

POPULASI DAN ISOLASI BAKTERI *ELECTRICIGEN* BIOFILM ANODA DAN KATODA PADA SISTEM MICROBIAL FUEL CELL (MFC)

Jesica Margaretha Sitorus^a, Ida Bagus Gede Darmayasa^{b*}, Yustian Rovi Alfiansah^c

^{a,b} Program Studi Biologi, Universitas Udayana

^cLaboratorium Bakteriologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Kabupaten Bogor

*email: darmayasa@unud.ac.id

Abstrak. Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan teknologi bioelektrokimia yang mampu mengonversi energi kimia menjadi energi listrik melalui aktivitas metabolisme mikroorganisme. Mikroorganisme yang berperan dalam proses ini dikenal sebagai bakteri *electricigen*. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bakteri *electricigen* yang berasal dari sedimen mangrove *Avicennia marina*. Metode penelitian meliputi pengambilan sampel biofilm, isolasi bakteri menggunakan media Marine Agar (MA), dilanjutkan dengan uji kultivasi bakteri. Hasil penelitian diperoleh 30 isolat bakteri murni dan tunggal dengan beragam morfologi koloni. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan serta pemanfaatan bakteri *electricigen* pada sistem MFC, khususnya dalam pengelolaan limbah organik dan limbah pertanian.

Kata Kunci: : Isolasi, Bakteri, *electricigen*, anoda, katoda

PENDAHULUAN

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan sistem bioelektrokimia yang memanfaatkan aktivitas metabolik mikroorganisme untuk mengonversi energi kimia yang tersimpan dalam senyawa organik, termasuk limbah organik, menjadi energi listrik. Sistem ini bekerja dengan prinsip yang serupa dengan baterai atau fuel cell konvensional, yaitu menggunakan dua elektroda berupa anoda dan katoda yang dipisahkan oleh suatu medium elektrolit. Namun, karakteristik utama yang membedakan MFC dari sistem *fuel cell* lainnya terletak pada penggunaan mikroorganisme sebagai biokatalis dan senyawa organik sebagai sumber energi. Pada ruang anoda, mikroorganisme mengoksidasi substrat organik dan menghasilkan elektron, proton, serta senyawa hasil metabolisme. Elektron yang dihasilkan selanjutnya dialirkan melalui rangkaian eksternal menuju katoda, sementara proton berpindah ke ruang katoda melalui membran penukar proton. Di ruang katoda, proton dan elektron bereaksi dengan akseptor elektron, umumnya oksigen, membentuk air sebagai produk akhir. Mekanisme ini menunjukkan potensi MFC sebagai teknologi alternatif dalam pengembangan energi terbarukan sekaligus pengelolaan limbah berbasis proses biologis (Indriyani dan Efendi, 2025).

Penelitian mengenai MFC telah banyak dilakukan, salah satunya oleh Ananto *et al.* (2023) yang merancang prototipe Microbial Fuel Cell dengan memanfaatkan feses sapi sebagai sumber inokulan pada sistem dua ruang, yaitu anoda dan katoda, yang dipisahkan oleh membran permeabel ion. Dalam sistem tersebut, biofilm yang terbentuk pada permukaan anoda mengandung bakteri electricigen yang berperan dalam mengoksidasi bahan organik dan mentransfer elektron ke elektroda, sehingga menghasilkan energi listrik. Bakteri electricigen merupakan kelompok mikroorganisme yang mampu mengoksidasi senyawa organik secara tuntas dengan menggunakan elektroda sebagai akseptor elektron (Fatiha, 2025). Mikroorganisme ini memegang peranan penting dalam proses bioelektrokimia MFC, karena pada ruang anoda bakteri electricigen mengoksidasi substrat organik dan melepaskan elektron ke permukaan elektroda, yang selanjutnya mengalir melalui rangkaian eksternal dan membentuk arus listrik (Semenec and Franks, 2014).

Penelitian Sajana *et al.* (2014) menunjukkan bahwa sistem MFC berbasis sedimen pada elektroda anoda didominasi oleh komunitas mikroorganisme dari genus *Geobacter* dan *Shewanella*, seperti *Geobacter metallireducens*, *Geobacter sulfurreducens*, dan *Shewanella oneidensis*, yang dikenal memiliki kapasitas electricigen tinggi. Kapasitas electricigen merujuk pada kemampuan mikroorganisme dalam menghasilkan serta mentransfer elektron selama proses metabolisme. Studi isolasi bakteri dari sedimen tersebut umumnya dikombinasikan dengan pendekatan molekuler, seperti analisis sekuens gen 16S rRNA, untuk mengidentifikasi spesies dominan yang berperan dalam transfer elektron ekstraseluler.

Sedimen mangrove merupakan ekosistem dengan tingkat keanekaragaman mikroorganisme yang tinggi, termasuk bakteri electricigen. Karakteristik sedimen mangrove yang kaya bahan organik, memiliki gradien oksigen yang tajam, serta kondisi redoks yang dinamis menjadikan lingkungan ini sebagai habitat ideal bagi mikroorganisme yang mampu melakukan transfer elektron secara ekstraseluler. Aktivitas metabolisme mikroorganisme pada sedimen mangrove berperan penting dalam proses degradasi bahan organik dan menghasilkan elektron yang berpotensi dimanfaatkan dalam sistem Microbial Fuel Cell / MFC (Rivalland *et al.*, 2015).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan di Kawasan Mangrove *Avicennia marina* Mangkang, Semarang. Penelitian eksplorasi bakteri electricigen pada anoda dan katoda sistem *Microbial Fuel Cell* dilaksanakan di Laboratorium Bakteriologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Kabupaten Bogor yang meliputi jumlah populasi dan isolasi bakteri electricigen.

Preparasi sampel

Penelitian ini menggunakan metode eksplorasi bakteri electricigen dari biofilm anoda dan katoda sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) yang diinokulasi menggunakan sedimen mangrove Mangkang, Semarang. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung pada sampel biofilm yang terbentuk di anoda dan katoda MFC setelah 1 bulan inkubasi. Kode sampel bakteri yang dilakukan pada penelitian ini yaitu kontrol anoda dan kontrol katoda (CA dan CK), anoda listrik tinggi 2 dan 3 (AB2 dan AB3), katoda listrik tinggi 2 dan 3 (KB2 dan KB3), anoda listrik rendah 2 dan 3 (AC2 dan AC3), serta katoda listrik rendah 2 dan 3 (KC2 dan KC3). Media yang digunakan untuk menumbuhkan bakteri, yaitu media Marine broth (MB) dan Marine agar (MA).

Isolasi dan purifikasi isolat bakteri electricigen

Sampel biofilm dari sedimen mangrove (batang yang kemudian dijadikan biofilm) dipotong sebesar 1/3 bagian menggunakan gunting dan pinset steril (yang telah direndam dalam larutan alkohol). Setelah itu, sampel dicuci bersih menggunakan larutan phosphate-buffered saline (PBS) dan dimasukkan ke dalam 50 mL media marine broth dalam dua Erlenmeyer yang berfungsi sebagai kontrol untuk kelompok pertama anoda dan katoda. Untuk kelompok kedua dan ketiga, empat Erlenmeyer yang telah diisi dengan media yang sama digunakan, di mana sampel dengan kode KB2 (Katoda B2) dan KB3 (Katoda B3) serta AB2 (Anoda B2) dan AB3 (Anoda B3) dimasukkan pada konsentrasi kedua, dan untuk konsentrasi ketiga, sampel KC2 dan KC3 serta AC2 dan AC3 ditambahkan kembali ke dalam Erlenmeyer dengan menggunakan media Marine broth. Konsentrasi yang dimaksud adalah perlakuan atau pengelompokan pada biofilm anoda dan katoda yang berfungsi sebagai sekumpulan data untuk dibandingkan dengan data yang dimulai dari kelompok data pertama (kontrol), kelompok data kedua (anoda dan katoda listrik tinggi) dan kelompok data ketiga (anoda dan katoda listrik rendah).

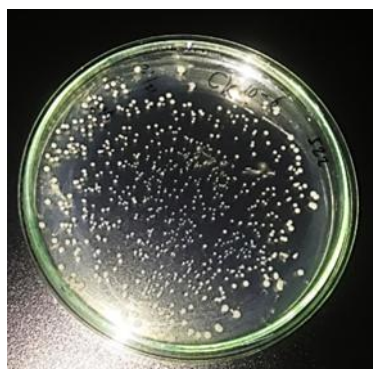
Setelah proses kultivasi selama 48 jam di dalam shaker, dilakukan pengenceran sampel dari 10^{-1} hingga 10^{-7} , adapun caranya adalah dengan mengambil 1 mL sampel dimasukkan ke dalam 9 mL air steril sehingga memperoleh pengenceran 10^{-1} . Untuk mendapatkan pengenceran 10^{-2} dilakukan dengan mengambil 1 mL pengenceran 10^{-2} dimasukkan ke dalam 9 mL air demikian seterusnya sampai pengenceran 10^{-7} . Pengenceran 10^{-5} sampai 10^{-7} selanjutnya diambil sebanyak 1 mL dimasukkan dalam cawan Petri seteril lalu dituangkan 15 mL media Mareine Agar kemudian digoyang secara simultan untuk mendapatkan pertumbuhan mikroba yang merata dalam cawan Petri, Semua cawan Petri diinkubasi pada temperature 28°C selama 24 jam. Koloni bakteri yang tumbuh selanjutnya di hitung jumlahnya dan koloni yang menunjukkan karakteristik makroskopis (bentuk, warna, tepian, dan elevasi) yang berbeda di streak sampai mendapatkan isolate murni.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Isolasi dan purifikasi isolat bakteri electricigen

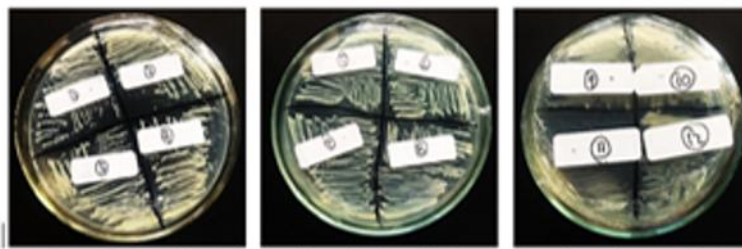
Berdasarkan hasil penelitian, dari sampel biofilm sedimen mangrove di Kawasan Mangkang Semarang diperoleh adanya variasi kepadatan pertumbuhan antara titik inokulasi yang berasal dari anoda dan katoda. Pertumbuhan koloni bakteri electricigen dapat dilihat pada gambar 1. Perbedaan kepadatan bakteri yang tumbuh berpotensi mencerminkan perbedaan komunitas mikroorganisme berdasarkan fungsi dan aktivitas elektrokimianya. Dalam sistem MFC, mikroorganisme yang berada pada anoda umumnya berperan aktif sebagai bakteri electricigen. Oleh karena itu, karakter pertumbuhan yang lebih menonjol pada sisi anoda dapat menjadi indikator awal adanya isolat bakteri electricigen. Hasil ini menguatkan bahwa sedimen



mangrove merupakan habitat yang kaya mikroorganisme dan berpotensi sebagai sumber isolat bakteri electricigen yang beragam.

Gambar 1. Koloni bakteri Electricigen pada media MA

Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa koloni yang terbentuk tumbuh secara terpisah dengan yang lainnya, tidak saling tumpang tindih, dan tampak jelas antar batas koloni, hal ini mengidentifikasi bahwa metode purifikasi berhasil dilakukan dengan baik. Setiap koloni yang tumbuh merupakan hasil dari pertumbuhan satu sel bakteri yang berhasil memisahkan diri dari koloni lainnya. Koloni-koloni tersebut memiliki bentuk dan ukuran yang beragam. Beberapa tampak bulat sempurna, sedangkan yang lainnya sedikit tidak beraturan. Perbedaan ini mencerminkan keanekaragaman fenotipik yang wajar dalam hasil isolasi dari lingkungan alami seperti sedimen mangrove. Warna koloni yang terbentuk juga bervariasi dari putih hingga kekuningan yang menunjukkan adanya kemungkinan perbedaan spesies antar isolat.



Gambar 1. Hasil purifikasi isolat bakteri pada media MA

Total koloni bakteri dari masing-masing sumber isolasi

Hasil purifikasi menggunakan koloni tunggal dapat meminimalkan risiko terjadinya kontaminasi atau percampuran jenis bakteri. Proses tersebut penting dilakukan sebagai ketentuan untuk identifikasi lebih lanjut, baik secara morfologis, fisiologis, dan molekuler. Pada Gambar 2, menggambarkan keberhasilan tahapan penting dalam proses eksplorasi mikroorganisme, yaitu pemurnian isolat. Langkah ini memastikan bahwa data dan analisis selanjutnya dapat mewakili satu jenis bakteri, sehingga hasil yang diperoleh dapat diinterpretasikan dengan akurat.

Tabel 1. Isolasi total jumlah koloni bakteri

Sumber isolat	Jumlah Koloni	CFU/mL	Log ¹⁰ CFU/mL	Rata-rata ± Standar deviasi
CA	75	$7,50 \times 10^6$	6,87	$7,22 \pm 0,47$ log CFU/mL
	11	$1,10 \times 10^7$	7,04	

	6	$6,0 \times 10^7$	7,77	
CK	54	$5,40 \times 10^6$	6,73	$7,87 \pm 1,02$ log CFU/mL
	522	$5,22 \times 10^8$	8,71	
	15	$1,50 \times 10^8$	8,17	
AB2	50	$5,0 \times 10^6$	6,69	$7,20 \pm 0,75$ log CFU/mL
	7	$7,0 \times 10^6$	6,84	
	12	$1,20 \times 10^8$	8,07	
AB3	54	$5,4 \times 10^6$	6,73	$7,46 \pm 0,75$ log CFU/mL
	28	$2,8 \times 10^7$	7,44	
	17	$1,70 \times 10^8$	8,23	
KB2	225	$2,25 \times 10^7$	7,35	$7,92 \pm 0,60$ log CFU/mL
	72	$7,20 \times 10^7$	7,85	
	37	$3,70 \times 10^8$	8,56	
KB3	164	$1,64 \times 10^7$	7,21	$7,99 \pm 0,80$ log CFU/mL
	667	$6,67 \times 10^8$	8,82	
	9	$9,0 \times 10^7$	7,95	
AC2	209	$2,09 \times 10^7$	7,32	$7,75 \pm 0,56$ log CFU/mL
	35	$3,50 \times 10^7$	7,54	
	25	$2,50 \times 10^8$	8,39	
AC3	190	$1,90 \times 10^7$	7,27	$7,92 \pm 0,79$ log CFU/mL
	49	$4,90 \times 10^7$	7,69	
	64	$6,40 \times 10^8$	8,80	
KC2	200	$2,00 \times 10^7$	7,30	$7,84 \pm 0,78$ log CFU/mL
	32	$3,20 \times 10^7$	7,50	
	55	$5,50 \times 10^8$	8,74	
KC3	164	$1,64 \times 10^7$	7,21	$8,62 \pm 1,07$ log CFU/mL
	550	$5,50 \times 10^8$	8,74	
	52	$5,2 \times 10^8$	8,72	
	667	$6,67 \times 10^9$	9,82	

Berdasarkan Tabel 1, hasil perhitungan jumlah koloni dan nilai CFU/mL, setiap isolat bakteri menunjukkan variasi kepadatan populasi pada masing-masing tingkat pengenceran, yaitu 10^{-5} , 10^{-6} , dan 10^{-7} . Nilai CFU/mL yang diperoleh dari masing-masing sumber isolate menunjukkan hasil yang bervariasi, hal ini menggambarkan perbedaan kemampuan pertumbuhan bakteri antar isolat maupun antar pengenceran. Beberapa isolat, seperti CK, KB3, dan KC3, menunjukkan jumlah koloni yang relatif tinggi pada pengenceran tertentu, sedangkan isolat lain memperlihatkan jumlah koloni yang lebih rendah namun masih berada dalam rentang yang dapat dihitung. Secara keseluruhan, rata-rata kepadatan bakteri dan standar deviasi dari

berbagai macam isolat yang menunjukkan adanya keragaman populasi bakteri yang cukup besar antar isolat dalam sistem yang diteliti.

Nilai kepadatan bakteri pada isolat CA dan CK menunjukkan perbedaan, di mana isolat CK umumnya memiliki jumlah koloni yang lebih tinggi dibandingkan isolat CA pada pengenceran yang memenuhi kriteria perhitungan. Pada isolat anoda, AB2 dan AB3 menunjukkan nilai CFU/mL yang relatif lebih rendah dibandingkan isolat dari biofilm katoda, mengindikasikan kepadatan bakteri yang lebih kecil pada elektroda anoda. Isolat yang berasal dari biofilm katoda cenderung memiliki nilai CFU/mL yang lebih tinggi dibandingkan isolat anoda. Hal ini terlihat pada isolat KB2, KB3, KC2, dan KC3 yang menunjukkan jumlah koloni lebih besar pada pengenceran tertentu. Isolat KC3 menunjukkan nilai CFU/mL tertinggi dibandingkan isolat lainnya, mencerminkan tingginya kepadatan bakteri pada biofilm katoda. Variasi nilai CFU/mL antar pengenceran menunjukkan adanya perbedaan distribusi dan pertumbuhan bakteri pada masing-masing isolat.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa biofilm pada elektroda katoda memiliki kepadatan bakteri yang lebih tinggi dibandingkan biofilm anoda. Kondisi lingkungan pada katoda diduga lebih mendukung pertumbuhan dan akumulasi bakteri electricigen. Variasi jumlah bakteri antar isolat mencerminkan perbedaan karakteristik mikrohabitat serta kemampuan adaptasi bakteri terhadap kondisi lingkungan dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC).

Jumlah isolat yang didapat dari masing-masing sumber isolasi

Berdasarkan data pada Tabel 2, Hasil isolasi bakteri dari elektroda sistem MFC menunjukkan jumlah koloni yang bervariasi pada setiap tingkat pengenceran (10^{-5} , 10^{-6} , dan 10^{-7}). Secara keseluruhan, jumlah koloni yang diperoleh berkisar antara 1–7 koloni, dengan nilai tertinggi ditemukan pada isolat katoda kontrol (CK) sebesar 7 koloni pada pengenceran 10^{-5} , sedangkan nilai terendah terdapat pada isolat anoda kontrol (CA) sebesar 1 koloni pada pengenceran 10^{-7} .

Tabel 2. Jumlah isolat pada morfologi terkoleksi dari masing-masing dengan pengenceran yang berbeda pada sumber isolat

Sumber Isolat	Kode	Jumlah isolat		
		10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
Anoda listrik tinggi	AB2	5	5	5

Anoda listrik tinggi	AB3	6	6	5
Katoda listrik tinggi	KB2	5	5	6
Katoda listrik tinggi	KB3	5	5	5
Anoda listrik rendah	AC2	6	6	6
Anoda listrik rendah	AC3	6	6	5
Katoda listrik rendah	KC2	6	5	5
Katoda listrik rendah	KC3	5	5	5
Anoda kontrol	CA	4	3	1
Katoda kontrol	CK	7	5	5

Karakterisasi morfologi isolat bakteri makroskopik

Hasil pengamatan terhadap morfologi isolat bakteri yang telah melalui tahap isolasi dari biofilm anoda dan katoda menunjukkan bahwa masing-masing isolat memiliki karakteristik morfologi koloni yang beragam. Variasi morfologi koloni yang teramati meliputi bentuk koloni (*circular, irregular, dan crateriform*), elevasi (*flat, convex, raised, dan umbonate*), tepi koloni (*entire, undulate, filamentous, dan filiform*), permukaan koloni (*glistening, dull, transparent, dan translucent*), serta tekstur koloni (*buttery, rugose, dan mucus*). Keanekaragaman fenotipik tersebut menunjukkan adanya variasi isolat bakteri yang diperoleh dari berbagai sampel biofilm anoda dan katoda. Keragaman morfologi ini menjadi indikator penting dalam tahap seleksi awal isolat, karena karakteristik tertentu, seperti permukaan koloni berlendir (*mucus*) dan struktur koloni yang terorganisir, sering dikaitkan dengan kemampuan bakteri dalam membentuk biofilm yang kuat.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, hasil dari isolasi bakteri terhadap biofilm yang berasal dari sedimen mangrove yang berasal dari dua sumber elektroda, yaitu anoda dan katoda yang menunjukkan pertumbuhan koloni yang cukup beragam dengan kisaran kerapatan populasi bakteri dari 10^6 sampai 10^9 CFU/mL pada media *Marine agar* (MA). Secara fisik, suhu inkubasi berperan penting karena mempengaruhi laju reaksi enzim hidrolitik ekstraseluler, seperti protease, selulase, dan amilase, yang dihasilkan oleh mikroorganisme dalam mendegradasi substrat organik (Claudia *et al.*, 2021). Mikroorganisme laut umumnya tumbuh optimal pada kisaran 25–30 °C, sedangkan suhu yang terlalu rendah memperlambat metabolisme dan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein. Waktu

inkubasi juga menentukan ukuran dan jumlah koloni; inkubasi yang terlalu singkat dapat menghasilkan koloni kecil atau belum tampak, sementara inkubasi yang terlalu lama dapat menyebabkan koloni saling menutupi. Kondisi tersebut yang dapat menunjukkan bahwa lingkungan sekitar saat dilakukannya inkubasi terhadap media pertumbuhan yang telah digunakan sesuai dengan karakteristik fisiologis bakteri mesofilik yang diisolasi dari biofilm sedimen mangrove (Zainuddin *et al.*, 2022).

Keunggulan yang dihasilkan pada pertumbuhan koloni di masing-masing sumber isolat seperti yang ditunjukkan pada tabel 1, juga memiliki keterkaitan dengan kemampuan mikroorganisme untuk membentuk biofilm sebagai bentuk kemampuan bertahan hidup. Menurut Homenta, (2016), biofilm merupakan kesatuan dari sel-sel mikroorganisme yang dilingkupi oleh matriks substansi polimerik ekstraseluler (EPS). Dalam sistem metode *Microbial Fuel Cell* (MFC), biofilm berperan penting dalam memfasilitasi hubungan antara mikroorganisme dengan elektroda yang memiliki keterkaitan dalam terjadinya transfer elektron yang efisien. Pembentukan biofilm tersebut merupakan salah satu indikator potensial dalam aktivitas *electricigen* pada isolat yang diperoleh. Maka dapat dipastikan, bahwa kemampuan pertumbuhan dan pembentukan koloni terhadap suatu media dapat mengindikasikan adanya isolat yang mampu beradaptasi serta berpotensi aktif secara elektrokimia.

Hasil isolasi pada asal isolat dimasing-masing pengenceran diperoleh kisaran jumlah isolat 5 sampai 7 isolat (tabel 2) yang berbeda. Hal ini sesuai dengan pernyataan Suwoyo *et al.*, (2015), bahwa sedimen mangrove merupakan ekosistem yang kaya mikroorganisme akibat kondisi anaerobik, serta dinamika redoks yang kompleks. Dinamika redoks yang kompleks mengacu terhadap perubahan kondisi oksidasi dan reduksi (redoks potensial) yang terjadi secara bertahap di dalam lapisan sedimen. Hal tersebut sejalan dengan teori yang mengatakan anoda dapat bersifat anaerob dan katoda bersifat aerob dengan selanjutnya dilakukan seleksi komunitas mikroorganisme yang berbeda-beda secara fisiologis (Ibrahim *et al.*, 2019).

Proses purifikasi yang dilakukan dengan metode *streak plate* menghasilkan koloni tunggal yang terpisah jelas, menandakan keberhasilan dalam memperoleh biakan murni. Setiap koloni yang terpisah menunjukkan variasi morfologi berupa bentuk, tepi, warna, dan ukuran yang berbeda. Variasi ini menunjukkan adanya keragaman fenotipik antar isolat yang penting

untuk tahap karakterisasi lebih lanjut. Menurut Handayani *et al.* (2023) bahwa purifikasi merupakan tahapan penting karena menjamin bahwa mikroorganisme yang dikaji berasal dari satu sel tunggal, sehingga hasil identifikasi morfologi dan molekuler dapat dipertanggungjawabkan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kepadatan populasi bakteri elektrisigen dari sumber isolat yang berbeda menunjukkan hasil yang bervariasi dengan kisaran antara 10^6 sampai 10^9 CFU/mL dengan jumlah isolat yang diperoleh 6 sampai 7 isolat yang berbeda dimasing-masing pengenceran.

Saran

Perlu dilakukan pengujian kemampuan dari bakteri elektrisigen yang berhasil diisolasi dari sumber isolat berbeda dalam hal kemampuannya menghasilkan listrik sehingga isolat atau konsorsium isolat tersebut dapat digunakan sebagai sumber listrik alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananto, I. R., Marzuki, I., Wicaksono, I., dan Sunyoto, A. 2023. Optimasi Energi Listrik Berbasis *Microbial Fuel Cell* Berbahan Feses Sapi Menggunakan Rangkaian Seri. *Jurnal JEETech*. 4(1): 38-47.
- Claudia, K. M., Nursyirwani, N., dan Effendi, I. 2021. Biodegradability of proteolytic bacteria in mangrove ecosystems. *Journal of Coastal and Ocean Sciences*. 2(2): 120-126.
- Fatiha, F. D. 2025. Karakteristik Beads Isolat Konsorsium Bakteri Termofilik Penghasil Biolistrik. *Jurnal Biogenerasi*. 10(2): 1463-1463.
- Handayani, N., Sabdaningsih, A., Jati, O. E., dan Ayuningrum, D. 2023. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit dari Akar *Avicennia marina* di Kawasan Mangrove Pantai Tirang, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*. 7(2): 68-73.
- Homenta, H. 2016. Infeksi Biofilm Bakterial. *Jurnal E-Biomedik (EBM)*. 4(1): 1-11.
- Ibrahim, B., Uju, U., dan Mukti, A. C. 2019. Biofilm Density on the Electrode is Positively Correlated with the Bioelectricity of the Microbial Fuel Cell of Fisheries Wastewater. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 22(1): 71-79.
- Indriyani, Y. A., dan Efendi, R. 2025. Microbial fuel cells (MFC): Sebuah teknologi untuk biokonversi energi kimia pada limbah organik menjadi biolistrik. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*. 4(1): 10-21.
- Rivalland, C., Madhkour, S., Salvin, P., and Robert, F. 2015. Electrochemical and microbial monitoring of multi-generational electroactive biofilms formed from mangrove sediment. *Bioelectrochemistry*. 106(8): 125-132.

- Sajana, T. K., Ghangrekar, M. M., and Mitra, A. 2014. Effect of presence of cellulose in the freshwater sediment on the performance of sediment microbial fuel cell. *Bioresource technology*. 155(6): 84-90.
- Semenec, L., and Franks, A. E. 2014. The microbiology of microbial electrolysis cells. *Microbiology Australia*. 35(4): 201-206.
- Suwoyo, H. S., Nirmala, K., Djokosetiyanto, D., dan Mulyaningrum, R. H. 2015. Faktor dominan yang berpengaruh pada tingkat konsumsi oksigen sedimen di tambak intensif udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 7(2): 639-654.
- Zainuddin, M., Pringgenies, D., Radjasa, O. K., Haeruddin, H., Sabdaningsih, A., dan Herawati, V. E. 2022. Optimasi Kondisi Inkubasi Kultur (Suhu dan Agitasi) Terhadap Pertumbuhan dan Aktivitas Protease Ekstraseluler Bakteri *Bacillus firmus* Asosiasi Sponge (Porifera: Demospongiae) dari Nusa Lembongan Bali Indonesia. *Journal of Marine Research*. 11(3): 547-556.