Produksi Energi Listrik Terbarukan dari Sel Bahan Bakar Mikroba berbasis Tanaman Lahan Basah (P-MFC) untuk Wilayah Pesisir Indonesia

Green Electricity from Wetland Plants – Derived Microbial Fuel Cell for Indonesia's Coastal Region

Indah Nurulita[1*], Adelia Elviantari[2], Yulianti[2], Fahmi Dwilaksono[2], Baso Manguntungi[2], Ali Budhi Kusuma[2]

[1]*Sekolah Pasca Sarjana Universitas Teknologi Sumbawa, Jl. Raya Olat Maras, Sumbawa Besar, Indonesia*

[2]*Fakultas Teknobiologi Universitas Teknologi Sumbawa, Jl. Raya Olat Maras, Sumbawa Besar, Indonesia*

KATA KUNCI
KEYWORDS

Energi baru-terbarukan, Plant-MFC, rhizodepositee, mikroorganisme rhizosphere
New-Renewable Energy, Plant-MFC, rhizodepositee, rhizosphere microorganisms

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan teknologi alternative yang dapat diaplikasikan untuk mengatasi masalah krisis energi listrik di Inonesia, khususnya wilayah pesisir (3T). Teknologi ini dikenal sebagai *Plant-Microbial Fuel Cell* (P-MFC). Prinsip P-MFC adalah konversi rhizodeposite (kelompok karbohidrat sederhana dan asam organik rantai pendek pada zona akar tanaman lahan basah) oleh komunitas mikroorganisme rhizosfer menjadi listrik melalui sistem sel bahan bakar. Tiga jenis tanaman lahan basah yang digunakan dalam percobaan ini yaitu *C. esculentus, O. sativa, I. reptans*. Tanaman disusun dalam 6 ember, dan *C. esculentus* menunjukkan hasil daya listrik paling tinggi dibandingkan dengan *O. sativa* dan *I. reptants* (1.4075 mW; 1.2474 mW; 1.0920 mW). Hasil menunjukkan bahwa ketiga tanaman dapat menghasilkan listrik, ditunjukkan oleh lampu yang menyala pada sistem. Sistem P-MFC memiliki potensi untuk diterapkan dalam skala rumah tangga, juga dapat dikembangkan secara komersial dengan menggunakan konsep "wisata pesisir berbasis listrik hijau".

ABSTRACT

The purpose of this study was to generate an alternative technology for the production of electricity, to overcome the problem of electrical energy crisis in Indonesia's Coastal Region (3T). This is known as Plant-Microbial Fuel Cells (P-MFC). The principle of this technology is the conversion of rhizodepositee by rhizosphere microorganism's community into electricity through a fuel cell system. Three kinds of wetland plants were used in this study, which are C. esculentus, O. sativa, I. reptans. They were assembled as 6 buckets for each plant, and C. esculentus showed a higher result of electrical power measurement compared to O. sativa and I. reptans (1.4075 mW; 1.2474 mW; 1.0920 mW). The result showed that all plants could generate electricity, shown by the turned on lamp in the system. The PMFC system could be applied in household scale and could be developed commercially using 'coastal tourism based on green electricity' concept.

**Correspondence:*
Email: indahnurulita01@gmail.com

1. Introduction

Listrik berperan penting dalam kehidupan manusia untuk mempermudah setiap aktivitas manusia di dunia. Kebutuhan listrik menjadi salah satu pendorong inovasi teknologi. Indonesia membutuhkan sekitar 20354.41 MW (Mega Watt) listrik untuk menyalakan peralatan elektronik setiap hari, sementara perusahaan listrik nasional (PLN) hanya bisa memproduksi 53317,53 MW (Haryono *et al.,* 2010). Dikarenakan hal tersebut, PLN melakukan pemadaman bergilir di masing-masing daerah sebagai upaya mengurangi penggunaan listrik di Indonesia.

Dikutip dari laman media online Tempo.co (2016), sekitar 10,211 desa di Indonesia masih gelap gulita di malam hari. Berbagai upaya telah dilakukan oleh pemerintah untuk menurunkan angka tersebut. Pada tahun 2019, Kementrian ESDM mengungkapkan bahwa angka tersebut telah mengalami penurunan menjadi 2,500 desa yang tercatat masih belum teraliri listrik di tahun (Suara.com, 2019). Meskipun telah terjadi penurunan, angka tersebut masih terhitung tinggi. Kondisi ini diperburuk dengan kondisi geografis dan kondisi ekonomi masyarakat di wilayah tersebut.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan teknologi inovatif yang dapat menopang kebutuhan energi listrik di daerah pesisir. Studi ini mengembangkan tanaman lahan basah yang dapat memproduksi listrik dengan menggunakan teknologi *Plant - Microbial Fuel Cells* (P-MFC). Tanaman melakukan fotosintesis dan menghasilkan bahan organik. Sekitar 70% bahan organik disimpan di perakaran tanaman, yang dikenal sebagai *rhizodepositee. Rhizodepositee* dapat dioksidasi oleh bakteri yang hidup di dalam dan sekitar akar yang melepaskan CO2, proton dan elektron. P-MFC adalah sistem *bioelectrochemical* yang memungkinkan pengubahan energi sinar matahari melalui fotosintesis oleh tanaman menjadi energi kimia. Rhizodepositee yang dihasilkan diubah menjadi energi listrik dengan bantuan mikroorganisme (Lu *et al.,* 2015). Elektron yang dilepaskan adalah produk akhir dari proses metabolisme mikroba. Elektron dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik dengan menggunakan sistem elektroda. Pada penelitian ini, dipilih tiga sampel tanaman lahan basah untuk di uji coba, yaitu rumput teki (*Cyperus esculentus*), padi (*Oryza sativa*), dan kangkung (*Ipomoea reptans*). Tiga jenis tanaman ini merupakan jenis tanaman yang ketersediannya berlimpah di daerah Sumbawa serta mudah di peroleh. Selain itu, tanaman tersebut sangat mudah tumbuh sehingga sustainabilitas bahan baku dalam sistem ini akan terjamin. Teknologi ini sangat cocok digunakan di daerah 3T untuk mengatasi krisis listrik di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari – Maret 2020. Pengambilan sample tanaman (rumput teki, padi dan kangkung) dilakukan di area Universitas Teknologi

Sumbawa. Pengukuran daya listrik dan jumlah mikroba dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Teknobiologi Universitas Teknologi Sumbawa.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 3 jenis tanaman yaitu rumput teki (*Cyperus esculentus*), padi (*Oryza sativa*), dan kangkung (*Ipomoea reptans*), elektorda, multmeter, ember, lampu LED, cawan petri, agar NA, dan incubator.

Penelitian ini akan dilakukan dalam lima tahap seperti yang dijelaskan di bawah ini:

2.1. Persiapan tanaman.
Tanaman *Cyperus esculentus, Oryza sativa, Ipomoea reptans* digunakan sebagai sumber bahan organik dalam proyek ini. Tanaman ditanam di lahan basah di bawah sinar matahari agar dapat berfotosintesis. Tanaman tersebut ditumbuhkan di ember dengan ukuran yang sama. Tanah yang digunakan berasal dari lokasi asli tanaman.

2.2. Penyiapan sistem.
Semakin banyak bahan organik dan bakteri di akar, semakin banyak elektron yang dihasilkan. Elektron ini dapat dikumpulkan dalam sistem elektroda. Sistem dapat disiapkan dengan menempatkan anoda dekat akar dan katoda di dekat sisi ember. Elektron pada permukaan anoda akan mengalir ke katoda melalui kabel.

2.3. Bangun P-MFC.
Setelah membuat sistem, rangkaian listrik dibuat dengan menggabungkan 6 ember dalam satu sistem PMFC untuk mengoptimalkan jumlah elektron sehingga bisa menyalakan lampu. Setiap ember memiliki sistem katoda anoda mereka sendiri kemudian digabungkan untuk menyalakan lampu.

2.4. Pengukuran kelistrikan.
Listrik yang dihasilkan kemudian diukur dengan menggunakan multimeter yang mengukur voltase dan arus listrik.

2.5. Perhitungan populasi mikroba di sekitar akar tanaman.
Bakteri *rhizosphere* diisolasi dari tanah di sekitar akar dengan menggunakan metode pour plate. Tanah diencerkan secara bertahap kemudian dituangkan ke dalam cawan petri yang mengandung media agar (NA). Petri kemudian diinkubasi selama 48 jam. Koloni mikroba dihitung dengan menggunakan metode jumlah plat (TPC).

3. Hasil

Proyek ini telah berhasil dilakukan sampai membangun sistem P-MFC. Sistem yang menggunakan tanaman lahan basah sebagai sumber bahan organik, tanah, tembaga, seng, besi, travo, kabel dan lampu sebagai senyawa elektroda. Sistem diaplikasikan dalam wadah dengan partisi antara anoda (tanah) dan katoda (air). Namun, sistem

ini tidak berhasil diterapkan karena kita tidak bisa mengetahui partisi yang sesuai yaitu membran proton yang berperan sebagai membran semipermeabel untuk H +.

Percobaan pendahuluan juga dilakukan dengan memisahkan anoda dan katoda pada wadah yang berbeda. Anoda ditemptkan ke wadah dengan tanah dan tanaman sementara katoda ditempatkan ke wadah dengan hanya air. Hasilnya menunjukkan tegangan yang dihasilkan namun pengukuran dengan menggunakan metode ini tidak dalam satu sistem karena perbedaan suhu antara tanah dan air sehingga berpengaruh terhadap hasil voltase. Oleh karena itu sistem P-MFC yang kita gunakan diubah dengan bergabung anoda dan katoda dalam satu kontainer.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh data pengukuran tegangan pada system dapat dilhat di Tabel 1:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan

Jenis Tanaman	Hasil (Volt)			Tegangan rata-rata
	1	2	3	
Cyperus esculentus	5.81	5.51	5.58	5.63
Oryza sativa	5.68	5.67	5.67	5.67
Ipomoea reptans	5.51	5.43	5.43	5.46

Tabel 1 menunjukkan hasil pengkuran tegangan dari tiga jenis tanaman. Tiap tanaman diberikan perlakukan yang sama dengan pengulangan tiga kali. Berdasarkan data dalam Tabel 1, *O. sativa* menunjukkan hasil paling tinggi (5.67 Volt) diikuti oleh *C. esculentus* (5.63 Volt) dan *I. reptans* (5.46 Volt).

Tabel 2. Hasil Pengukuran Arus Listrik

Jenis Tanaman	Hasil (mA)			Arus Listrik rata-rata.
	1	2	3	
Cyperus esculentus	0.28	0.23	0.23	0.25
Oryza sativa	0.21	0.23	0.21	0.22
Ipomoea reptans	0.23	0.20	0.18	0.20

Arus listrik diukur dengan menambahkan dioda sebagai penyearah karena listrik yang dihasilkan adalah AC. Arus listrik tertinggi dihasilkan oleh *Cyperus esculentus* sebanyak 0,25 mA setelah 3 kali pengulangan, terlihat pada Tabel 2. Arus listrik juga meningkat dari rangkaian sirkuit ini.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Daya Listrik

Jenis Tanaman	Tegangan (Volt)	Arus Listrik (mA)	Daya Listrik (mW)
Cyperus esculentus	5.63	0.25	1.4075
Oryza sativa	5.67	0.22	1.2474
Ipomoea reptans	5.46	0.20	1.0920

Dari hasil yang tertera pada Tabel 3 dapat dihtung daya listrik yang dihasilkan dari sistem. Tenaga tertinggi dihasilkan oleh tanaman *Cyperus esculentus* sebanyak 1.4075 mW. Lampu ini berhasil dihidupkan dengan cahaya terang dengan menggunakan tenaga yang dihasilkan dari rangkaian rangkaian listrik dari semua jenis tanaman. Lampu menjadi indikator jika sistem ini berhasil menghasilkan listrik.

Tabel 4. Populasi Mikroba

Jenis Tanaman	Populasi Mikroba (Sel/mL)
Cyperus esculentus	82 x 108
Oryza sativa	78 x 108
Ipomoea reptans	42 x 108

Sebagai data pendukung, penelitian mengenai isolasi mikroba dari tanah di dekat akar tanaman telah dilakukan. Hasil penelitian pada Tabel 4 menunjukkan bahwa populasi mikroba di sekitar *Cyperus esculentus* sekitar 82 x 108 sel / mL, diikuti oleh *Ipomoea reptans* sebanyak 78 x 108sel / mL, dan *Oryza sativa* sebanyak 4,2 x 108 sel / mL.

4. Pembahasan

Penemuan energi terbarukan berbasis biomassa seperti biofuel dan biodiesel sejak beberapa dekade, pada awalnya diharapkan dapat memecahkan masalah energi, namun diketahui mengancam produksi pangan. *Plant - Microbial Fuel Cell* (P-MFC) mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan bantuan mikroorganisme melalui oksidasi senyawa organik dan pengendapan bahan organik oleh tanaman menjadi rizhosfere yang dikenal dengan rizodeposite.

Sistem MFC sederhana terdiri dari dua elektroda, yaitu anoda dan katoda. Anoda dan katoda adalah substrat untuk oksidasi dengan reduksi oksigen, dan keduanya dipisahkan oleh membran proton. Dalam kondisi anaerobik, elektron dan proton diproduksi dari substrat organik oleh bakteri yang menempel pada anoda. Begitu aliran elektron dan proton menyebar melalui sirkuit eksternal dan setiap membran ke katoda bereaksi dengan oksigen membentuk air (Rabaey dan Verstraete, 2005, di Nwokocha, JF, *et al.,* 2012).

Mikroba yang bisa digunakan sebagai sel bahan bakar mikroba adalah *Shewanella putrefaciens, Geobacter sulferreducens, G. etalli reducens and Rhodoferax ferrireducens* (Sengodan *et al.,* 2012). Menurut Aelterman, 2009; Clauwaert, 2007; Cheng et al, 2007; Min dan Logan, 2004; Morozanet al, 2007, reaksi yang terjadi pada P-MFC adalah:

$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \leftrightarrow 6CO_2 + 12H_2O$

Namun dalam kondisi anaerobik, karbon dioksida, proton, dan elektron dihasilkan karena oksigen tidak tersedia untuk memilih elektron ($C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \leftrightarrow 6CO_2 + 24H + 24e$-).

Rhizodepositee mengandung bahan organik yang tersimpan sebagai karbohidrat, asam lemak, asam amino sehingga bisa pecah dan menghasilkan produk dalam bentuk elektron. Dalam P-MFC, rhizodepositee tanaman akan dimanfaatkan sebagai substrat oleh bakteri rizhosfer untuk menghasilkan listrik (Strik *et al.,* 2008).

Hasil pengukuran populasi mikroba pada Tabel 4 menunjukkan jumlah populasi mikroba di dalam tanah berpengaruh terhadap produksi listrik karena peran mikrobial sebagai agen metabolisme eksudat di sekitar akar kemudian mengubahnya menjadi elektron yang tertangkap oleh sistem elektroda.
Hasil potensi listrik tanpa pemanenan lahan adalah 5.800 kWh ha / tahun (Strik *et al.,* 2008). Helder *et al.* (2012) juga memperkirakan bahwa P-MFC bisa menghasilkan 3,2 W / m2 di Eropa Barat. Hal ini didasarkan pada radiasi matahari sebesar 150 W / m2, efisiensi fotosintesis 5%, rhizodeposit 70% dan 60% pemulihan energi di MFC.

Pada penelitian ini, enam ember dengan luas permukaan sebesar 0,000330 m2 digunakan sebagai wadah. Jika menggabungkan enam ember tersebut, maka total luas permukaan akan menjadi 0,00198 m^2. Tenaga listrik yang dihasilkan dari enam ember *Cyperus esculentus* adalah 0,00141 Watt, sehingga sistem P-MFC dapat menghasilkan listrik sekitar 0,7121 W / m2. Dari data ini dapat diperkirakan bahwa sistem P-MFC saat diterapkan pada area seluas satu hektare, maka akan menghasilkan sekitar 7.151 Watt. Jumlah listrik dalam percobaan ini lebih tinggi dibandingkan dengan Striket *et al*. (2008) yang telah mencapai output daya maksimum 0,067 W / m2, sedangkan Timmers *et al.* telah mencapai 0,1 W / m2 pada tahun 2010.

5. Kesimpulan

Menurut percobaan yang telah dilakukan, tanaman lahan basah dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik menggunakan P-MFC dengan mengkonversi rhizodeposit oleh bakteri rhizosfer. Hasil penelitian menunjukkan *Cyperus esculentus* menghasilkan listrik sebesar 0,7121 W / m2, namun tegangan yang dihasilkan oleh satu ember P-MFC masih belum cukup untuk menyalakan lampu LED, sehingga perlu menggunakan rangkaian sirkuit listrik. Dibutuhkan minimal tiga ember P-MFC dengan rangkaian seri untuk menyalakan sebuah lampu. Penggunakan teknologi alternatif dengan memanfaatkan system P-MFC untuk menghasilkan listrik tergantung jenis tanaman dan luas lahan basah yang digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Progam Studi Manajemen Inovasi, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Teknologi Sumbawa dan Fakultas Teknobiologi Universitas Teknologi Sumbawa yang telah membantu dalam penyediaan fasilitas untuk pelakanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Haryono, Y., Hoiri, A., Ashriyah, N., & Wulansari, F. I. (2010). *Teknologi Sampah Plastik Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Tenaga Uap*.

Helder, M. (2012). *Design criteria for the Plant-Microbial Fuel Cell Electricity generation with living plants – from lab to application*.

Lu, L., Xing, D., & Ren, Z. J. (2015). Microbial community structure accompanied with electricity production in a constructed wetland plant microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, *195*, 115–121. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.098

Nwokocha, J. V, Nwokocha, J., & Nnanna, A. (2012). The Microbial Fuel Cell: The Solution to the Global Energy and Environmental Crises? *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, *1*(1), 2226–6348. https://doi.org/10.1080/13548501003615274.; ID: 341\r10.1080/13548501003615274

Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cells: Novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology*, *23*(6), 291–298. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008

Sengodon, P., & Hays, D. B. (2012). *Microbial Fuel Cells Future Fuel Technologies, National Petroleum Council (NPC) Study*.

Strik, D. P. B. T. B., Hamelers (Bert), H. V. M., Snel, J. F. H., & Buisman, C. J. N. (2008). Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal of Energy Research*, *32*(9), 870–876. https://doi.org/10.1002/er.1397

Suara.com. (2019). *2.500 Desa di Pelosok Indonesia Masih Gelap Gulita Tanpa Listrik*. https://www.suara.com/bisnis/2019/04/04/153648/2500-desa-di-pelosok-indonesia-masih-gelap-gulita-tanpa-listrik

Tempo.co. (2016). *Separuh Desa di Indonesia Belum Teraliri Listrik*. https://bisnis.tempo.co/read/772892/separuh-desa-di-indonesia-belum-teraliri-listrik

Timmers, R. A., Rothballer, M., Strik, D. P. B. T. B., Engel, M., Schulz, S., Schloter, M., Hartmann, A., Hamelers, B., & Buisman, C. (2012). Microbial community structure elucidates performance of glyceria maxima plant microbial fuel cell. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *94*(2), 537–548. https://doi.org/10.1007/s00253-012-3894-6

Timmers, R. A., Strik, D. P. B. T. B., Hamelers, H. V. M., & Buisman, C. J. N. (2010). Long-term performance of a plant microbial fuel cell with Spartina anglica. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *86*(3), 973–981. https://doi.org/10.1007/s00253-010-2440-7

Timmers, R. A., Strik, D. P. B. T. B., Hamelers, H. V. M., & Buisman, C. J. N. (2013). Electricity generation by a novel design tubular plant microbial fuel cell. *Biomass and Bioenergy*, *51*, 60–67. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.01.002