

Efektivitas *Microalgal Fuel Cell Spirulina* sp. sebagai Sumber Energi Listrik

Nefertiti Riyan Putri Hasanah¹, Indri Febriani², Fami Israyusnita², Facchur Rozy Dwi Septian³, Indra Kurniawan Saputra

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang No. 5, Malang, 65145, Indonesia

²Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang No. 5, Malang, 65145, Indonesia

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang No. 5, Malang, 65145, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: nefertitihasanah.1903216@students.um.ac.id

Paper received: xx-xx-xxxx; revised: xx-xx-xxxx; accepted: xx-xx-xxxx

Abstract

A stable and continuous supply of energy is the primary need for life on earth. But in reality, currently the existence of energy sources is limited, so that a renewable energy source is needed to meet the energy supply. One of the potential sources of energy is *Spirulina* sp. *Spirulina* sp. is a potential microalgae to be a source of electrical energy in its application as an anolyte in microalgal fuel cells. The purpose of this study was to determine the effectiveness of the microalgal fuel cell *Spirulina* sp. as a source of electrical energy. The construction of the microalgal fuel cell adapts from the microbial fuel cell (MFC) which is used to measure the value of the resulting voltage. The microalgal fuel cell uses variations in the volume of the anolyte in the form of *Spirulina* sp. and the volume of catholyte in the form of nutrition *Spirulina* sp. The results obtained in the form of the highest stress effectiveness using a ratio of 100 ml of anolyte and 500 ml of catholyte. Based on the research data, the microalgae *Spirulina* sp. proven to be effective as a renewable energy source in generating electrical energy.

Keywords: *Spirulina* sp.; microalgal fuel cell; electrical energy

Abstrak

Pasokan energi stabil dan kontinyu menjadi kebutuhan primer kehidupan di bumi. Namun pada kenyataannya, saat ini keberadaan sumber energi terbatas, sehingga diperlukan adanya sumber energi terbarukan untuk memenuhi pasokan energi tersebut. Salah satu yang potensial untuk menjadi sumber energi ialah *Spirulina* sp. *Spirulina* sp. merupakan mikroalga yang potensial untuk menjadi sumber energi listrik dalam pengaplikasiannya sebagai anolit pada *microalgal fuel cell*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efektivitas *microalgal fuel cell Spirulina* sp. sebagai sumber energi listrik. Konstruksi *microalgal fuel cell* mengadaptasi dari *microbial fuel cell* (MFC) di mana digunakan untuk mengukur nilai tegangan yang dihasilkan. *Microalgal fuel cell* menggunakan variasi volume anolit berupa kultur *Spirulina* sp. dan volume katolit berupa nutrisi *Spirulina* sp. Adapun hasil yang diperoleh berupa efektivitas tegangan tertinggi menggunakan perbandingan anolit sebanyak 100 ml dan katolit sebanyak 500 ml. Berdasarkan data hasil penelitian, mikroalga *Spirulina* sp. terbukti efektif sebagai sumber energi terbarukan dalam menghasilkan energi listrik.

Kata kunci: *Spirulina* sp.; microalgal fuel cell; energi listrik

1. Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan salah satu dari sekian banyak permasalahan yang dihadapi berbagai negara. Di antara berbagai gas yang berkontribusi terhadap perubahan iklim, karbon

dioksida dinilai sebagai kontributor paling menonjol (Abeydeera et al., n.d.). Terdapat banyak sektor yang berkontribusi terhadap emisi karbondioksida (CO₂) global termasuk sektor layanan perumahan, komersial dan publik, produksi listrik dan panas, penggunaan industri, manufaktur dan konstruksi industri lainnya, serta sektor transportasi. Dari sejumlah sektor tersebut, sektor produksi listrik dan panas merupakan kontributor utama emisi CO₂ di seluruh dunia (Akinyemi & O.J., n.d.).

Pada lain pihak, pasokan energi yang stabil dan berkelanjutan sangat penting bagi semua kehidupan di bumi. Saat ini, perkembangan sumber listrik terbarukan seperti angin, matahari, dan ombak meningkat secara signifikan di seluruh dunia karena adanya permintaan untuk mengendalikan perubahan iklim (Salimijazi et al., n.d.). Sebagai sumber energi yang paling melimpah dan terbarukan, energi matahari dapat dimanfaatkan dalam bentuk listrik melalui fotovoltaik (PV) yang terbuat dari bahan semikonduktor. Akan tetapi, toksisitas dan karakteristik bahan PV yang sulit untuk didaur ulang menimbulkan kekhawatiran pada kompatibilitas lingkungan (Polman et al., n.d.).

Biofotovoltaik (BPV) menggunakan bahan fotosintesis biologis untuk mengubah energi matahari menjadi listrik (McCormick et al., n.d.). Perangkat biofotovoltaik merupakan teknologi konversi energi yang mana disebut juga sebagai sel bahan bakar bioelektrokimia (BEFCs) atau sel bahan bakar fotobioelektrokimia (Cevik et al., n.d.). BPV utamanya terdiri dari spesies tunggal mikroorganisme fotosintesis, seperti *Cyanobacteria* dan mikroalga eukariotik. Hal tersebut mengindikasikan bahwa BPV lebih kompatibel dengan lingkungan dan berpotensi lebih hemat biaya dibandingkan PV berbasis semikonduktor.

Salah satu bentuk dari perangkat biofotovoltaik adalah *microalgal fuel cell*. Istilah tersebut serupa dengan *microbial fuel cell*. Istilah *Microbial Fuel Cell* (MFC) menggunakan mikroorganisme aktif sebagai biokatalis dalam kompartemen anoda untuk produksi biolistrik (Rahimnejad, Adhami, et al., n.d.), sedangkan *microalgal fuel cell* merupakan salah satu bentuk dari *biosolar cell*, yang mana menggunakan mikroalga dalam kompartemen anoda (anolit).

Pada pembuatan perangkat bioelektrokimia berbasis organisme fototrofik, spesies alga hijau telah banyak digunakan sebagai mikroorganisme fotosintetik. Akan tetapi, dalam hal ini kami menggunakan alga biru-hijau (*Spirulina* sp.) sebagai gantinya karena mempertimbangkan keunggulannya dalam menyerap CO₂. *Spirulina* sp. merupakan mikroalga yang optimal dalam menyerap CO₂ karena memiliki kemampuan adaptasi lebih baik dibandingkan alga hijau (Abdurrachman et al., n.d.). Selain kegunaannya dalam proses penyerapan CO₂, *Spirulina* sp. juga digunakan dalam menghasilkan listrik. *Spirulina* sp. merupakan mikroalga dengan efisiensi fotosintesis yang baik dan dapat digunakan untuk pembangkit listrik fotovoltaik (Wang et al., n.d.). Atas dasar tersebut, diperlukan adanya penelitian terkait dengan efektivitas *microalgal fuel cell Spirulina* sp. sebagai sumber energi listrik.

2. Metode

2.1. Kultur *Spirulina* sp.

Kultur *Spirulina* sp. menggunakan medium air tawar sebanyak 18 liter dengan penambahan garam krosok dan nutrisi yang mengandung NaHCO₃, pupuk NPK, pupuk mikro, dan vitamin B sebagai mediumnya. Garam krosok ditambahkan dengan dosis 20 gram dalam 1 liter air. Setelah itu, dilanjutkan dengan penambahan nutrisi. Kemudian, keduanya diaduk

hingga merata agar larut dalam air. Lalu, dilanjutkan dengan penambahan 1 liter bibit *Spirulina* sp. Untuk menghindari terjadinya penggumpalan *Spirulina* sp. ketika dikultur, aerator digunakan untuk aerasi secara terus-menerus. Bagian atas wadah kultur *Spirulina* sp. ditutup dengan plastik transparan dengan tujuan agar mendapatkan penyinaran cahaya lampu TL berintensitas 2200 lux. *Spirulina* sp. memiliki rentang cahaya untuk pertumbuhan sebesar 1500-3500 lux (Soni et al., 2019). *Spirulina* sp. termasuk alga hijau-biru yang memiliki tingkat toleransi yang tinggi. Terdapat beberapa indikator toleransi kehidupan *Spirulina* sp., meliputi: (1) suhu tolerir selama pemeliharaan kultur *Spirulina* sp. pada rentang 20-30°C. Sementara itu, suhu tolerir dapat diklasifikasikan berdasarkan skala kultur dan pemeliharaan *Spirulina* sp., yaitu suhu di skala laboratorium pada rentang 22-24°C, suhu di skala semi massal 26-28°C, suhu pada kultur semi massal memiliki nilai suhu yang relatif lebih tinggi dikarenakan lokasi kultur terkena cahaya matahari (Buwono & Nurhasanah, n.d.), (2) salinitas, kandungan salinitas untuk pertumbuhan *Spirulina* sp. berkisar antara 20-30 ppt, (3) pH, *Spirulina* sp. memiliki batas tolerir pH sebesar 8-11, (4) oksigen terlarut, terdapat minimal jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan sebesar 3 ppm, serta (5) kadar karbondioksida, di mana *Spirulina* sp. dapat tumbuh dan hidup pada kondisi alkali atau basa (Hadiyanto, n.d.). Sementara itu, kelangsungan hidup *Spirulina* sp. memerlukan aerasi, agitasi dan intensitas cahaya yang cukup untuk meningkatkan hasil biomassa, produktivitas sel, serta laju pertumbuhan spesifik. Oleh karena itu, pertumbuhan *Spirulina* sp. memerlukan adanya sistem aerasi, di mana dilakukan secara berkelanjutan agar *Spirulina* sp. dapat bertahan hidup dan tumbuh secara optimal (Zhu et al., n.d.).

2.2. Rancang Bangun *Microalgal Fuel Cell Spirulina* sp.

Teknologi *microalgal fuel cell* mengadaptasi dari *Microbial Fuel Cell* (MFC), di mana bakteri yang digunakan dalam MFC digantikan dengan mikroorganisme fotosintesis, yaitu *Spirulina* sp. *Microalgal fuel cell* ini dapat meminimalkan biaya operasional, dikarenakan tidak adanya hambatan anaerobik (Kusmayadi et al., n.d.). Sementara itu, pemilihan bahan anoda dan katoda juga dipilih secara tepat, di mana bahan anoda non korosif dan konduktif, sedangkan bahan katoda terdiri dari bahan katalis dengan oksigen dengan *Oxygen Reduction Reaction* (ORR) yang tinggi (Chouler et al., n.d.). Berkaitan dengan hal tersebut, rancang bangun *microalgal fuel cell* ini terdiri dari tiga bagian, yaitu anoda berupa karbon, katoda berupa lempengan aluminium dan media penukar proton berupa jembatan garam. Pada sistem ini, digunakan *dual-chamber microalgal fuel cell* (DcMFC) meliputi ruang anolit berupa kultur *Spirulina* sp. dan katolit berupa larutan nutrisi *Spirulina* sp. yang dipisahkan oleh media penukar proton. Penggunaan *dual chamber* lebih unggul dibandingkan *single chamber*, meliputi kinerja katoda yang dapat ditingkatkan dengan penyesuaian pH, peningkatan laju aliran, pembersihan oksigen murni, penambahan mediator elektron di katoda yang mengarah dan mendukung ke kinerja *microalgal fuel cell* (Kusmayadi et al., n.d.).

Rancang bangun ini merujuk pada penelitian terdahulu, di mana *Spirulina* pada medium kultur ditambahkan pada ruang anoda sedangkan, medium kultur diletakkan pada ruang katoda (Wang et al., n.d.). Kedua ruang tersebut saling dihubungkan oleh jembatan garam. Perlakuan yang digunakan adalah variasi volume anolit (kultur *Spirulina* sp.), variasi volume katolit (medium kultur), dan volume anolit-katolit yang sama.

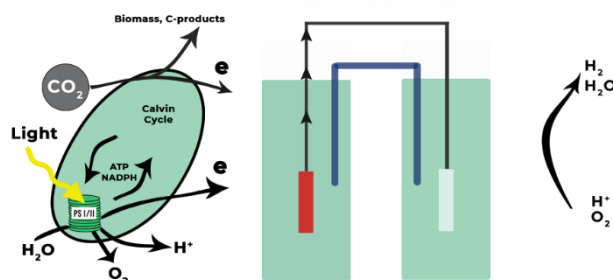
2.3. Mengukur Tegangan Listrik *Microalgal Fuel Cell Spirulina* sp.

Pengukuran tegangan listrik dilakukan dengan menggunakan *multimeter digital DT-830B*. *Multimeter digital* tersebut diatur untuk pengukuran tegangan listrik pada skala terkecil

terlebih dahulu kemudian nilai tegangan yang tertera pada layar multimeter diamati pada selang waktu tertentu (Seok et al., n.d.).

3. Hasil dan Pembahasan

Mikroalga menjadi salah satu metabolit bioaktif untuk sel bahan bakar mikroba yang dapat memitigasi CO₂. Hal ini dijelaskan oleh peneliti bahwa mekanisme tersebut berbantuan inhibitor spesifik rantai transport elektron dalam mikroalga (Pisciotta et al., n.d.; Sivakumar et al., n.d.). Beberapa peneliti telah meninjau dan merekomendasikan sel bahan bakar mikroba menggunakan jenis strain mikroalga yang tepat guna memaksimalkan produksi daya (Elmekawy et al., n.d.; Saba et al., n.d.).



Gambar 1. Skema *Microalgal Fuel Cell Spirulina sp.*

Spirulina sp. menjadi salah satu mikroalga yang diidentifikasi sebagai elektrogenik dengan kualitas yang unggul. *Spirulina sp.* dapat menghasilkan elektron dari proses metabolisme (Rahimnejad, Bakteri, et al., n.d.). Kondisi tersebut memungkinkan elektron yang dihasilkan oleh *Spirulina sp.* dapat digunakan sebagai sumber energi listrik. Hal tersebut diperkuat oleh Kristin (Kristin, n.d.), mikroorganisme yang menghasilkan elektron dapat dialirkan ke ruang anoda dalam kondisi anaerob, selanjutnya elektron dapat diubah menjadi energi listrik dengan rangkaian elektrokimia berupa sel galvanik.

Spirulina sp. menjadi mikroorganisme yang mempunyai peran penting sebagai anolit di dalam ruang anoda sekaligus elektron yang dihasilkan. Pada gambar 1 digambarkan adanya aliran elektron yang digunakan untuk mengurangi akseptor elektron di ruang katoda. Selain itu, terdapat proses masuknya proton dari ruang anoda ke kompartemen katoda melalui jembatan garam. Elektron akan terus mengalir melalui sirkuit arus listrik saat anoda dan katoda dihubungkan oleh jembatan garam (Fatemi et al., n.d.). *Microalgal fuel cell* ini tidak memerlukan mediator buatan di kompartemen anoda untuk meneruskan aliran elektron yang dihasilkan. Adapun aliran dari elektron tersebut akan menghasilkan arus (I) dan daya (P). Rangkaian demikian akan menghasilkan energi listrik (Park et al., n.d.).

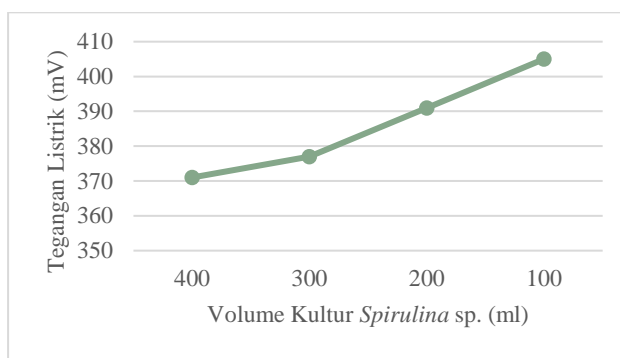
Persamaan *microbial fuel cell* (MFC) dengan *microalgal fuel cell* menghasilkan parameter keefektifan kinerja yang sama, antara lain: material elektroda, transfer elektron mikroorganisme (*Spirulina sp.*), resistansi eksternal dan internal, oksidasi katoda, jumlah kultur mikroorganisme, jembatan garam, dan desain rangkaian (Deng et al., n.d.; Jafary et al., n.d.; Rahimnejad, Bakteri, et al., n.d.). Jembatan garam menjadi salah satu faktor penting bagi *microalgal fuel cell*, dimana berperan mentransfer proton yang dihasilkan dari anoda ke kompartemen katoda. Oleh karena itu, efisiensi sekaligus kelayakan *microalgal fuel cell* ini sangat bergantung pada kinerja jembatan garam.

Berdasarkan hasil pengukuran dengan variabel bebas berupa variasi volume kultur *Spirulina sp.* diperoleh hasil seperti yang tertera pada Tabel 1. Pada data tersebut, volume anolit 100 ml memberikan nilai tegangan listrik tertinggi, yaitu sebesar 405 mV. Jika dilihat dari data tersebut, seiring dengan penambahan volume anolit terjadi penurunan nilai tegangan yang dihasilkan. Grafik kenaikan tegangan listrik yang dihasilkan dengan variasi

anodit berupa kultur *Spirulina* sp. dari yang terendah hingga tertinggi dapat dilihat pada gambar 2. Hal tersebut merepresentasikan semakin tinggi volume kultur *Spirulina* sp. (ml) diikuti dengan tingginya tegangan listrik (mV) yang dihasilkan.

Tabel 1. Tegangan listrik yang dihasilkan dengan perlakuan variasi volume anodit

Kultur <i>Spirulina</i> sp. (ml)	Nutrisi <i>Spirulina</i> sp. (ml)	Skala pengukuran= 2000 mV Tegangan (mV)	Waktu Pengukuran
400	500	371	11.19 WIB
300	500	377	11.19 WIB
200	500	391	11.18 WIB
100	500	405	11.16 WIB

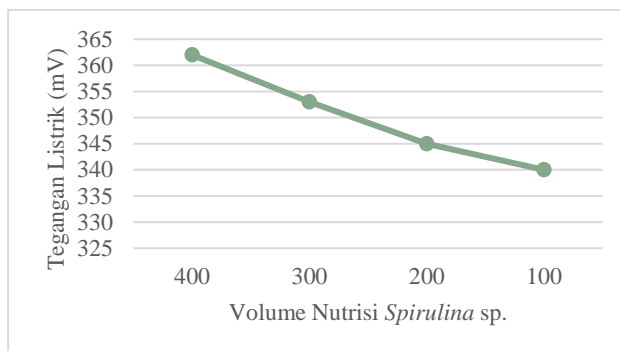


Gambar 2. Grafik Tegangan Listrik yang Dihasilkan oleh *Microalgal Fuel Cell Spirulina* sp. Dengan Variasi Volume Kultur *Spirulina* sp. (Anodit)

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengukuran dengan variabel bebas berupa variasi volume larutan nutrisi *Spirulina* sp. menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai tegangan yang dihasilkan oleh *microalgal fuel cell Spirulina* sp. Pada perlakuan ini, terjadi kenaikan nilai tegangan yang dihasilkan seiring dengan penambahan volume larutan nutrisi *Spirulina* sp. Tegangan tertinggi yang dihasilkan oleh variasi volume larutan nutrisi *Spirulina* sp. bernilai 362 mV. Grafik kenaikan tegangan listrik yang dihasilkan dengan variasi katodit berupa nutrisi *Spirulina* sp. dari yang terendah hingga tertinggi dapat dilihat pada gambar 3.

Tabel 2. Tegangan listrik yang dihasilkan dengan perlakuan variasi volume anodit

Kultur <i>Spirulina</i> sp. (ml)	Nutrisi <i>Spirulina</i> sp. (ml)	Skala pengukuran= 2000 mV Tegangan (mV)	Waktu Pengukuran
500	400	362	11.25 WIB
500	300	353	11.26 WIB
500	200	345	11.27 WIB
500	100	340	11.28 WIB



Gambar 3. Grafik Tegangan Listrik yang Dihasilkan oleh *Microalgal Fuel Cell Spirulina* sp. Dengan Variasi Volume Nutrisi *Spirulina* sp. (Anolit)

Pada tabel 3, terlihat adanya variasi volume anolit dan katolit *Spirulina* sp., dimana menunjukkan peningkatan nilai tegangan seiring penambahan volume. Adapun urutan nilai tegangan dari terendah hingga tertinggi, meliputi: (1) 332 mV, (2) 362 mV, (3) 363 mV, (4) 365 mV, dan (5) 378 mV. Nilai tertinggi ditunjukkan oleh volume anolit dan katolit 500ml yang menghasilkan nilai tegangan senilai 378 mV.

Tabel 3. Tegangan listrik yang dihasilkan tanpa variasi volume anolit dan katolit

Kultur <i>Spirulina</i> sp. (ml)	Nutrisi <i>Spirulina</i> sp. (ml)	Skala pengukuran = 2000 mV Tegangan (mV)	Waktu Pengukuran
500	500	378	11.20 WIB
400	400	365	11.31 WIB
300	300	363	11.33 WIB
200	200	362	11.37 WIB
100	100	332	11.39 WIB

Perbandingan ketiga variasi tersebut memberikan data variasi volume anolit senilai 100 ml menghasilkan tegangan 405 mV. Alasan untuk fenomena ini masih belum ditemukan dan memerlukan peninjauan lebih lanjut. Akan tetapi, jika perbedaan volume dapat dikorelasikan dengan perbedaan konsentrasi, maka perbedaan volume memiliki dampak yang signifikan terhadap nilai tegangan yang dihasilkan. Ion di katoda tidak dapat melewati jembatan garam (Sun & Hsiau, n.d.). Namun, elektron secara bertahap menjenuhkan anoda, sehingga konsentrasi di anoda akan berlebih, di mana konduktivitas memiliki kecenderungan negatif. Hal tersebut yang menjadi penyebab dari nilai tegangan yang tinggi.

Variasi kerapatan tegangan listrik dipengaruhi oleh intensifikasi pertumbuhan *Spirulina* sp., difusi oksigen ke kompartemen anolit dan variasi konsentrasi oksigen sebagai akseptor elektron. Sementara itu, terdapat kemungkinan penurunan tegangan yang dihasilkan, di mana disebabkan oleh penambahan konsentrasi oksigen terlarut di dalam kompartemen katodik, sehingga menyebabkan penetration oksigen dari membran ke dalam kompartemen anoda (Wu et al., n.d.).

4. Simpulan

Gagasan sumber energi listrik dalam bahan bakar biologis secara teoritis sudah dijelaskan, tetapi penggunaan *Spirulina* sp. untuk produksi energi merupakan hal baru dan

berpotensi untuk dikembangkan. *Microalgal fuel cell Spirulina* sp. menjadi teknologi berkelanjutan dalam produksi biolistrik melalui rangkaian bioelektrokimia. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa volume katolit 500 ml dengan variasi volume anolit memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai tegangan yang dihasilkan *microalgal fuel cell*, yaitu volume anolit 100 ml. Dengan demikian, *microalgal fuel cell Spirulina* sp. mempunyai kemampuan yang baik dan unggul dalam menghasilkan energi listrik terbarukan.

Ucapan Terima Kasih (Opsional)

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi RI telah mendukung dan mendanai secara penuh penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) tahun 2021, serta Indra Kurniawan Saputra S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing. Selain itu, diucapkan terima kasih kepada Dhiyauddin Aridhowi S.T selaku laboran beserta staf *Greenhouse* Jurusan Biologi, FMIPA UM yang mendampingi selama penelitian berlangsung.

Daftar Rujukan

- Abdurachman, O., Mutiara, M., & Buchori, L. (n.d.). Pengikatan Karbon Dioksida Dengan Mikroalga (*Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas* sp., *Spirulina* sp.) Dalam Upaya Untuk Meningkatkan Kemurnian Biogas. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(4), 212–216.
- Abeydeera, L. H. U. W., Mesthrige, J. W., & Samarasinghalage, T. I. (n.d.). Global Research on Carbon Emissions: A Scientometric Review. *Sustainability*, 11.
- Akinyemi, T. O. dan R., & O.J. (n.d.). Mitigation of CO₂ Emissions in Transportation and Industrial Processes using Renewable Energy Technologies-A Review. *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(5), 58–59.
- Buwono, N. R., & Nurhasanah, R. Q. (n.d.). Studi pertumbuhan populasi *Spirulina* sp. Pada skala kultur yang berbeda. *JIPK*, 10(1).
- Cevik, E., Tombuloglu, H., Anil, I., Senel, M., Sabit, H., AbdulAzeez, S., Borgio, J. F., & Barghouthi, M. (n.d.). Direct electricity production from Microalgae *Choricystis* sp. And investigation of the boron to enhance the electrogenic activity. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(19), 11330–11340.
- Chouler, J., Bentley, I., Vaz, F., Fee, A. O., Cameron, P. J., & Di, M. (n.d.). Exploring the use of cost-effective membrane materials for microbial fuel cell based sensors. *Electrochim Acta*, 231, 319–326.
- Deng, H., Wu, Y. C., Zhang, F., Huang, Z. C., Chen, Z., Xu, H. J., & Zhao, F. (n.d.). Factors affecting the performance of single-chamber soil microbial fuel cells for power generation. *Pedosphere*, 24(3), 330–338.
- Elmekawy, A., Hegab, H. M., Vanbroekhoven, K., & Pant, D. (n.d.). Techno-productive potential of photosynthetic microbial fuel cells through different configurations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 617–627.
- Fatemi, S., Ghoreyshi, A., Najafpour, G., & Rahimnejad, M. (n.d.). Bioelectricity generation in mediator-less microbial fuel cell: Application of pure and mixed cultures. *Iranica Journal Energy Environ*, 3, 2079–2115.
- Hadiyanto, M. A. (n.d.). *Mikroalga: Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. UPT UNDIP Press.
- Jafary, T., Ghoreyshi, A. A., Najafpour, G. D., Fatemi, S., & Rahimnejad, M. (n.d.). Investigation on performance of microbial fuel cells based on carbon sources and kinetic models. *International Journal Energy Res*, 37(2), 1539–1549.
- Kristin, E. (n.d.). *Produksi energi listrik melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan limbah industri tempe*.

- Kusmayadi, A., Leong, Y. K., Yen, H. W., Huang, C. Y., Dong, C. D., & Chang, J. S. (n.d.). Microalgae-microbial fuel cell (mMFC): An integrated process for electricity generation, wastewater treatment, CO₂ sequestration and biomass production. *Int J Energy*, 44(12), 1–12.
- McCormick, A. J., Bombelli, P., Bradley, R. W., Thorne, R., Wenzel, T., & Howe, C. J. (n.d.). Biophotovoltaics: Oxygenic photosynthetic organisms in the world of bioelectrochemical systems. *Energy & Environmental Science*, 8(4), 1092–1109.
- Park, I. H., Christy, M., Kim, P., & Nahma, K. S. (n.d.). Enhanced electrical contact of microbes using Fe₃O₄/CNT nanocomposite anode in mediator-less microbial fuel cell. *Biosens Bioelectron*, 58, 75–80.
- Pisciotta, I. M., Zou, Y. J., & Baskakov, I. V. (n.d.). Role of the photosynthetic electron transfer chain in electrogenic activity of cyanobacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91, 377–385.
- Polman, A., Knight, M., Garnett, E. C., Ehrler, B., & Sinke, W. C. (n.d.). Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. *Science*, 352(6283).
- Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., & Oh, S. (n.d.). Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. *Alexandria Engineering Journal*, 54, 745–756.
- Rahimnejad, M., Bakteri, G., Najafpour, G., Ghasemi, M., & Oh, S. E. (n.d.). A review on the effect of proton exchange membrane in microbial fuel cells. *Biofuel Research Journal*, 1, 7–15.
- Saba, B., Chrisstya, A. D., Yu, Z., & Co, A. C. (n.d.). Sustainable power generation from bacteria-algal microbial fuel cells (MFCs): An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 75–84.
- Salimijazi, F., Parra, E., & Barstow, B. (n.d.). Electrical energy storage with engineered biological systems. *Journal of Biological Engineering*, 13(38).
- Seok, W. H., Hyung, J. K., Yong, S. C., & Tai, H. C. (n.d.). Field experiments on bioelectricity production from lake sediment using microbial fuel cell technology. *Bulletin Korean Chemistry Society*, 29(11), 2189–2194.
- Sivakumar, P., Ilango, K., Praveena, N., Sircar, A., Balasubramanian, R., Sakthisaravanan, A., & Kannan, R. (n.d.). Algal Fuel Cell. In *Book: Microalgal Biotechnology Chapter 5*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74285>.
- Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. (2019). Comparative study on the growth performance of *Spirulina platensis* on modifying culture media. *Energy Reports*, 5, 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.02.009>
- Sun, C. W., & Hsiao, S. S. (n.d.). Effect of Electrolyte Concentration Difference on Hydrogen Production during PEM Electrolysis. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 9(2), 99–108.
- Wang, L., Tian, L., Deng, X., Zhang, M., Sun, S., Zhang, W., & Zhao, L. (n.d.). Photosensitizers from *Spirulina* for Solar Cell. *Journal of Chemistry*.
- Wu, Y. C., Wang, Z. J., Zheng, Y., Xiao, Y., Yang, Z. H., & Zhao, F. (n.d.). Light intensity affects the performance of photo microbial fuel cells with *Desmodesmus* sp. A8 as cathodic microorganism. *Appl. Energy*, 116, 86–90.
- Zhu, C., Zhai, X., Wang, J., Han, D., Li, Y., Xi, Y., Tang, Y., & Z, C. (n.d.). Large-scale cultivation of *Spirulina* in a floating horizontal photobioreactor without aeration or an agitation device. *Appl Microbiol Biotechnol*, 20, 8979–8987.