

Kemampuan Mikroba Rizosfir dalam Menghasilkan Biolistrik

Nadira^{1)*}, Vanessa Cinta Efandri¹⁾, Irdawati¹⁾

¹⁾Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Air Tawar Barat, Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat, 25171

*Email: amirakunxiaomi@gmail.com

ABSTRACT

Energy needs in Indonesia and the world in general continue to increase due to population growth, economic growth, and the influence of energy consumption patterns. Fuel cells are one alternative that can be used to overcome this increase in energy. The principle is that organic substrates are broken down by microorganisms into proton ions and electrons. Due to the potential difference, these ions can produce electricity. This study aims to analyze the potential of rhizosphere microbes in producing bioelectricity in peanuts (*Arachis hypogaea*) and oil palm (*Elaeis guinensis* Jacq). The method used in this study is a descriptive method, using a Completely Randomized Design with 8 treatments consisting of control, 2 hours, 4 hours, 6 hours, 8 hours, 10 hours, 12 hours and 14 hours in duplicate. The results showed that the bacteria in the peanut and oil palm rhizospheres that were successfully isolated were peanut rhizosphere microbes including gram-positive bacteria, with bacillus and coccus forms, with the number of colonies being 19×10^5 CFU/ml and 20×10^5 CFU/ml. Meanwhile, oil palm rhizosphere microbes include gram-negative bacteria with a bacillus shape, with the number of colonies being 6×10^5 CFU/ml and 8×10^5 CFU/ml. Peanut and oil palm rhizosphere microbes have quite large potential in producing electrical energy as indicated by the voltage test of the rhizosphere microbes which produced the highest value, namely peanut rhizosphere microbes in treatment 14, namely 496 mV and oil palm in treatment 10, namely 180,5 mV.

Kata kunci: Bacteria, MFC, Peanuts, Rhizosphere, Oil Palm

ABSTRACT

Kebutuhan energi di Indonesia dan dunia umumnya terus meningkat karena adanya penambahan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pengaruh pola konsumsi akan energi. *Fuel cell* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi peningkatan energi tersebut. Prinsipnya adalah substrat organik dirusak oleh mikroorganisme menjadi ion proton dan elektron. Karena perbedaan potensial, ion-ion tersebut dapat menghasilkan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi mikroba rizosfir dalam menghasilkan biolistrik pada kacang tanah (*Arachis hypogaea*) dan sawit (*Elaeis guinensis* Jacq). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif, menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 8 perlakuan terdiri dari kontrol, 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam, 12 jam dan 14 jam secara duplo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri pada rizosfir kacang tanah dan sawit yang berhasil diisolasi yaitu mikroba rizosfir kacang tanah termasuk bakteri gram positif, dengan bentuk basil dan coccus, dengan jumlah koloni yaitu 19×10^5 CFU/ml dan 20×10^5 CFU/ml. Sedangkan mikroba rizosfir sawit termasuk bakteri gram negatif dengan bentuk basil, dengan jumlah koloni yaitu 6×10^5 CFU/ml dan 8×10^5 CFU/ml. Mikroba rizosfir kacang tanah dan sawit memiliki potensi yang cukup besar dalam menghasilkan energi listrik yang ditandai dengan pengujian tegangan mikroba rizosfir tersebut yang menghasilkan nilai tertinggi yaitu mikroba rizosfir kacang tanah pada perlakuan 14 yaitu 496 mV dan sawit pada perlakuan 10 yaitu 180,5 mV.

Kata kunci: Bakteri, MFC, Kacang Tanah, Rizosfir, Sawit

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia dan dunia terus meningkat karena adanya penambahan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pengaruh pola konsumsi akan energi. Sumber energi yang digunakan secara luas saat ini masih berasal dari sumber-sumber *non-renewable*, dengan konsumsi terbesar mencakup energi fosil dan energi nuklir. Indonesia merupakan negara dengan kebutuhan energi terbesar di Asia Tenggara dan ketiga terbesar di dunia, dengan konsumsi total energi primer mencapai 8,1 EJ (*exajoules*) pada tahun 2020. Sebagian besar kebutuhan energi di Indonesia digunakan untuk pembangkit listrik dan pengangkutan (Prambudi *et al.*, 2023).

Masalah tersebut perlu dicarikan solusi dengan inovasi tepat guna dengan mencari potensi energi terbarukan untuk masa depan energi listrik Indonesia. *Fuel cell* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi peningkatan energi. Sistem ini bersifat ramah lingkungan, karena tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, bahkan dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah. Proses yang terjadi di dalam *fuel cell* merupakan kebalikan dari elektrolisis, yaitu hidrogen dan oksigen direaksikan dalam sel untuk memproduksi air dan arus listrik (Sitorus, 2010). Unit dasar dari *fuel cell* yaitu terdiri dari dua elektroda yaitu anoda dan katoda, bahan bakar, dan elektrolit. Anoda merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi, sedangkan katoda merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi.

Penggunaan baterai dengan *MFC (Micro-Fuel Cell)* yang ramah lingkungan dapat membantu meminimalisir karbon yang rendah. *MFC* adalah teknologi yang mengubah bahan bakar, seperti gas hidrogen, menjadi tenaga listrik yang dapat digunakan untuk memuat baterai. Karena *MFC* mengubah bahan bakar langsung menjadi tenaga listrik, proses pembuatan dan penggunaan tidak menghasilkan karbon yang rendah seperti dalam proses pembuatan baterai konvensional. Sehingga penggunaan baterai dengan *MFC* dapat meminimalisir emisi karbon yang berasal dari industri pembuatan dan penggunaan baterai konvensional (Sulistiyawati *et al.*, 2020).

Sistem pembangkit listrik berbasis bioelektrokimia menggunakan sel bahan bakar mikro (*MFC*), yang memanfaatkan mikroorganisme yang ada di alam. *MFC* mengubah bahan organik menjadi ion negatif dan positif. Hal ini adalah ion yang akan dikonversi menjadi energi listrik (Zulfikar, 2021). *Cell* bahan bakar mikro (*MFC*) menggunakan kemampuan metabolisme mikroorganisme untuk mengubah energi kimia menjadi listrik. Substrat organik dirusak oleh mikroorganisme menjadi ion proton dan elektron. Karena perbedaan potensial, ion-ion tersebut dapat menghasilkan listrik. Berdasarkan desain ruangnya jenis *MFC* dibagi menjadi tiga jenis yaitu dua ruang, satu ruang, dan ruang *stack*.

Rizosfir adalah daerah perakaran yang merupakan ekosistem paling penting pada bagian tanah. Setiap rizosfir pada tanaman dalam suatu ekosistem memiliki berbagai jenis mikroorganisme (Asril & Lisafitri, 2020). Rizosfir terdiri dari tiga generasi bakteri yaitu *Neisseria*, *Pseudomonas*, dan *Rhizobium*. *Neisseria* adalah bakteri yang biasa ditemukan di tanah, tetapi tidak termasuk bakteri penambat nitrogen. *Pseudomonas* adalah bakteri penambat nitrogen yang biasa ditemukan pada rizosfir (Singh *et al.*, 2020). Sedangkan *Rhizobium* biasanya bersimbiosis dengan akar tanaman kacang tanah dan menghasilkan bintil akar yang aktif. Selain itu, Berbagai isolat seperti *Pseudomonas sp.*, *Azospirillum sp.*, *Azotobacter sp.*, *Enterobacter sp.*, *Bacillus sp.*, *Brevibacillus sp.*, dan *Burkholderia sp.*, dan *Serratia sp.* diketahui berfungsi sebagai PGPB yang ditemukan pada perakaran tanaman kelapa sawit (Nor, 2020).

Untuk mengetahui potensi energi listrik pada bakteri yang berada disekitar perakaran yang dihasilkannya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Adapun pada penelitian yang akan dilakukan ini adalah analisis potensi mikroba rizosfir dalam menghasilkan biolistrik pada kacang tanah dan sawit. Sehingga diharapkan penelitian ini mampu memberikan informasi tentang jenis dan jumlah mikroba pada rizofir tersebut dan menganalisis bagaimana potensi mikroba rizosfir tersebut dalam menghasilkan energi listrik yang stabil dan optimal serta menjadikan sistem *MFC* yang akan dibuat mampu berperan sebagai energi yang ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada tanggal 21 April - 3 Mei 2024 di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif. Dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yaitu mikroba rizosfir tanah sawit dan kacang tanah, dengan 8 perlakuan terdiri dari kontrol, 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam, 12 jam dan 14 jam secara duplo. Alat yang digunakan adalah gelas ukur, *beaker glass*, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, erlenmeyer, lampu bunsen, spatula, *vortex*, timbangan digital, jarum ose, *hot plate*, pipet tetes, *autoclave*, *magnetic stirrer*, label, elektroda (*plat zinc 2x3 cm* dan plat tembaga), kabel jepit buaya, botol kaca 250 ml, multimeter digital, tali sumbu, lakban hitam/electrical tape, lem pipa PVC, tembaga, dan kabel tembaga. Bahan yang digunakan adalah alat tulis, mikroba rizosfir kacang tanah dan sawit, medium Nutrient Agar, label, akuades, Alkohol 70%, kapas, tisu, plastik kaca, dan *aluminium foil*.

Pengambilan Mikroba Rizosfer

Mikroba rizosfir diambil dari tanah yang berada di sekitar perakaran kacang tanah dan sawit. Tanah yang digunakan adalah berada pada pangkal batang tanaman dengan jarak $\pm 0,5$ cm dari permukaan tanah, dilukai membujur dengan panjang ± 1 cm dan kedalaman ± 2 mm.

Sterilisasi Alat

Sebelum disterilisasi, alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian dicuci hingga bersih dan dikeringkan. Kemudian *petridish* dan gelas ukur dibungkus dengan kertas koran dan dimasukkan ke dalam plastik kaca. Melakukan sterilisasi alat dengan *autoclave* pada suhu 121°C pada tekanan 15 psi selama 15 menit. Alat yang terbuat dari logam seperti jarum ose disterilisasi menggunakan pijar api sampai berwarna merah.

Pembuatan Medium Nutrient Agar (NA)

Sebanyak 10 gram Nutrient Agar (NA) dilarutkan dengan akuades hingga volume 500 ml dalam beaker glass steril dan dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga mendidih. Medium NA dituang ke dalam *erlenmeyer* steril dan ditutup menggunakan kapas dan *aluminium foil*. Medium disterilisasi dalam *autoclave* pada suhu 121°C tekanan 15 psi selama 15 menit untuk mencegah kontaminasi.

Regenerasi Sampel

Mengisolasi sampel rizosfer yang diambil dari tanah tanaman sawit dan kacang tanah, lalu dilakukan pengenceran pada 10^{-5} dan 10^{-6} , yang kemudian diinokulasikan ke dalam Nutrient Agar (NA) untuk mengetahui pertumbuhan bakteri yang terdapat didalamnya. Diinkubasi pada suhu ruang selama 3 hari. Proses pengamatan dan identifikasi dilakukan melalui 2 cara yaitu secara makroskopis dan mikroskopis yaitu pewarnaan gram.

Persiapan Bioreaktor MFC

Menurut Nugroho (2020), terdapat 3 tahapan yaitu:

1) Tahap Konstruksi MFC

Fermentasi bakteri rizosfir dilakukan di dalam Bioreaktor yang dirangkai. Dipersiapkan 2 tabung kaca menggunakan reaktor *dual chamber*, yang terbagi antara kompartemen katoda dan anoda. Kompartemen anoda diisi dengan fermentasi rizosfir tanaman sawit dan kacang tanah, sedangkan kompartemen katoda diisi dengan akuades.

2) Preparasi Elektroda

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

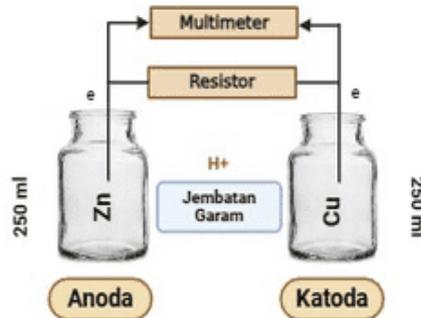
3) Preparasi Jembatan Garam

Pembuatan jembatan garam menggunakan sumbu kompor berukuran 12 cm yang direndam kedalam larutan NaCl 1 mol pada air mendidih Konstruksi sistem MFC dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengamatan dan Analisis Data

Perhitungan energi listrik di ukur dengan alat multimeter digital dalam satuan miliVolt (mV) yang hasilnya bisa dibaca secara langsung di layar multimeter digital,

pengukuran dilakukan setiap 2 jam sekali selama 16 jam. Analisis data dilakukan secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk gambar dan tabel.



Gambar 1. Skema Rangkaian *MFC* (Parkash, 2015)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

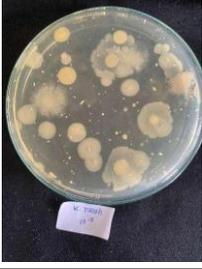
Isolasi Bakteri

Berdasarkan hasil isolasi bakteri rizosfir dari perakaran kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) dan sawit (*Elaeis guineensis*) diperoleh isolat bakteri sejumlah 2 isolat pada setiap jenis rizosfir. Hasil perhitungan jumlah bakteri rizosfir dari perakaran kacang tanah diperoleh berturut turut adalah 19×10^5 CFU/mL dan 20×10^5 CFU/mL. Sedangkan hasil perhitungan jumlah bakteri rizosfir dari perakaran sawit diperoleh berturut turut adalah 6×10^5 CFU/mL dan 8×10^5 CFU/mL. Jumlah isolat bakteri yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya. Irfan, (2022), berhasil mengisolasi isolat mikroba dari sawit, dimana ia memperoleh rerata jumlah bakteri dalam perkebunan kelapa sawit berusia tiga tahun, jumlah bakteri tertinggi ditemukan di permukaan tanah, pada kedalaman 0 cm, yang mencakup $1,16 \times 10^5$ CFU/mL. Kedalaman paling rendah terjadi pada 100 cm, sehingga tidak ada bakteri yang tumbuh di cawan petri.

Karakterisasi Mikroskopis dan Makroskopis Bakteri

Karakterisasi makroskopis isolat yang diperoleh dilakukan dengan mengamati bentuk koloni, warna koloni, permukaan koloni, dan tepi koloni. Secara umum bentuk koloni yang diperoleh yaitu bulat (kacang tanah dan sawit isolat U₁) dan tidak beraturan (kacang tanah dan sawit isolat U₂). Koloni bakteri sebagian besar berwarna (isolat kacang tanah), dan putih (isolat sawit). Permukaan koloni yang diperoleh meliputi convex (kacang tanah dan sawit isolat U₁), dan umbonate (kacang tanah dan sawit isolat U₂). Tepi koloni yang diperoleh meliputi entire (kacang tanah dan sawit isolat U₁), dan lobate (kacang tanah dan sawit isolat U₂). Deskripsi koloni isolat bakteri dapat dilihat pada Tabel 1.

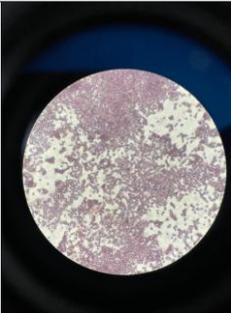
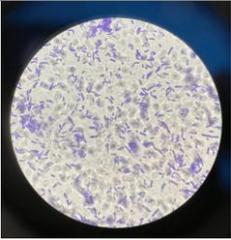
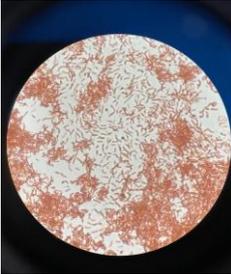
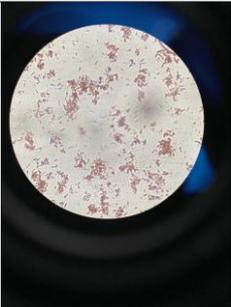
Tabel 1. Hasil Identifikasi Mikroba Rizosfir secara Makroskopis

Jenis Tanah	Gambar	Elevasi	Margin	Jumlah Bakteri
Kacang Tanah		Convex	Entire	1.900.000
		Umbonate	Lobate	2.000.000
Sawit		Convex	Entire	600.000
		Umbonate	Lobate	800.000

Karakterisasi mikroskopis dilakukan dengan pewarnaan gram dan diamati dibawah mikroskop dengan perbesaran hingga 400X. Pewarnaan gram bertujuan untuk membedakan bakteri yang terbagi menjadi dua kelompok yaitu bakteri gram positif dan gram negatif. Berdasarkan hasil dari pewarnaan gram (Tabel 2) diperoleh dua isolat bakteri gram positif berbentuk bulat (coccus) dan batang (basil), yaitu bakteri isolat kacang tanah (U_1 dan U_2). Sedangkan terdapat dua isolat bakteri gram negatif berbentuk batang (basil), yaitu bakteri isolat sawit (U_1 dan U_2). Bakteri gram positif mempertahankan warna ungu setelah ditetesi reagen kristal violet, sedangkan bakteri gram negatif akan berwarna merah akibat efek pencucian dengan alkohol 95% dapat meningkatkan porositas dinding sel dengan melarutkan lipid bagian luar sehingga dinding sel mudah dihilangkan dari lapisan peptidoglikan yang tidak tertaut dengan

kuat (Bambang *et al.*, 2014). Pewarnaan bakteri adalah metode yang digunakan untuk membuat bakteri lebih mudah dilihat dengan mikroskop, memperjelas ukuran dan bentuknya, mengetahui sifat fisik dan kimia yang unik dari bakteri dengan zat warna, dan meningkatkan kontras mikroorganisme di sekitarnya. Deskripsi pewarnaan bakteri dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Identifikasi Mikroba Rizosfir secara Mikroskopis

Jenis Tanah	Gambar	Bakteri Gram	Bentuk	Susunan
Kacang Tanah		Positif	Coccus	Streptococcus
		Positif	Basil	Streptobacil
Sawit		Negatif	Basil	Streptobacil
		Negatif	Basil	Streptobacil

Dari empat isolat bakteri rizosfir kacang tanah dan sawit yang berhasil diisolasi dilakukan pengukuran voltase dengan menggunakan multimeter digital, setelah inkubasi 16 jam dan pengukuran setiap 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

rizosfir kacang tanah dan sawit memiliki potensi yang cukup besar dalam menghasilkan energi listrik hal ini ditandai dengan pengujian tegangan rizosfir tersebut yang menghasilkan nilai tertinggi berturut-turut pada setiap rizosfir yaitu kacang tanah sebesar 496 mV jam ke 14. Lalu diikuti oleh produksi energi listrik pada perlakuan yang ke 2, perlakuan yang ke 12, perlakuan yang ke 10, perlakuan yang ke 8, perlakuan yang ke 4, dan perlakuan yang ke 6. Keempat perlakuan ini memiliki kadar energi listrik lebih rendah sedikit dibandingkan perlakuan yang ke 9. Sedangkan sawit menghasilkan energi listrik tertinggi adalah perlakuan 10 pada nilai 180,5 mV. Lalu diikuti oleh produksi energi listrik pada perlakuan yang ke 8, perlakuan yang ke 14, perlakuan yang ke 12, perlakuan yang ke 4, perlakuan yang ke 6, dan perlakuan yang ke 1. Keempat perlakuan ini memiliki kadar energi listrik lebih rendah sedikit dibandingkan perlakuan yang ke 9. Sedangkan nilai voltase paling rendah masing-masing rizosfir terdapat pada pengukuran pertama atau kontrol yaitu 214,5 mV dan perlakuan ke-2 yaitu 58,5 mV (Tabel 3).

Tabel 3. Rerata Hasil Mikroba Rizosfir dalam Menghasilkan Biolistrik (mV)

Perlakuan (Jam)	Rerata Rizosfir dalam Menghasilkan Biolistrik (mV)	
	Kacang Tanah	Sawit
Kontrol	214,5	60
2	389,5	58,5
4	264,5	78,5
6	231	73
8	313	169,5
10	334,5	180,5
12	353,5	158
14	496	159,5

Sistem pembangkit listrik berbasis bioelektrokimia menggunakan sel bahan bakar mikro, atau *MFC*, yang menggunakan organisme mikro yang tersedia di alam untuk mengubah senyawa organik menjadi ion positif dan negatif. Ion-ion ini kemudian diubah menjadi energi listrik. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bakteri pada rizosfir adalah bakteri aerob. Bakteri aerob termasuk dalam bakteri rizosfir sawit dan kacang tanah, yang membutuhkan oksigen untuk hidup dan mendapatkan oksigen dari udara atau air. Bakteri aerob juga memainkan peran penting dalam proses daur ulang nutrisi di tanah, menguraikan bahan organik menjadi nutrisi yang dapat digunakan oleh tanaman.

Beberapa mikroorganisme telah diidentifikasi yang dapat memediasi transfer elektron ke akseptor atau elektroda elektron yang larut atau tidak larut dengan mengeluarkan angkutan elektron yang dapat larut, misalnya *Shewanella oneidensis*,

Pseudomonas aeruginosa dan *Geothrix fermentans*, dan lainnya. Bakteri rizosfer tanaman sawit berasal dari kelompok Acidobacteria, Actinobacteria, Bacteroidates, Chloroflexi, Firmicutes, Gemmatimonadates, Nitrospirae, Proteobacteria, dan Thermotogae, menurut penelitian sebelumnya di Bukit Dua Belas dan Hutan Harapan (Schneider *et al.*, 2015).

Dengan menjaga tekstur tanah tetap stabil, bakteri rizosfer dapat mempengaruhi siklus nutrisi dan ketersediaan nutrisi tanaman, melindungi tanaman dari infeksi bakteri patogen (terutama di daerah perakaran), dan menghasilkan hormon pertumbuhan seperti *indole acetic acid*, pelarut fosfat, dan pengikat nitrogen (Susilawati *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil penelitian potensi rizosfir sawit lebih rendah dibandingkan dengan kacang tanah. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu pH tanah yang lebih rendah, kandungan bahan organik yang lebih rendah, dan ketersediaan nutrisi yang lebih sedikit. Karena aktivitas mikroba yang lebih rendah, lebih sedikit proton dan elektron dilepaskan ke tanah, sehingga voltase rizosfir menurun.

Selain itu, akar sawit mengeluarkan lebih sedikit senyawa organik daripada akar kacang tanah, senyawa organik ini dapat membantu meningkatkan voltase rizosfir dengan memberikan elektron. Akar sawit memiliki tingkat respirasi yang lebih tinggi daripada akar kacang tanah, yang dapat menyebabkan voltase rizosfir turun karena respirasi akar menghasilkan proton dan karbon dioksida. Voltase rizosfir juga dapat dipengaruhi oleh jenis tanah. Rizosfir sawit lebih sering ditemukan di tanah liat, sedangkan rizosfir kacang tanah lebih sering ditemukan di tanah berpasir. Hal ini karena kapasitas penyangga tanah liat yang lebih tinggi, yang memungkinkannya menahan lebih banyak proton dan elektron.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri pada rizosfir kacang tanah dan sawit yang berhasil diisolasi yaitu mikroba rizosfir kacang tanah termasuk bakteri gram positif, dengan bentuk basil dan coccus, dengan jumlah koloni yaitu 19×10^5 CFU/mL dan 20×10^5 CFU/mL. Sedangkan mikroba rizosfir sawit termasuk bakteri gram negatif dengan bentuk basil, dengan jumlah koloni yaitu 6×10^5 CFU/mL dan 8×10^5 CFU/mL. Mikroba rizosfir kacang tanah dan sawit memiliki potensi yang cukup besar dalam menghasilkan energi listrik yang ditandai dengan pengujian tegangan mikroba rizosfir tersebut yang menghasilkan nilai tertinggi yaitu mikroba rizosfir kacang tanah pada perlakuan 14 yaitu 496 mV dan sawit pada perlakuan 10 yaitu 180,5 mV.

REFERENSI

Aisyah, S., Hadija, S., & Nirawati, N. 2022. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Aren (*Arenga Pinnata* (Wurb) Merr). *Jurnal Eboni*. 4(2): 64-70.

- Azis, H. A., Ardiansa, A., & Purnama, R. K. 2022. Treatment of Eceng Gondok Waste into Electrical Based on Microbial Fuel Cell. *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*. 9: 89-95.
- Fany Laila, S. A. F. I. T. R. I. 2023. Residu N-Total Dan P-Tersedia Di Rizosfer Kacang Tanah (*Arachis Hypogaea* L.) Yang Ditanam Pada Berbagai Kadar Lemas Tanah Diberi Kompos Baglog Jamur (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Fu, Q., Kobayashi, H., Kawaguchi, H., Vilcaez, J., dan Sato, K. 2013. Identification of new microbial mediators for electromethanogenic reduction of geologically-stored carbon di- oxide. *Energy Procedia*. 37: 7006-7013.
- Hermayanti, A., dan Nugraha, I. 2014. Potensi perolehan energi listrik dari limbah cair industri tahu dengan metode salt bridge *Microbial Fuel Cell. Sains Dasar*. 3(2): 162-168.
- Hidayat, F., Yudhistira, Y., Pane, R. D. P., Sapalina, F., Listia, E., & Winarna, W. 2023. Evaluasi *Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB)* Indigenus Perakaran Kelapa Sawit Pada Pembibitan Kelapa Sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*. 31(1): 43-54.
- Imtiyaz, A. N., & Octavia, B. 2023. Identifikasi Bakteri Pada Bintil Akar Aktif Dan Tidak Aktif Serta Rhizosfer Kacang Tanah. *Kingdom (The Journal of Biological Studies)*. 9(1): 63-74.
- Irfan, M. 2014. Isolasi dan enumerasi bakteri tanah gambut di perkebunan kelapa sawit PT. Tambang Hijau Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar. *Jurnal Agroteknologi*. 5(1): 1-8.
- Istikorini, Y., & Budiman, T. 2023. Uji Potensi Mikrob Rizosfer sebagai Pengendali Hayati Penyebab Penyakit Tanaman. *Journal of Tropical Silviculture*. 14(03): 242-249.
- Kumar, R., Singh, L., & Wahid, Z. A. 2015. Role of microorganisms in microbial fuel cells for bioelectricity production. *Microbial Factories: Biofuels, Waste treatment*. Volume 1: 135-154.
- Pambudi, N. A., Firdaus, R. A., Rizkiana, R., Ulfa, D. K., Salsabila, M. S., Suharno, & Sukatiman. 2023. Renewable energy in Indonesia: current status, potential, and future development. *Sustainability*. 15(3): 2342.
- Parkash, A. 2015. Design and Fabrication of a Double Chamber *Microbial Fuel Cells* for Voltage Generation from Biowaste. *Bioprocessing & Biotechniques*. 5(8): 1-4.
- Patil, V., Tran, K. Q., & Gislerød, H. R. 2008. Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences*. 9(7): 1188-1195.
- Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., and Ieropoulos, I. 2017. *Microbial Fuel Cells: From fundamentals to applications. A review*. *Journal of power sources*. 356: 225-244.
- Sastrahidayat, I. R. 2012. *Pengendalian Hayati dan Penyakit Tumbuhan Cara Uji Laboratorium*. Universitas Brawijaya Press.
- Shaikh, R., Rizvi, A., Quraishi, M., Pandit, S., Mathuriya, A. S., Gupta, P. K., ... & Prasad, R. 2021. Bioelectricity production using plant-microbial fuel cell: Present state of art. *South African journal of botany*. 140: 393-408.
- Siswanti, A. C. 2016. Pengaruh Variasi Optical Density Bakteri *Bacillus subtilis* Terhadap Efisiensi Listrik *Microbial Fuel Cell*. *Unesa Journal of Chemistry*. 5(3).

- Sitorus, B. 2010. Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba. *Jurnal ELKHA Universitas Tanjungpura*. 2(1):1-5.
- Susilawati., Budhisurya, E., Anggono, R. C. W., & Simanjuntak, B. H. 2016. Analisis kesuburan tanah dengan indikator mikroorganisme tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Plateau Dieng. *Jurnal Ilmu Pertanian (Agric)*. 25(1): 64.
- Sulistiyawati, I., Rahayu, N. L., & Purwitaningrum, F. S. 2020. Produksi Biolistrik menggunakan *Microbial Fuel Cell (MFC) Lactobacillus bulgaricus* dengan Substrat Limbah Tempe dan Tahu. *Majalah Ilmiah Biologi BIOSFERA: A Scientific Journal*. 37(2): 112-117.
- Syamsuri, R. R. P., Pribadi, T. D. K., & Rosada, K. K. 2021. Pemanfaatan *Microbial Fuel Cell* untuk Mengatasi Pencemaran Lingkungan dan Menghasilkan Mikroenergi. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*. 19(1): 28-35.
- Tamakloe, R. Y., Opoku-Donkor, T., & Agamasu, H. 2015. Comparative study of Double Chamber *Microbial Fuel Cells (DC-MFCs)* using Mfensi clay as ion exchange partition: effect of pot size.
- Verma, J., Kumar, D., Singh, N., Katti, S. S., & Shah, Y. T. 2021. Electricigens and *Microbial Fuel Cells* for bioremediation and bioenergy production: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 19(3): 2091-2126.
- Zulfikar, E. S. 2021. Produktivitas Listrik *Microbial Fuel Cell* Pada Substrat Limbah Air Rebusan Mie Instan. *Jtam Rotary*. 3(1): 69-80.