



Pemanfaatan Microbial Fuel Cell untuk Mengatasi Pencemaran Lingkungan dan Menghasilkan Mikroenergi

Rizky Riscahya Pratama Syamsuri, Tri Dewi K Pribadi, Keukeu Kaniawati Rosada

Universitas Padjadjaran, Indonesia

Abstrak

Microbial Fuel Cell (MFC) memiliki kemampuan untuk meremediasi pencemar sekaligus mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai kemampuan bakteri sedimen mangrove di daerah Karangsong Kabupaten Indramayu dalam mereduksi *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*, ammonia, fosfat, dan kemampuannya dalam menghasilkan *by-product microenergy*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat eksploratif yang terdiri dari 6 tahapan yaitu pengambilan sampel, pembuatan rangkaian *MFC*, pengukuran arus listrik dengan multimeter, isolasi bakteri pada anoda *MFC*, dan karakterisasi bakteri pada anoda *MFC*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan besar penurunan kadar *TPH*, ammonia, fosfat masing-masing sebesar 47%, >98%, dan 87%, sedangkan *current density* sebesar 131,86 mA/m², dan *power density* sebesar 43,45 W/m². Bakteri yang berhasil diisolasi dari sedimen mangrove Karangsong sebanyak 8 isolat yang terdiri dari 5 isolat berbentuk basil gram negatif, dan 3 isolat berbentuk diplobasil gram negatif. Penelitian perlu dilanjutkan sampai tahap identifikasi bakteri dan optimasi mikroenergi yang dihasilkan.

Kata kunci : bioremediasi, energi listrik, microbial fuel cell, Sedimen Karangsong Indramayu

PENDAHULUAN

Kawasan mangrove Karangsong terletak di desa Karangsong Kabupaten Indramayu (S6 18 09.9 E108 22 09.7). Hutan mangrove Karangsong mulai ditanami warga sejak tahun 2008 dan sekarang mempunyai luas sekitar 20 hektare. Tujuan utama dari pengembangan ini adalah untuk merestorasi Hutan mangrove dan melindungi tambak warga dari terjangan abrasi. Namun, pemanfaatan Hutan mangrove saat ini terus berkembang lebih dari tujuan awalnya sebagai daerah restorasi ke kegiatan budidaya dan pariwisata. Keberadaan mangrove memiliki peranan yang cukup penting bagi kehidupan karena memiliki fungsi ekologis yang besar (Indrayanti *et al.*, 2015)

Hutan mangrove Kabupaten Indramayu merupakan salah satu daerah yang berdekatan dengan industri pengilangan minyak. Hal ini membuat peningkatan kadar toksikan di Daerah Karangsong. Peningkatan kadar toksikan ini kerap kali diiringi dengan masalah pencemaran lingkungan. Pencemaran tersebut akan menyebabkan penurunan kualitas lingkungan yang berdampak bagi kelestarian lingkungan pesisir dan keberlanjutan usaha perikanan. Salah satu cara yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah lingkungan tersebut adalah menggunakan teknologi *Microbial Fuel Cell (MFC)* (Elmaadawy *et al.*, 2020).

Microbial fuel cell (MFC) merupakan teknologi yang dapat menghasilkan energi listrik melalui proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme melalui reaksi katalitik atau melalui mekanisme sistem bioelektrokimia dari mikroorganisme (Kumar *et al.*, 2019). Berbagai mikroorganisme berperan dalam *MFC*, penggunaan mikroorganisme dalam teknologi *MFC* dapat bersifat aerob, anaerob fakultatif, maupun anaerob obligat (Deng *et al.*, 2020). *MFC* mempunyai kelebihan antara lain memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, kondisi operasi yang lunak, tidak dibutuhkannya energi input, dan dapat diaplikasikan pada berbagai tempat yang memiliki infrastruktur listrik yang kurang (Gomez Vidales *et al.*, 2019). Kajian pada bidang perikanan *MFC* telah dikembangkan sebagai teknologi dalam pengolahan limbah hasil perikanan dan mengurangi tingkat pencemaran lingkungan perairan (Wang *et al.*, 2017). *MFC* memanfaatkan mikroorganisme yang terdapat pada sedimen untuk mendegradasi bahan organik (Song *et al.*, 2020).

Bagian utama rangkaian *MFC* terdiri dari anoda, katoda dan peralatan elektronik (Liu *et al.*, 2017).

MFC menggunakan karbon sebagai bahan anoda, karena cocok untuk pertumbuhan bakteri, mudah dihubungkan dengan kabel dan harganya yang relatif murah (Ieropoulos *et al.*, 2017). Posisi anoda biasanya ditanam dalam sedimen, selanjutnya aktifitas mikroorganisme yang ada dalam sedimen akan menjadi sumber energi listrik (Prakash *et al.*, 2018).

Hasil identifikasi berbagai mikroorganisme yang banyak ditemukan pada *MFC* sedimen laut, antara lain *Geobacter chappellei*, *Desulfuromonas* sp. dan *Malonomonas* sp. (Hasany *et al.*, 2016). Mikroorganisme tersebut dapat mengoksidasi bahan organik kompleks pada sedimen dan menghasilkan elektron yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik akibat beda potensial yang terjadi. Elektron tersebut mengalir dari bagian anoda ke katoda dan bereaksi dengan oksigen membentuk air pada katoda (Birjandi *et al.*, 2020).

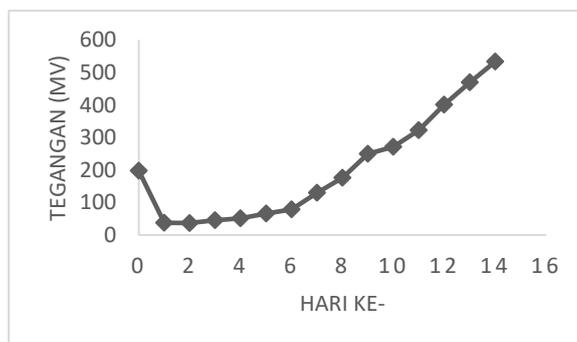
Daerah mangrove Karangsong merupakan daerah pesisir pantai. Sedimen laut diketahui memiliki peranan yang penting sebagai sumber bahan organik bagi kehidupan vegetasi laut dan berpotensi menghasilkan senyawa kimia baru yang berasal dari berbagai aktivitas biologis (Poliakova *et al.*, 2017). LaRowe *et al.*, (2020) menyatakan bahwa sedimen laut berperan penting dalam siklus karbon dan nutrisi untuk organisme. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian pada sedimen mangrove Karangsong Indramayu, untuk mendapatkan informasi mengenai kemampuan bakteri sedimen daerah mangrove dalam mereduksi toksikan dan kemampuannya dalam menghasilkan *by-product microenergy*.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah bersifat eksploratif yang terdiri dari 5 tahapan. Tahap pertama yaitu pengambilan sampel sedimen, tahap kedua yaitu pembuatan rangkaian *MFC* yang mengacu pada penelitian Pribadi *et al.*, (2019), tahap ketiga yaitu pengukuran arus listrik dengan multimeter, tahap keempat yaitu isolasi bakteri pada anoda *MFC*, dan tahap terakhir yaitu karakterisasi bakteri pada anoda *MFC*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah 14 hari percobaan, hasilnya menunjukkan bahwa produksi listrik tertinggi yang dihasilkan rata-rata sebesar 533,33. Secara keseluruhan, hasil energi listrik *microbial fuel cel* lebih dari 500 mV (**Gambar 1**). Produksi tegangan listrik pada awal percobaan mencapai nilai tertinggi pada 224 mV sementara perlakuan lain menghasilkan nilai yang tidak terlalu jauh. Produksi tegang-



Gambar 1. Grafik tegangan listrik (mV) selama 14 hari perlakuan *MFC*

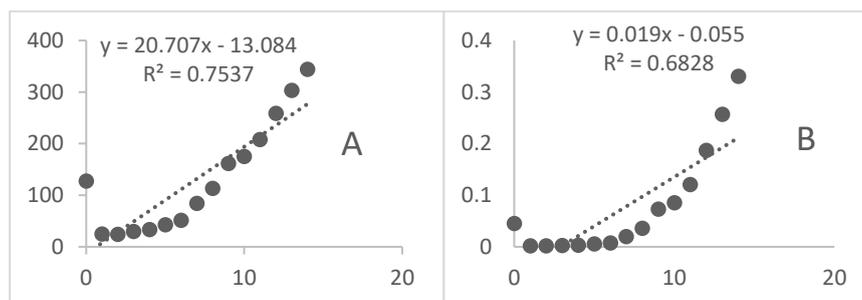
an menunjukkan penurunan pada hari kedua, dan kenaikan pada hari selanjutnya hingga mencapai titik tertinggi pada hari ke 14.

Nilai produksi *current density* pada awal pengamatan 127,18 mA/m² lalu mengalami penurunan pada hari ke-2 menjadi 24,49 mA/m². Peningkatan produksi *current density* rata-rata mulai terjadi saat pengamatan hari ke-4 dimana produksi *current density* sampel mencapai 29,43 mA/m². Nilai produksi *current density* tertinggi dicapai pada hari ke-14 yaitu sebesar 343,73 mA/m². Secara keseluruhan rata-rata produksi *current density* adalah sebesar 131,86 mA/m². Produksi *power density* yang dihasilkan juga memiliki pola yang serupa. Puncak Produksi *power density* tertinggi diraih pada hari ke-14 yaitu sebesar 183,32 W/m². Secara umum sampel Mangrove mampu menghasilkan *power density* rata-rata sebesar 43,45 W/m².

Produksi tegangan di awal pengamatan rata-rata sebesar 197,33 mV. Nilai tegangan listrik kemudian menurun pada hari kedua dan ketiga pengamatan, setelah itu mengalami peningkatan. Tingginya nilai tegangan listrik pada awal percobaan diduga berasal dari akumulasi elektron dalam sedimen. Ketika mikroorganisme melakukan metabolisme di permukaan anoda, elektron kemudian terakumulasi pada ruang anoda, sedangkan ruang katoda menjadi lebih oksik. Kondisi ini menghasilkan perbedaan potensial antara anoda dan katoda yang memicu arus listrik (Holmes *et al.*, 2004).

Produksi tegangan tertinggi terjadi pada hari ke-14 yaitu sebesar 533,33 mV. *MFC* yang menggunakan sedimen laut sebagai substrat akan mengalami puncak produksi dalam waktu 10-20 hari. Sedimen yang digunakan sebagai substrat dalam penelitian ini mengalami puncak produksi pada hari ke-14. Produksi *current density* dan *power density* memiliki pola yang serupa. Konversi *current density* diperhitungkan dengan membagi jumlah arus yang dihasilkan dengan luas permukaan anoda sedangkan *power density* diperhitungkan dengan membagi jumlah daya yang dihasilkan dengan luas permukaan.

Tingginya *microenergy* yang didapatkan diduga karena sumber sedimen yang digunakan sebagai substrat menjadi penyebab produksi listrik yang tinggi. Sedimen mangrove kaya akan zat organik, berbagai macam unsur bahan organik yang tinggi dan kompleks dengan kandungan mencapai 0,5-20% berat kering (Riyanto *et al.*, 2011). Selain itu juga dapat disebabkan karena kecepatan degradasi substrat, kecepatan transfer elektron dari bakteri ke anoda, transfer proton dalam larutan, aktivitas mikroorganisme dan substrat yang digunakan, jenis bahan dan struktur anoda berdampak pada penempelan mikroorganisme (Palanisamy *et al.*, 2019).



Gambar 2. Produksi listrik selama 14 hari perlakuan *MFC*: A. *Current density* B. *Power density*

Nilai *Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)* awal adalah sebesar 127500 mg/kg. Kandungan yang tinggi pada sedimen pantai Karangsong Indramayu ini diduga disebabkan oleh tingginya *effluent* minyak dari industri pengilangan minyak PT Pertamina yang saluran pembuangan tepat mengalir ke tempat pengambilan sampel. Proses pengolahan minyak dan petrokimia di tempat pengilangan umumnya menghasilkan *oil sludge* yang berpotensi mencemari lingkungan. *Oil sludge* adalah kotoran minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak yang terdiri atas kontaminan yang terkumpul dan terbentuk dalam penanganan suatu proses maupun kontaminan yang memang sudah ada di dalam minyak. erat jenis *Oil sludge* berkisar antara 0,93 – 1,05, berwarna dari coklat tua sampai hitam, berbau hidrokarbon dan kelarutannya dalam air sangat rendah (Martí

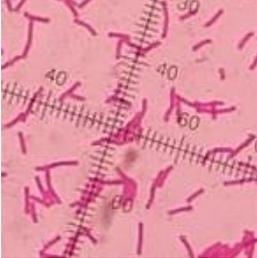
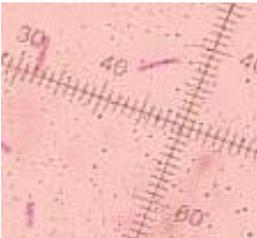
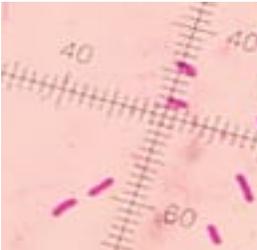
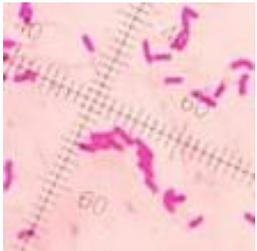
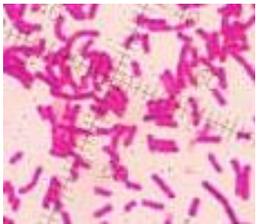
et al., 2009).

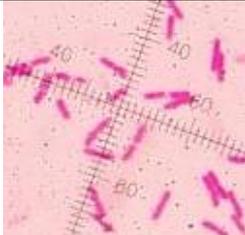
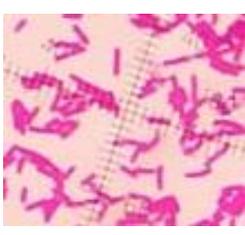
Konsentrasi amonia, dan fosfat dari sedimen daerah Restorasi Mangrove Karangsong sebesar 2,86 mg/L dan 0,66 mg/L. Tingginya konsentrasi amonia dan fosfat karena banyaknya tambak ikan bandeng di sekitar lokasi pengambilan sampel. Selain itu, penyebab pencemaran di daerah Restorasi Mangrove Karangsong juga disebabkan oleh masuknya polutan yang dibawa oleh aliran yang sungai yang mengalir ke daerah restorasi mangrove Karangsong membawa limbah domestik, limbah industri, dan tambak. Kandungan amonia setelah pengamatan selama 14 hari turun sebanyak 98%, sedangkan nilai fosfat menurun sebesar 87%. Pribadi *et al.*, (2019) juga berhasil mendegradasi 96,13% amonia menggunakan *MFC*. Penurunan tinggi diperkirakan terjadi karena adanya elektroda karbon yang berfungsi sebagai akseptor elektron alternatif untuk mikroorganisme dalam proses metabolisme anaerob untuk merangsang degradasi berkelanjutan.

Kandungan *TPH* setelah pengamatan selama 14 hari mengalami penurunan sebesar 47% atau 60167 mg/kg. Penelitian lain mengungkapkan *MFC* berhasil menurunkan 24% kadar *TPH* (Morris & Jin, 2012). Besarnya degradasi *TPH* pada sedimen daerah Mangrove diduga terjadi karena jumlah nutrisi yang terdapat pada sedimen Mangrove relative lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya. Daerah Mangrove banyak terdapat bahan organik dalam sedimennya. Berdasarkan penelitian Nursyirwani & Copper (2010), terdapat bakteri hidrokarbonoklastik yang berhasil diisolasi dari lingkungan laut perairan dumai yaitu *Rovidencia vermicola*, *Burkholderia cepacia*, dan *Myroides odoratimimus*. Perlakuan *Single-Chamber* (B) mampu mendegradasi *TPH* lebih banyak dibanding perlakuan kontrol yaitu sebanyak 46.15% *TPH* berhasil didegradasi. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Morris & Jin (2012), yang menggunakan perlakuan kontrol tanpa rangkaian dalam degradasi sedimen tercemar minyak bumi, *TPH* berhasil didegradasi sebanyak 2.1% sekitar 337 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa nilai nutrisi yang tinggi berpengaruh terhadap besarnya degradasi minyak

Isolat bakteri yang berhasil didapatkan dari anoda *MFC* sebanyak 8 isolat bakteri. Delapan isolat tersebut memiliki bentuk koloni dengan ukuran *pinpoint* (<1mm) sebanyak 4 isolat, 2 isolat berbentuk *irregular, flat, undulate*, 1 berbentuk *circular, flat, undulate*, dan 1 isolat berbentuk *circular, flat, entire*. Bakteri kemudian diwarnai dengan pewarnaan gram. Pewarnaan gram merupakan tahap dasar identifikasi bakteri. Bakteri yang berhasil diwarnai dengan pewarnaan gram sebanyak 5 isolat berbentuk basil gram negatif, dan 3 isolat berbentuk diplobasil gram negatif.

Tabel 2. Isolat Bakteri yang Didapatkan dari Sedimen Karangsong Kabupaten Indramayu

Kode	Foto	Keterangan	Keterangan
A		Ukuran : Pinpoint (-1mm)	P : 1000x Diplobasil Gram Negatif
B		Ukuran : Pinpoint (-1mm)	P : 1000x Diplobasil Gram Negatif
C		Bentuk : Circular Elevasi : Flat Margin : Undulate	P : 1000x Basil Gram Negatif
D		Bentuk : Irregular Elevasi : Flat Margin : Undulate	P : 1000x Basil Gram Negatif
E		Ukuran : Pinpoint (-1mm)	P : 1000x Basil Gram Negatif
F		Bentuk : Circular Elevasi : Flat Margin : Entire	P : 1000x Basil Gram Negatif

G		Bentuk : Irregular Elevasi : Flat Margin : Undulate	P : 1000x Diplobasil Gram Negatif
H		Ukuran : Pinpoint (-1mm)	P : 1000x Basil Gram Negatif

Komposisi mikroorganisme dalam sedimen laut, tawar dan payau yang digunakan sebagai substrat dalam *MFC* telah diteliti oleh Holmes *et al.*, (2004). Umumnya kelompok bakteri yang mendominasi adalah jenis proteobakteria dan bakteri gram negatif lainnya. Mikroba yang hidup pada anoda yang ditanamkan di sedimen *MFC* menggunakan sedimen air tawar adalah *Geobacter* sp. dan *Pelobacter* sp. Selain itu terdeteksi pula bakteri *Geothrix fermentans*. Sementara pada sedimen laut mikroorganisme yang mendominasi adalah jenis *Desulfuromonas* sp. dan *Malonomonas* sp. Sedimen payau juga di dominasi oleh *Desulfuromonas* sp dan ditemukan pula *Pelobacter* sp. Bakteri ini termasuk ke dalam kelompok bakteri δ -proteobacterial (Chae *et al.*, 2009).

Bakteri merupakan organisme yang sangat kecil yang bisa mengkonversi berbagai macam senyawa organik menjadi CO_2 , air dan energi. Mikroba menggunakan energi yang dihasilkan untuk tumbuh dan melangsungkan aktivitas metabolismenya. Melalui teknologi *MFC* sebagian dari energi yang dihasilkan bisa diambil dalam bentuk listrik. (Chae *et al.*, 2009) menemukan bahwa bakteri Gram negatif berbentuk basil dapat menghasilkan energi listrik. Contoh bakteri yang ditemukan (Holmes *et al.*, 2004) adalah *Geobacter*. Bond and Lovley (2003) menemukan bahwa bakteri Gram negatif ada yang menghasilkan listrik yaitu *Desulfuromonas* sp. Hasil lain identifikasi berbagai mikroorganisme yang banyak ditemukan pada *MFC* sedimen laut, antara lain *Geobacter chapelleii*, *Desulfuromonas acetoxidans*, dan *Geothrix fermentans* (Holmes *et al.*, 2004). Mikroorganisme tersebut dapat mengoksidasi bahan organik kompleks pada sedimen dan menghasilkan elektron yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik akibat beda potensial yang terjadi. Elektron tersebut mengalir dari bagian anoda ke katoda dan bereaksi dengan oksigen membentuk air pada katoda (Lovley, 2006).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan, besar penurunan kadar *TPH*, ammonia, fosfat masing-masing sebesar 47%, >98%, dan 87%, sedangkan *current density* sebesar 131,86 mA/m², dan *power density* sebesar 43,45 W/m², Bakteri yang berhasil diisolasi dari sedimen mangrove Karangsong sebanyak 8 isolat yang terdiri dari sebanyak 5 isolat berbentuk basil gram negatif, dan 3 isolat berbentuk diplobasil gram negatif.

Saran dari penelitian ini adalah perlu adanya penelitian lanjutan mengenai penerapan teknologi *MFC* dalam meremediasi toksikan dengan skala lapangan, selain itu dapat dilakukan kajian optimalisasi *MFC* dalam meremediasi toksikan dan memproduksi energi. Identifikasi isolat bakteri dari *MFC* diharapkan dapat dilengkapi dengan uji biokimia atau uji molekuler perlu dilakukan untuk mengetahui bakteri yang berperan dalam penerapan *MFC*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Riyanto, Nisa Rachmania Mubarik, F. I. (2011). *Electrical Energy from Jakarta Bay Marine Sediment Through Microbial Fuel Cell Technology*. XIV, 35–42.
- Birjandi, N., Younesi, H., Ghoreyshi, A. A., & Rahimnejad, M. (2020). Enhanced medicinal herbs wastewater treatment in continuous flow bio-electro-Fenton operations along with power generation. *Renewable Energy*, 155, 1079–1090. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.013>
- Chae, K. J., Choi, M. J., Lee, J. W., Kim, K. Y., & Kim, I. S. (2009). Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells. *Bioresourc Technology*, 100(14), 3518–3525. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.065>
- Copper, K. (2010). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Hidrokarbonoklastik dari Perairan Dumai dengan Sekuen 16S rDNA. *Ilmu Kelautan - Indonesian Journal of Marine Sciences*, 12(1), 12–17. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.12.1.12-17>
- Daniel R. Bond and Derek R. Lovley. (2003). Electricity Production by *Geobacter sulfurreducens* Attached to Electrodes. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(3), 1548–1555. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.3.1548>
- Deng, Q., Su, C., Lu, X., Chen, W., Guan, X., Chen, S., & Chen, M. (2020). Performance and functional microbial communities of denitrification process of a novel MFC-granular sludge coupling system. *Bioresourc Technology*, 306(January), 123173. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123173>
- Elmaadawy, K., Liu, B., Hu, J., Hou, H., & Yang, J. (2020). Performance evaluation of microbial fuel cell for landfill leachate treatment: Research updates and synergistic effects of hybrid systems. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 96, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.05.005>
- Gomez Vidales, A., Omanovic, S., & Tartakovsky, B. (2019). Combined energy storage and methane bioelectrosynthesis from carbon dioxide in a microbial electrosynthesis system. *Bioresourc Technology Reports*, 8(May), 100302. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100302>
- Hasany, M., Mardanpour, M. M., & Yaghmaei, S. (2016). Biocatalysts in microbial electrolysis cells: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(3), 1477–1493. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.10.097>
- Holmes, D. E., Bond, D. R., O'Neil, R. A., Reimers, C. E., Tender, L. R., & Lovley, D. R. (2004). Microbial communities associated with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments. *Microbial Ecology*, 48(2), 178–190. <https://doi.org/10.1007/s00248-003-0004-4>
- Ieropoulos, I., Theodosiou, P., Taylor, B., Greenman, J., & Melhuish, C. (2017). Gelatin as a promising printable feedstock for microbial fuel cells (MFC). *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(3), 1783–1790. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.083>
- Kumar, S. S., Kumar, V., Malyan, S. K., Sharma, J., Mathimani, T., Maskarenj, M. S., Ghosh, P. C., & Pugazhendhi, A. (2019). Microbial fuel cells (MFCs) for bioelectrochemical treatment of different wastewater streams. *Fuel*, 254(February), 115526. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.109>
- LaRowe, D. E., Arndt, S., Bradley, J. A., Estes, E. R., Hoarfrost, A., Lang, S. Q., Lloyd, K. G., Mahmoudi, N., Orsi, W. D., Shah Walter, S. R., Steen, A. D., & Zhao, R. (2020). The fate of organic carbon in marine sediments - New insights from recent data and analysis. *Earth-Science Reviews*, 204(February), 103146. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103146>
- Liu, S. H., Wu, C. H., & Lin, C. W. (2017). Enhancement of bioelectricity generation for an air-cathode microbial fuel cell using polyvinyl alcohol-membrane electrode assemblies. *Biochemical Engineering Journal*, 128, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.10.003>
- Lovley, D. R. (2006). Bug juice: Harvesting electricity with microorganisms. *Nature Reviews Microbiology*, 4(7), 497–508. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1442>
- Martí, M. C., Camejo, D., Fernández-García, N., Rellán-Álvarez, R., Marques, S., Sevilla, F., & Jiménez, A. (2009). Effect of oil refinery sludges on the growth and antioxidant system of alfalfa plants. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1–3), 879–885.

- <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.083>
- Morris, J. M., & Jin, S. (2012). Enhanced biodegradation of hydrocarbon-contaminated sediments using microbial fuel cells. *Journal of Hazardous Materials*, 213–214, 474–477. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.02.029>
- Palanisamy, G., Jung, H. Y., Sadhasivam, T., Kurkuri, M. D., Kim, S. C., & Roh, S. H. (2019). A comprehensive review on microbial fuel cell technologies: Processes, utilization, and advanced developments in electrodes and membranes. *Journal of Cleaner Production*, 221, 598–621. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.172>
- Poliakova, A., Zonneveld, K. A. F., Kwiatkowski, C., Suryoko, M. A., & Behling, H. (2017). Marine environment, vegetation and land use changes during the late Holocene in South Kalimantan and East Java reconstructed based on pollen and organic-walled dinoflagellate cysts analysis. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 238, 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2016.11.012>
- Prakash, O., Pushkar, P., Mungray, A. K., Mungray, A., & Kailasa, S. K. (2018). Effect of geometrical position of a multi-anode system in power output and nutritional variation in benthic microbial fuel cells. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 1558–1568. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.058>
- Pribadi, T. D. K., Ihsan, Y. N., Fellatami, K., Syamsuri, R. R. P., & Koswara, B. (2019). Microbial Fuel Cell: Sustainable Approach for Reservoir Eutrophication. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 16(1), 1–8. <https://doi.org/10.3233/AJW190001>
- Song, X., Wang, W., Cao, X., Wang, Y., Zou, L., Ge, X., Zhao, Y., Si, Z., & Wang, Y. (2020). *Chlorella vulgaris* on the cathode promoted the performance of sediment microbial fuel cells for electrogenesis and pollutant removal. *Science of the Total Environment*, 728, 138011. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138011>
- Wang, J., Song, X., Wang, Y., Bai, J., Bai, H., Yan, D., Cao, Y., Li, Y., Yu, Z., & Dong, G. (2017). Bioelectricity generation, contaminant removal and bacterial community distribution as affected by substrate material size and aquatic macrophyte in constructed wetland-microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 245, 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.191>