Saud³, Indah Chairun Nikmah⁴

Departement of Environmental Engineering, Institut Teknologi Kalimantan^{1,2,3,4}
umisholikah@lecturer.itk.ac.id¹

Article Info

Article history:

Submitted October 2022

Revised August 2022

Accepted August 2022

Published August 2022

Keyword:

Bioelectricity

Sediment Microbial Fuel Cell

Leachete

Sludge

Electrode

ABSTRACT

One developed issue during the waste-processing process is leachate. The leachate was handled at the leachate treatment plant, producing sludge with a high level of organic matter, but it is used inefficiently. Sediment Microbial Fuel Cells (SMFCs) can generate bioelectricity using sludge with a high organic content as the substrate. By converting organic materials into bioelectricity, the SMFCs technology uses microorganisms' activities. This study aims to ascertain how electrode surface area affects the generation of bioelectricity, where the electrode can serve as a proton and electron transfer. This study included a batch reactor setup run aerobically for 20 days. Zinc and carbon are the employed electrode materials. The findings indicate that the maximum power density value is 488 mW/m² with an electrode surface area of 20 cm². The electrode's surface area that produces the optimal power density is 20 cm².

Kata Kunci:

Biolistrik

Sediment Microbial Fuel Cell

Lindi

Lumpur

Elektroda

ABSTRAK

Air Lindi merupakan salah satu permasalahan yang timbul di dalam pengolahan sampah. Air lindi tersebut diolah di Instalasi Pengolahan Air Lindi yang menghasilkan lumpur yang mengandung bahan organik tinggi tetapi belum dimanfaatkan dengan baik. Lumpur yang mengandung bahan organik tinggi dapat dimanfaatkan sebagai substrat dalam menghasilkan biolistrik dengan metode *Sediment Microbial Fuel Cells* (SMFCs). Metode SMFCs memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dengan konversi zat organik menjadi biolistrik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh luas permukaan elektroda dalam menghasilkan biolistrik dimana elektroda tersebut dapat berperan sebagai transfer proton dan elektron. Penelitian ini menggunakan sistem *batch reactor* yang dioperasikan secara aerob selama 20 hari. Elektroda yang digunakan adalah seng dan karbon dengan variasi luas permukaan 20 cm² dan 40 cm². Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *power density* maksimal sebesar 488 mW/m² pada luas permukaan elektroda 20 cm². Luas permukaan elektroda yang menghasilkan *power density* optimal adalah 20 cm² akibat

besaran nilai daya listrik terhadap luas permukaan anoda yang digunakan. Nilai power density optimal pada luas permukaan yang kecil dapat dijadikan sebagai acuan dalam efisiensi penggunaan material.

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah berkaitan dengan bertambahnya jumlah penduduk. Jumlah penduduk yang meningkat tentu akan semakin banyak sampah yang dihasilkan dan berpotensi menambah beban Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah. Sebagian besar komposisi sampah berjenis sampah organik yang akan menghasilkan air lindi (dapat mencemari air tanah, air permukaan, serta menimbulkan bau) [1]. Di sisi lain, sampah organik memiliki potensi yang besar untuk penerapan *waste to energy* yaitu dikonversi menjadi energi listrik, panas, ataupun bahan bakar [2]. Sampah organik yang tertimbun berpotensi menghasilkan air lindi dimana air lindi merupakan air yang melewati timbunan sampah tersebut beserta mengangkut polutan-polutan lainnya [3]. Secara umum, air lindi mengandung bahan organik maupun anorganik yang bersifat *toxic* bagi lingkungan [4].

Sebagai upaya dalam mencegah dampak negatif yang ditimbulkan dari air lindi, maka perlu dilakukan pengolahan. Pengolahan air lindi akan menciptakan lumpur yang merupakan hasil dari pemisahan padatan (polutan) terlarut dengan air yang terbentuk dari proses sedimentasi. Lumpur yang dihasilkan mengandung bahan organik tinggi seperti BOD, COD, TSS, dan TDS [5]. Lumpur juga mengandung organik karbon yang dapat dikonversi menjadi biolistrik [6]. Biolistrik dengan menggunakan lumpur yang dicampur dengan sampah organik dapat menghasilkan 47,6 mW/m² [7], sedangkan energi listrik yang dihasilkan dapat ditingkatkan sampai dengan 60 mW/m² dengan penambahan sampah dapur dan potongan tanaman bambu [8].

Luas permukaan elektroda dapat mempengaruhi kemampuan mikroorganisme dalam difusi bahan kimia ke dalam selnya. Jumlah proton dan elektron dapat mempengaruhi biolistrik yang dihasilkan [10]. Penggunaan elektroda dengan luas permukaan 40 cm² pada reaktor *microbial fuel cell* menghasilkan tegangan dan arus lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan elektroda dengan luas permukaan 10 cm², 20 cm², dan 30 cm² dengan anoda seng (Zn) dan katoda tembaga (Cu) [11].

Sediment microbial fuel cell (SMFCs) adalah sistem bioelektrokimia yang dapat mengkonversi energi pada sedimen menjadi energi listrik melalui aktivitas mikroorganisme [12]. Komponen yang memegang peranan penting terhadap kinerja dari SMFCs adalah sedimen dan elektroda yang digunakan. Sedimen yang digunakan pada SMFCs berperan penting terhadap biolistrik yang dihasilkan. Konsentrasi zat organik yang tinggi berbanding lurus dengan aktivitas degradasi oleh mikroorganisme [13]. Elektroda pada SMFCs berperan terhadap energi listrik yang dihasilkan. Elektron yang dihasilkan oleh aktivitas mikroorganisme akan dialirkan dari anoda menuju katoda melalui sirkuit eksternal. Penerapan SMFCs terhadap substrat lumpur dari instalasi pengolahan lindi TPA Manggar Balikpapan diharapkan dapat menghasilkan biolistrik yang optimal dengan variasi luas permukaan elektroda

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- reaktor SMFCs
- multimeter digital
- jepit buaya dan kabel
- *Water Quality Tester* (WQT)

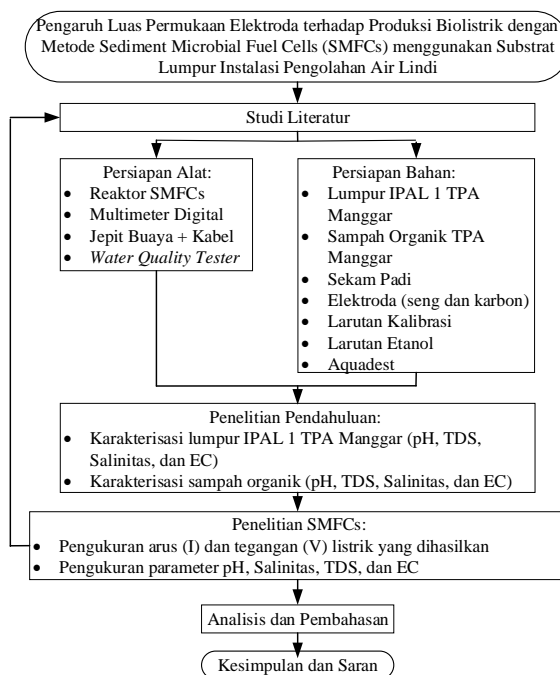
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- lumpur IPAL 1 TPA Manggar
- sampah organik TPA Manggar

- sekam padi
- elektroda
- larutan kalibrasi
- larutan etanol
- aquades

2.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian berlangsung dengan beberapa tahapan kerja. Tahapan-tahapan yang dilakukan terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Penelitian

2.2.1. Penelitian pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dalam skala laboratorium untuk mendapatkan data kondisi awal meliputi pH, TDS, Salinitas, dan EC (*Electricity Conductivity*). Metode yang digunakan untuk pengukuran masing-masing parameter terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode Pengukuran Parameter

No.	Parameter	Metode Pengukuran
1.	pH	SNI 06-6989.11-2004
2.	TDS	SNI 6989.26.2019
3.	Salinitas	SNI 06-2413-2002
4.	EC	SNI 06-2413-2002

Sumber: Peneliti, 2020

2.2.2. Penelitian Utama

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari seng (Zn) sebagai anoda dan karbon (C) sebagai katoda. Luas permukaan elektroda yang digunakan adalah:

- Elektroda (1)
Variasi elektroda berdasarkan luas permukaan yakni menggunakan plat seng (Zn) sebagai anoda dengan ukuran (5 cm x 4 cm x 0.1 cm) dan karbon sebagai katoda dengan ukuran (5 cm x 4 cm x 0.1 cm).

- Elektroda (2)

Variasi elektroda berdasarkan luas permukaan yakni menggunakan plat seng sebagai anoda dengan ukuran (10 cm x 4 cm x 0.1 cm) dan karbon sebagai katoda dengan ukuran (10 cm x 4 cm x 0.1 cm).

Pengukuran besaran kuat arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan oleh biolistrik dilakukan secara manual. Rangkaian elektroda yang telah dihubungkan dengan kabel tembaga dan jepit buaya, selanjutnya dihubungkan juga ke multimeter digital. Setelah rangkaian terhubung, atur jenis parameter berupa arus atau tegangan yang akan diukur. Selain itu, atur interval waktu setiap 1 jam dalam 1 hari agar meningkatkan nilai keakuratan data penelitian. Pengukuran akan dilakukan selama 14 hari berdasarkan periode yang telah ditentukan.

Pengukuran parameter pH, TDS, salinitas, dan EC dengan menggunakan alat *Water Quality Tester* (WQT). Langkah yang dilakukan adalah:

- Mengambil sampel sebanyak 1 mL dengan pipet tetes.
- Sampel yang telah diambil dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diencerkan sebanyak 10x. Tujuan dari pengenceran sampel agar sensor pada alat WQT dapat mengukur dengan baik.
- Larutan sampel diaduk hingga larut dan diendapkan selama 60 menit.
- Alat WQT dapat dicelupkan hingga sensor bekerja. Apabila nilai mulai terlihat stabil, dapat dicatat dan diulangi kembali dengan cara yang sama untuk setiap parameter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik awal substrat

Substrat yang digunakan berupa lumpur IPAL TPA Manggar Balikpapan, sampah organik, dan sekam padi. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui kondisi substrat sebelum dilakukan penelitian SMFCs. Hasil uji pendahuluan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Awal

No	Parameter	Satuan	Jenis Substrat		
			Lumpur	Sampah organik	Sekam padi
1	pH	-	7,36	7,6	-
2	<i>Electricity Conductivity</i> (EC)	$\mu\text{s/cm}$	15700	13200	-
3	<i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	mg/L	8730	6600	-
4	Salinitas	mg/L	8660	6610	-

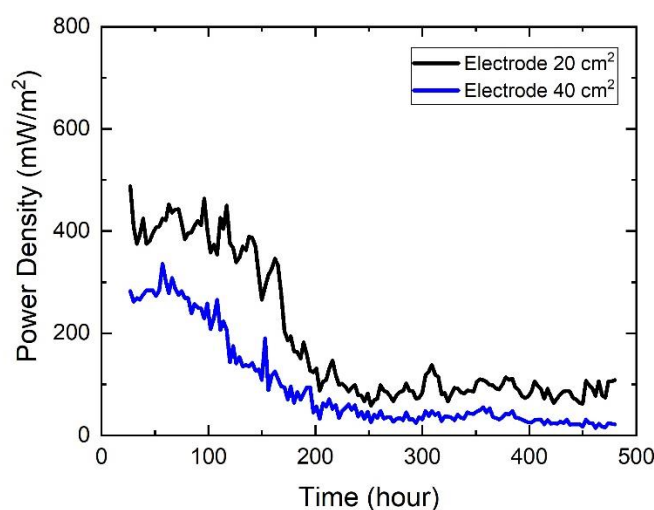
Sumber: Penulis, 2020

Hasil pengukuran pH awal lumpur sebesar 7,36 dan sampah organik sebesar 7,6. Nilai pH dapat mempengaruhi kemampuan mikroorganisme dalam berkembang biak dimana batas toleransi dari mikroorganisme dalam sistem SMFCs berada pada rentang 7,0 – 7,6 [14]. Selain itu, nilai pH juga dapat mempengaruhi *power density* yang dihasilkan dimana semakin mendekati pH optimum, maka akan semakin baik. Nilai pH optimum berada pada 7 sampai 8 [15]. *Power density* yang lebih rendah dihasilkan pada pH substrat 5 sampai 6 [16].

Konsentrasi EC dapat dikaitkan dengan tingkat konduktivitas dari suatu substrat [17]. Hasil pengukuran EC awal lumpur dan sampah organik masing-masing sebesar 15700 $\mu\text{s/cm}$ dan 13200 $\mu\text{s/cm}$. Pada pengukuran parameter *Total Dissolved Solid* (TDS), didapatkan konsentrasi sebesar 8730 mg/L pada lumpur dan sebesar 6600 mg/L pada sampah organik. Semakin banyak jumlah TDS suatu larutan, maka dapat mengindikasikan jumlah padatan yang bisa dikonversikan menjadi energi listrik [19]. Nilai salinitas awal lumpur dan sampah organik masing-masing sebesar 8660 mg/L dan 6610 mg/L. Peningkatan kemampuan daya hantar listrik salah satunya dipengaruhi oleh konsentrasi salinitas dan berbanding lurus [20].

3.2. Pengaruh Luas Permukaan Elektroda terhadap Produksi Biolistrik

Elektroda merupakan salah satu unsur yang berpengaruh dalam proses SMFCs. Penelitian ini menggunakan karbon grafit dan seng (Zn). Luas permukaan elektroda memiliki peranan penting terhadap proses konversi elektron menjadi energi listrik. Semakin besar luas permukaan elektroda maka semakin tinggi kadar oksigen dan electron yang diserap. Pada Gambar 1 terlihat bahwa nilai *power density* yang dihasilkan pada luas permukaan elektroda 20 cm² lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan elektroda 40 cm² yaitu sebesar 488 mW/m² dan 336 mW/m². Berdasarkan hasil perhitungan daya didapatkan bahwa nilai optimal dengan luas permukaan elektroda 40 cm², sebaliknya pada nilai kerapatan daya justru berasal dari luas permukaan elektroda 20 cm² dengan kata lain luas permukaan elektroda 20 cm² dinyatakan memiliki nilai kerapatan daya paling optimal jika dibandingkan dengan luas permukaan elektroda 40 cm². Hal tersebut sesuai dengan penelitian [3] bahwa proses SMFCs dominan terjadi di anoda sehingga nilai kerapatan daya dipengaruhi oleh luas permukaan yaitu semakin kecil luas permukaan maka kerapatan daya akan semakin besar.



Gambar 2. *Power Density* yang dihasilkan dalam proses SMFCs

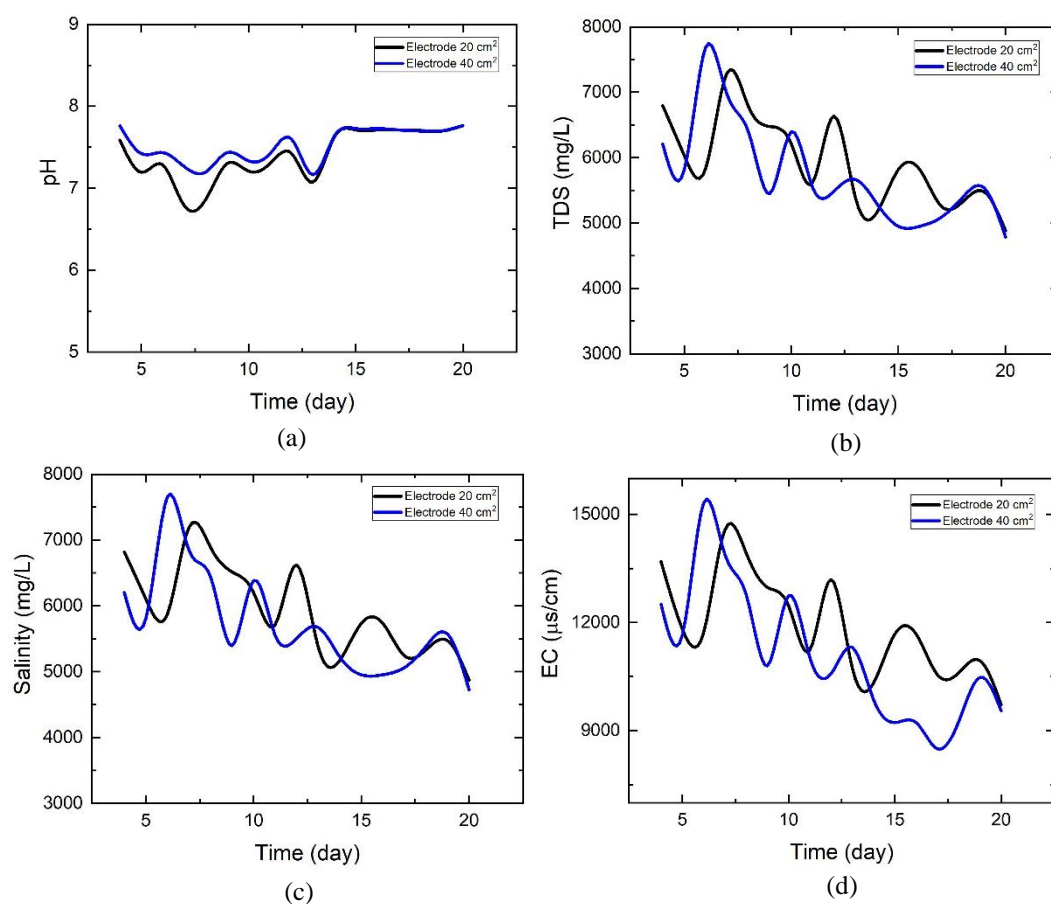
Rendahnya nilai *power density* dapat dipengaruhi oleh kandungan nitrat di anoda yang berperan sebagai akseptor elektron. Elektron yang hilang terlebih dahulu mengakibatkan kurangnya penyerapan katoda dalam menghasilkan energi listrik [21]. Selain itu, hambatan internal, kondisi lingkungan, kemampuan potensial standar elektroda [7], penyusutan elektroda akibat korosi (± 2 mm pada akhir penelitian), ataupun konduksi ion akibat jarak antar elektroda (± 10 cm) juga mempengaruhi rendahnya kerapatan daya terhadap luas permukaan. Lapisan biofilm di anoda juga dapat mempengaruhi penurunan nilai kerapatan daya sehingga terjadi korosi dan dapat menghambat transfer elektron [22][23].

Nilai daya yang mengalami kenaikan ataupun penurunan dapat diakibatkan oleh beberapa hal, diantaranya hambatan internal, nilai pH [6], hingga kurangnya nutrisi mikroorganisme yang terlihat pada volume substrat di dalam reaktor. Parameter lain yang juga dapat mempengaruhi tingkat produksi listrik yaitu EC, TDS, dan Salinitas [24]. Pengukuran parameter pH, TDS, salinitas, dan EC berkaitan dengan proses SMFCs disajikan pada Gambar 3 (a-d). Nilai pH dalam konsep SMFCs ditetapkan sebagai satuan ukur yang dapat merepresentasikan kondisi substrat bagi perkembangbiakan mikroorganisme [25]. Gambar 3 (a) menunjukkan bahwa nilai pH pada substrat berada dalam rentang toleransi metabolisme mikroorganisme yakni 6-8 [17].

Nilai TDS, salinitas, dan EC akan linier dengan kerapatan daya, sedangkan nilai pH yang meningkat melebihi batas netral (6-8) akan menyebabkan kematian mikroorganisme sehingga kerapatan daya juga menurun [20]. Banyaknya nilai ion listrik dalam substrat dipengaruhi oleh tingkat TDS yang ada. Ketika nilai TDS menurun, otomatis nilai daya juga menurun [24]. Penurunan TDS (Gambar 3b) dapat dipengaruhi oleh jumlah nutrisi pada substrat (lumpur, sampah organik, dan

sekam padi) yang telah dioksidasi menjadi proton dan elektron serta adanya kematian mikroorganisme [17].

Salinitas yang merupakan kadar garam-garam terlarut dalam 1 (satu) kilogram air laut. Semakin banyak konsentrasi salinitas terionisasi, maka akan meningkatkan potensi hantar listriknya [5] sehingga hasil penelitian menunjukkan bahwa salinitas menurun seiring dengan menurunnya nilai kerapatan daya yang dihasilkan (Gambar 3c). Konduktivitas listrik atau EC (*Electricity Conductivity*) merupakan suatu satuan ukur kemampuan larutan untuk menghantarkan energi listrik. Grafik pengukuran EC yang semakin kecil (menurun) pada Gambar 3 (d) mengindikasikan berkurangnya kemampuan substrat untuk menghantarkan listrik, sehingga nilai dari daya yang dihasilkan juga semakin berkurang. Berdasarkan korelasi antar *trendline* yang terjadi, dapat disimpulkan bahwa nilai salinitas, EC, dan TDS akan bergerak linier menuju kondisi stabil akibat keterbatasan nutrisi bagi mikroorganisme.



Gambar 3 Pengukuran Parameter dalam proses SMFCs (a) pH; (b)TDS; (c) Salinitas; (d) EC

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah luas permukaan elektroda seng dan karbon yang paling baik terhadap nilai daya adalah luas permukaan elektroda besar (40 cm²) karena semakin semakin besar luas permukaan elektroda maka akan semakin banyak menyerap elektron untuk dikonversi menjadi daya listrik. Setelah dilakukan normalisasi melalui *power density* listrik untuk mengetahui efisiensi material, maka luas permukaan yang lebih kecil (20 cm²) akan menghasilkan nilai *power density* yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Teknologi Kalimantan yang telah memberikan dukungan pendanaan pada penelitian ini.

REFERENSI

- [1] T. Damanhuri, Enri; Padmi, *Diktat Kuliah TL-3104 Pengelolaan Sampah*. 2010.
- [2] W. Widyawidura and J. I. Pongoh, "Potensi Waste to Energy Sampah Perkotaan untuk Kapasitas Pembangkit 1 MW di Propinsi DIY (The municipal waste-to-energy potential for 1 MW power capacity in the DIY province)," *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. 1, pp. 21–25, 2016.
- [3] S. Ömeroğlu and F. D. Sanin, "Bioelectricity Generation From Wastewater Sludge Using Microbial Fuel Cells: A Critical Review," *Clean - Soil, Air, Water*, vol. 44, no. 9, pp. 1225–1233, 2016, doi: 10.1002/clen.201500829.
- [4] E. Hartini and Y. Yulianto, "Kajian Dampak Pencemaran Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir terhadap Kualitas Air dan Udara," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–32, 2018.
- [5] B. Ibrahim, S. Pipih, and A. Bagus, "Pengaruh Jarak Elektroda Microbial Fuel Cell Pada Limbah Cair Pemindangan Ikan Terhadap Elekrisitas Dan Beban Pencemaran," *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, vol. 20, no. 3, pp. 559–567, 2017.
- [6] D. R. Sari, *STUDI PEMANFAATAN LUMPUR SEBAGAI SUMBER ALTERNATIF ENERGI DENGAN MENGGUNAKAN MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs)*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- [7] W. Logroño, G. Ramírez, C. Recalde, M. Echeverría, and A. Cunachi, "Bioelectricity Generation from Vegetables and Fruits Wastes by Using Single Chamber Microbial Fuel Cells with High Andean Soils," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 2009–2014, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.259.
- [8] M. A. Moqsud, J. Yoshitake, Q. S. Bushra, M. Hyodo, K. Omine, and D. Strik, "Compost in plant microbial fuel cell for bioelectricity generation," *Waste Manag.*, vol. 36, pp. 63–69, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2014.11.004.
- [9] Y. Yang, L. Yan, J. Song, and M. Xu, "Optimizing the electrode surface area of sediment microbial fuel cells," *RSC Adv.*, vol. 8, no. 45, pp. 25319–25324, 2018, doi: 10.1039/c8ra05069d.
- [10] M. V. W. Safitri and A. Rachmanto, "Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Power Density Pada Microbial Fuel Cell Dengan Penambahan Granular Activated Carbon," *J. ENVIROTEK*, vol. 12, no. 2, pp. 1–9, 2020.
- [11] C. Kemala *et al.*, "Analisis Pengaruh Luas Penampang Elektroda Terdistribusi Sel Tunam Mikroba Analysis Influences of Distributed Electrode Cross-Section Area To Characteristics of Current and Voltage in Microbial Fuel Cell," vol. 7, no. 2, pp. 4282–4290, 2020.
- [12] Q. Wu, S. Jiao, M. Ma, and S. Peng, "Microbial fuel cell system: a promising technology for pollutant removal and environmental remediation," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 7, pp. 6749–6764, 2020, doi: 10.1007/s11356-020-07745-0.
- [13] S. Z. Abbas, M. Rafatullah, N. Ismail, and M. I. Syakir, "A review on sediment microbial fuel cells as a new source of sustainable energy and heavy metal remediation: mechanisms and future prospective," *Int. J. Energy Res.* 41, 1242–1264., 2017.
- [14] P. Salvin, O. Ondel, C. Roos, and F. Robert, "Energy harvest with mangrove benthic microbial fuel cells," *Int. J. Energy Res.*, vol. 39, no. 4, pp. 543–556, 2015, doi: 10.1002/er.3270.
- [15] T. K. Sajana, M. M. Ghangrekar, and A. Mitra, "Effect of operating parameters on the performance of sediment microbial fuel cell treating aquaculture water," *Aquac. Eng.*, vol.

- 61, pp. 17–26, 2014, doi: 10.1016/j.aquaeng.2014.05.004.
- [16] Z. He, Y. Huang, A. K. Manohar, and F. Mansfeld, “Effect of electrolyte pH on the rate of the anodic and cathodic reactions in an air-cathode microbial fuel cell,” *Bioelectrochemistry*, vol. 74, no. 1, pp. 78–82, 2008, doi: 10.1016/j.bioelechem.2008.07.007.
- [17] M. A. Budihardjo *et al.*, “Waste valorization using solid-phase microbial fuel cells (SMFCs): Recent trends and status,” *J. Environ. Manage.*, vol. 277, no. August 2020, p. 111417, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111417.
- [18] M. I. A. Manalu, “PERANCANGAN ALAT UKUR KONDUKTIVITAS AIR (CONDUCTIVITY METER) DIGITAL DENGAN SENSOR RESISTIF,” UNIVERSITAS SUMATERA UTARA, 2014.
- [19] I. Rozi and H. Habshi, “PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO SEBAGAI BIOLISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN MICROBIAL FUEL CELLS (MFCS),” 2017.
- [20] B. Ngurah *et al.*, “Analisis Potensi Sedimen Hutan Bakau Sebagai Sumber Energi Listrik dengan Menggunakan Teknologi Sediment Microbial Fuel Cell (SMFC),” *Semin. Nas. FMIPA UNDIKSHA IV Tahun 2014*, no. 2, pp. 399–407, 2014.
- [21] K. Syahputra, I. Rusmana, and U. Widyastuti, “Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Denitrifikasi Sebagai Agen Bioremediasi Nitrogen Anorganik,” *J. Ris. Akuakultur*, vol. 6, no. 2, p. 197, 2011, doi: 10.15578/jra.6.2.2011.197-209.
- [22] M. Ghasemi, S. Shahgaldi, M. Ismail, Z. Yaakob, and W. R. W. Daud, “New generation of carbon nanocomposite proton exchange membranes in microbial fuel cell systems,” *Chem. Eng. J.*, vol. 184, pp. 82–89, 2012, doi: 10.1016/j.cej.2012.01.001.
- [23] D. Permana, H. R. Haryadi, H. E. Putra, W. Juniaty, S. D. Rachman, and S. Ishmayana, “Evaluasi Penggunaan Metilen Biru Sebagai Mediator Elektron Pada Microbial Fuel Cell Dengan Biokatalis Acetobacter Aceti,” *Molekul*, vol. 8, no. 1, p. 78, 2013, doi: 10.20884/1.jm.2013.8.1.128.
- [24] F. Irwan and A. Afdal, “Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik Dengan Total Dissolved Solid (TDS) Dan Temperatur Pada Beberapa Jenis Air,” *J. Fis. Unand*, vol. 5, no. 1, pp. 85–93, 2016.
- [25] Purwono, Hermawan, and Hadiyanto, “Penggunaan Teknologi Reaktor Microbial FUEL Cells (MFCs) Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Untuk,” *J. Presipitasi*, vol. 12, no. 2, pp. 57–65, 2015.