



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021
"Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era
Pandemi Covid 19"**

Semarang, 28 Agustus 2021

**Analisis BOD dan Peringatan Dini Berbasis Biosensor Untuk Pemantauan
Kualitas Air**

Rame¹⁾, Agus Purwanto²⁾

^{1,2}Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Jl. Ki Mangunsarkoro No.6, Karangkidul, Kec. Semarang Tengah, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

¹Email : rame@kemenperin.go.id

²Email : a-purwanto@kemenperin.go.id

Abstrak – *Biofilm elektroaktif telah digunakan sebagai biosensor untuk pemantauan kualitas air dalam pengolahan air limbah dan pembangkit energi. Biosensor mengirimkan sinyal listrik langsung ke sensor, menghilangkan kebutuhan perantara tambahan untuk mentransfer informasi antara kedua perangkat. Biosensor semakin populer untuk dikembangkan dalam mendeteksi kontaminan spesifik dan menentukan kebutuhan oksigen biokimia. Artikel ini berfokus pada evaluasi pengembangan biosensor menggunakan bakteri elektroaktif dalam mendeteksi kebutuhan oksigen biokimia dan pengembangan sistem peringatan dini untuk kontaminan lingkungan.*

Kata Kunci : *Biosensor, deteksi BOD, kontaminan spesifik, sistem peringatan dini*

PENDAHULUAN

Berbagai strategi terkait biosensor telah dikembangkan berdasarkan mikroorganisme spesifik dalam mengangkut elektron melintasi membran biologis, baik input atau output ke lingkungan ekstraseluler (Y. Li et al., 2021; Qi et al., 2021). Sinyal berasal dari transfer elektron yang bertujuan untuk memastikan kelangsungan hidup dan reproduksi mikroorganisme. Bakteri dapat memproduksi atau mengkonsumsi arus jika kontak dengan elektroda bertegangan. Mikroorganisme menghasilkan atau mengkonsumsi arus tergantung pada aktivitasnya. Ketika pengukuran dilakukan, kemampuan mikroorganisme ditentukan oleh apakah elektroda bertindak sebagai akseptor atau donor electron (Paquete, 2020).

Untuk memaksimalkan interaksi mikroorganisme dengan permukaan elektroda dapat membentuk koloni di permukaan elektroda dan biofilm elektroaktif pada permukaan elektroda (Katuri et al., 2020). Setelah mengembangkan biofilm elektroaktif, banyak aplikasi dilakukan, termasuk sistem bioelektrokimia (Mier et al., 2021), biorefinery energi (Lu et al., 2019) atau teknologi bioproduk, dan sistem yang menggunakan kembali air limbah dan bioremediasi tanah (Paquete, 2020).

Mengingat bahwa biosensor menggunakan komponen pengenalan biologis tertentu, maka dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan oksigen biokimia (BOD) (Guo et al., 2021), racun organik (T. Li et al., 2020) dan secara kualitatif mengukur polutan dalam sistem air. Biosensor dapat menghasilkan berbagai sinyal yang dapat dimanfaatkan secara tidak langsung dalam pengukuran kualitas air. Jenis sinyal adalah

sinyal listrik, termometrik, magnetik, dan mikromekanik (Mier et al., 2021; Srivastava et al., 2020). Karena biosensor adalah alat yang menjanjikan untuk mendeteksi analit target secara kuantitatif, mereka dapat diterapkan dalam sistem peringatan dini yang komprehensif. Saat ini biosensor telah banyak digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas air.

Dalam konteks aplikasi peringatan dini, mikroorganisme sebagai biosensor dirancang untuk memberikan peringatan cepat dan akurat untuk setiap polutan potensial yang ada dalam aliran input air yang sedang dipantau. Penelitian biosensor untuk peringatan dini dalam mendeteksi potensi bahaya sesuai standard parameter lingkungan masih terus dikembangkan. Selain itu, penelitian semakin tertarik untuk mengembangkan biosensor yang dapat memberikan peringatan dini tentang bahaya yang akan datang di lingkungan akuatik.

Dalam suatu kondisi lingkungan tertentu, bakteri elektroaktif dapat mendeteksi kontaminan spesifik yang ada di lingkungan perairan. Bakteri luminescent dan bakteri elektroaktif adalah mikroorganisme yang berfungsi sebagai elemen pengukuran karena dapat menghasilkan fluoresensi dan aliran listrik yang terdeteksi sebagai sinyal peringatan tanpa mediator kimia tambahan.

Biosensor dapat diintegrasikan dengan jenis sensor lain untuk memberikan peringatan tepat waktu mengenai kontaminan spesifik yang ada dalam sumber air. Teknik ini dapat secara langsung mendeteksi nilai total BOD dalam air yang tercemar berdasarkan hubungan konversi penurunan kuat arus antara bahan organik (seperti glukosa atau asetat) dan elektron. Namun, pendekatan teknik ini tidak dapat



PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021 "Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

secara langsung mendeteksi konsentrasi toksisitas spesifik yang tepat karena tidak ada hubungan kuantitatif antara toksisitas dan bahan organik (misalnya, glukosa atau asetat). Terlepas dari kemampuan deteksi biosensor, adalah mungkin untuk menghasilkan peringatan online real-time untuk kontaminan lingkungan akuatik.

METODE

Literatur diseleksi dari database Scienedirect dengan kata kunci "bakteri elektroaktif". Dilanjutkan perbandingan untuk memilih artikel terkait biosensor, deteksi BOD, dan sistem peringatan dini. Fokus artikel pada evaluasi pengembangan biosensor menggunakan bakteri elektroaktif dalam mendeteksi BOD dan pengembangan sistem peringatan dini untuk kontaminan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi biosensor

Biosensor digunakan lebih sering untuk memastikan keamanan pasokan air minum. Saat ini, jumlah penelitian biosensor makin meningkat. Biosensor juga memberikan kontribusi positif yang signifikan terhadap pelestarian keselamatan lingkungan. Biosensor umumnya dirancang dengan elemen-elemen pengenalan biologis seperti mikroorganisme secara utuh, enzim, antibodi, protein, asam nukleat, dan komponen biologis lainnya. Elemen-elemen ini membedakan sensor dari komponen yang lain dan karena itu umum digunakan dalam pengembangan biosensor. Kinerja fungsi biosensor tergantung pada bagaimana sistem transduksi dikonfigurasi, setelah analit target telah diintegrasikan ke dalam sistem, dapat diukur secara kualitatif atau kuantitatif, tergantung pada konfigurasi sistem.

Biosensor dengan komponen tertentu seperti asam nukleat dan antibodi memiliki karakteristik sensitif dan selektif terhadap kontaminan tertentu. Selain itu, beberapa mikroorganisme juga dapat mengenali kembali dan mengikat kontaminan tertentu melalui reaksi fisik-kimia. Mekanisme deteksi kontaminan spesifik dan mekanisme melalui reaksi fisik-kimia telah digunakan sebagai metode pendekatan aplikasi biosensor untuk memberikan peringatan cepat dan akurat untuk setiap kontaminan potensial yang ada di aliran air.

Telah diketahui bahwa biosensor yang mengandung bakteri luminescent digunakan untuk mengumpulkan

data tentang biotoksitas lingkungan untuk memantau toksisitas lingkungan. Namun, karena aplikasi bakteri luminescent disajikan sebagai suspensi, menjadi batasan yang signifikan karena tidak dapat digunakan dalam aplikasi laboratorium untuk pemantauan kualitas air secara online dan real-time. Sensor berbasis biofilm elektroaktif lebih mahal daripada sensor lain, tetapi tidak mengurangi keuntungannya karena biofilm elektroaktif dapat memberikan peringatan dini secara online, yang dapat membantu dalam situasi di mana waktu adalah prioritas, seperti di rumah sakit dan unit pasokan air minum.

Semakin banyak penelitian dan aplikasi industri sedang diselidiki dan diimplementasikan basis bakteri *Shewanella putrefaciens* (*Pseudomonas putrefaciens*) (Allam et al., 2020; N. Li et al., 2020). Selain itu, pengembangan dilakukan dalam pengolahan air limbah untuk menghasilkan listrik dan biofuel dan mendeteksi toksisitas dan bahan organik dalam air limbah. Biosensor dalam pemantauan lingkungan seperti BOD dan toksisitas dapat menggunakan bakteri elektroaktif.

Nilai BOD di kolam stabilisasi air limbah fakultatif dapat diprediksi menggunakan bantuan metode pemodelan matematika. Karena nilai BOD mencerminkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengoksidasi. Semakin tinggi nilai BOD, semakin banyak bahan organik (Ihsan Wira & Sunarsih, 2018).

Analisis BOD dan peringatan dini

Metode untuk menentukan jumlah oksigen terlarut yang dikonsumsi oleh mikroba selama proses metabolisme biologis bahan organik biodegradable adalah bentuk paling dasar dari analisis BOD. Dalam analisis BOD konvensional menjadi proses yang membutuhkan waktu, yaitu memakan waktu lima hari. Selain itu, metode konvensional memiliki pengulangan rendah dan tahap proses penyelesaian yang panjang. Dengan menggunakan penemuan biosensor sebagai titik awal, ditemukan bahwa bakteri luminescent tertentu dapat digunakan untuk memantau BOD dalam waktu kurang dari yang diperkirakan sebelumnya. Pada akhirnya mengurangi waktu pemrosesan keseluruhan untuk proses analisis BOD dalam pengolahan air limbah. Meskipun biosensor sangat potensial dalam analisis BOD, hanya ada sejumlah mikroorganisme yang tersedia dan terbukti dapat digunakan. Di sisi lain, para peneliti berhasil mendorong per pertumbuhan dan



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021**
"Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era
Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

meningkatkan jumlah bakteri luminescent murni. Namun, belum memungkinkan dimanfaatkan untuk aplikasi dalam analisis BOD karena jalur metabolisme bakteri luminescent terbatas ketika bersentuhan dengan berbagai jenis bahan organik.

Mikroorganisme elektroaktif adalah mikroorganisme yang dapat mengalihkan elektron ke bahan konduktif melalui aktivitas metabolisme. Mikroorganisme elektroaktif dapat menghasilkan arus listrik dengan bertukar elektron dengan elektroda eksternal. Kemampuan elektrogenik mikroba memungkinkan pengembangan teknologi bioelektrokimia inovatif untuk pemulihan energi, pengolahan air limbah, dan sintesis material baru.

Teknologi ini masih tahap eksperimental karena sedikitnya jumlah mikroorganisme elektroaktif yang ditemukan dan sulitnya menyaring dan mengkarakterisasi kemampuan elektrogeniknya. Tabel 1 menunjukkan biosensor untuk peringatan dini dapat menggunakan mikroorganisme seperti bakteri, ragi, dan jamur sebagai sensor untuk mendeteksi kontaminasi dengan potensi bahaya.

Interaksi mikroorganisme dengan permukaan elektroda menjadi optimal jika disetting konfigurasi biofilm elektroaktif pada permukaan elektroda seperti pada Gambar 1. Biofilm elektroaktif hanya menirimkan signal jika kontak dengan komponen spesifik (Zembrzuska et al., 2019).

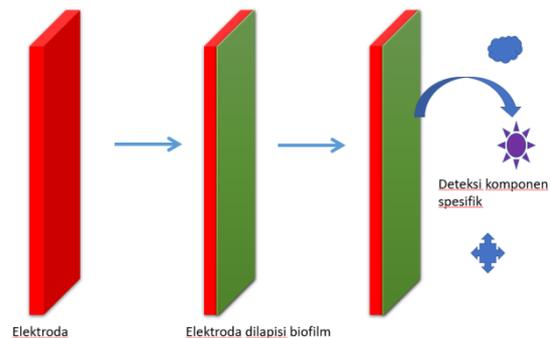
Ketika digunakan bersama dengan teknologi lain, adalah mungkin untuk menggunakan biosensor basis elektron untuk memantau tingkat BOD. Sel elektrokimia yang berfungsi dengan baik, memanfaatkan bahan organik biodegradable yang bertindak sebagai donor elektron dalam anoda, dan oksigen akan bertindak sebagai akseptor elektron di katoda. Perubahan kadar oksigen di katoda mengalami perubahan selaras dengan penurunan jumlah bahan organik. Selanjutnya dikonversi sebagai nilai BOD secara parsial. Namun karena tidak ada hubungan kuantitatif antara komponen toksik dan jumlah elektron yang ditransfer, jenis biosensor basis elektron belum dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi zat tertentu.

Biosensor terdiri dari berbagai elemen biologis, yang masing-masing berfungsi secara khusus dalam kualitas air. Biosensor dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan kualitas air. Metabolisme normal bakteri elektroaktif menghasilkan sinyal listrik yang stabil. Selanjutnya sinyal listrik akan diolah dalam perangkat elektronik untuk menghasilkan suatu nilai parameter pengukuran.

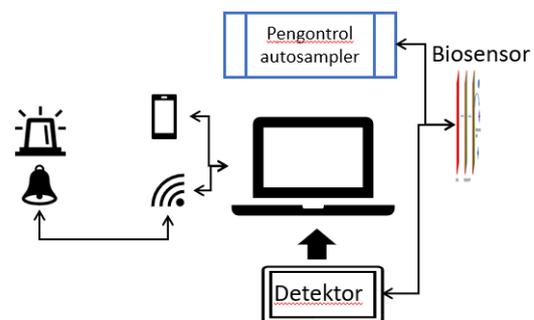
Persyaratan standar kualitas air untuk sistem air yang dipantau harus menunjukkan nilai batas atas dan nilai batas bawah. Selanjutnya, biosensor digunakan untuk mengukur berbagai kualitas air sebagai target untuk analisis di sekitar sistem. Sebagai hasil dari paparan bakteri elektroaktif ke analit target, jika ada fluktuasi sinyal dari nilai terendah yang dapat diamati, itu menunjukkan bahwa bakteri elektroaktif telah mendeteksi analit target. Oleh karena itu, sistem biosensor yang ditetapkan tidak akan menerima sinyal baru sampai fluktuasi sinyal melebihi nilai ambang batas yang telah ditentukan yang ditetapkan oleh perangkat elektronik.

Tabel 1 Contoh tabel yang sesuai dengan kolom. (Tahernia et al., 2019) (Schwab et al., 2019)

No	Mikroorganisme
1	Pseudomonas aeruginosa PAO1
2	Shewanella oneidensis MR1
3	Clostridium cochlearium
4	Lactobacillus reuteri aswell
5	Staphylococcus xylosus
6	Methanosarcina barkeri (Holmes)



Gambar 1 Biosensor basis biofilm elektroaktif



Gambar 2 Peringatan Dini basis biosensor



PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021 "Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

Ketika perangkat peringatan dini mendeteksi toksisitas yang masuk terhadap kualitas air, operator yang bekerja pada aplikasi industri terkait menerima pemberitahuan yang akurat dan tepat waktu seperti tampak pada Gambar 2. Hal ini dapat mengurangi potensi risiko kontaminan memasuki sistem distribusi air dan menentukan titik kritis dari sumber kontaminan dengan memanfaatkan sistem biosensor. Tanpa menerapkan biosensor, maka diperlukan banyak tahapan secara konvensional untuk mengidentifikasi sumber kontaminan dari berbagai sumber di lingkungan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan sumber kontaminan dan tingkat toksisitasnya di lingkungan, yang hampir pasti akan memakan banyak waktu.

Sensitivitas teknologi peringatan dini untuk mendeteksi kontaminan target harus diukur untuk menggambarkan efek kontaminan target pada sinyal ketika beroperasi secara real-time dalam kondisi dinamis. Efek dari kontaminan target pada sinyal saat ini harus dipastikan untuk menggambarkan efek kontaminan target pada sinyal target. Sensitivitas, selektivitas, dan konsentrasi secara signifikan mempengaruhi kinerja sistem peringatan dini.

Pemantauan kualitas air secara keseluruhan dapat dicapai dengan menggunakan bakteri elektroaktif dalam hubungannya dengan komponen sensitif. Untuk memantau kualitas air secara keseluruhan, bakteri elektroaktif dapat digunakan sebagai bioanoda dan biokatode. Hal ini memungkinkan untuk penilaian yang lebih akurat dari kualitas air menggunakan bakteri elektroaktif.

Bioanoda telah digunakan pada sebagian besar penelitian biosensor yang telah dilakukan hingga saat ini (Xiao et al., 2020), Namun bioanode rentan terhadap unsur-unsur pengotor. Bioanoda

KESIMPULAN

Electroactive bacteria dapat digunakan sebagai elemen sensitif dalam berbagai aplikasi lingkungan, seperti sistem peringatan dini dan deteksi BOD. Beberapa pengembangan teknologi peringatan dini berdasarkan biosensor berbasis bakteri elektroaktif telah dilakukan, seperti menggunakan biofilm *Shewanella loihica*, biocathode sebagai elemen sensitif, dan konfigurasi biosensor.

SARAN

Penelitian tentang penerapan biosensor untuk pemantauan kualitas air pada instalasi pengolahan air

menggunakan karbon organik sebagai donor elektron, sedangkan bakteri elektroaktif telah teroksidasi akan menghasilkan electron dan CO₂ dalam reaksi. Selain bakteri elektroaktif yang terbentuk pada bioanode yang berfungsi sebagai donor elektron, karbon organik dapat digunakan sebagai katoda dalam proses elektrolisis untuk menghasilkan hidrogen.

Jika input air mengandung bahan organik dan zat beracun, sensor dapat menghasilkan sinyal negatif palsu. Karena bioanoda digunakan sebagai elemen sensitif dalam penyelidikan ini, maka tidak dapat mengukur BOD dan toksisitas secara bersamaan. Untuk mengevaluasi keduanya dengan benar, perlu untuk melakukannya secara individual. Beberapa peneliti menemukan bahwa menggunakan biocathode sebagai elemen sensitif dalam beberapa pengukuran secara efektif menghindari hasil sinyal negatif palsu (Philippon et al., 2021).

Respirasi bakteri elektroaktif dapat menghasilkan elektron tambahan pada tahap akhir deteksi BOD, yang secara langsung berdampak pada akurasi deteksi. Fenomena ini telah digunakan dalam pengembangan deteksi biosensor. Analisis dasar BOD dari kuantitas tegangan sebagian dari titik penurunan arus maksimum secara signifikan meningkat dari metode sebelumnya. Pendekatan ini dapat mengurangi jumlah waktu yang dibutuhkan untuk Analisis BOD.

Beberapa komponen aditif dalam air limbah domestik yang tidak beracun dapat bertindak sebagai akseptor elektron, menyebabkan persaingan dengan elektroda dan mengurangi keakuratan penentuan BOD. Namun demikian, pilihan lain yang dapat dipertimbangkan adalah melakukan koreksi yang tepat terhadap sinyal secara real-time. Selain itu, biofilm *Shewanella loihica* dapat digunakan dalam deteksi BOD dengan adanya aditif (Qi et al., 2021).

limbah secara real-time dan online merupakan tantangan bagi para peneliti biosensor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dr. Nani H untuk diskusinya.

DAFTAR PUSTAKA

Allam, F., Elnouby, M., Sabry, S. A., El-khatib, K. M., & El-badan, D. E. (2020). ScienceDirect Optimization of factors affecting current generation , biofilm formation and rhamnolipid production by electroactive *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(20), 11419–11432.



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021**
"Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era
Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.070>

Guo, F., Liu, Y., & Liu, H. (2021). Science of the Total Environment Hibernations of electroactive bacteria provide insights into the flexible and robust BOD detection using microbial fuel cell-based biosensors. *Science of the Total Environment*, 753, 142244.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142244>

Ihsan Wira, S., & Sunarsih, S. (2018). Facultative Stabilization Pond: Measuring Biological Oxygen Demand using Mathematical Approaches. *E3S Web of Conferences*, 31, 1–4.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183105009>

Katuri, K. P., Kamireddy, S., Kavanagh, P., Muhammad, A., Conghaile, P., Kumar, A., Saikaly, P. E., & Leech, D. (2020). Electroactive biofilms on surface functionalized anodes: The anode respiring behavior of a novel electroactive bacterium, *Desulfuromonas acetexigens*. *Water Research*, 185, 116284.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116284>

Li, N., Wan, Y., & Wang, X. (2020). Science of the Total Environment Nutrient conversion and recovery from wastewater using electroactive bacteria. *Science of the Total Environment*, 706, 135690.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135690>

Li, T., Chen, F., Zhou, Q., Wang, X., Liao, C., Zhou, L., Wan, L., An, J., Wan, Y., & Li, N. (2020). Unignorable toxicity of formaldehyde on electroactive bacteria in bioelectrochemical systems. *Environmental Research*, 183(November 2019), 109143.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109143>

Li, Y., Liu, J., Chen, X., Yuan, X., Li, N., He, W., & Feng, Y. (2021). Biosensors and Bioelectronics Tailoring spatial structure of electroactive biofilm for enhanced activity and direct electron transfer on iron phthalocyanine modified anode in microbial fuel cells. *Biosensors and Bioelectronics*, 191(May), 113410.

<https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113410>

Lu, L., Lobo, F. L., Xing, D., & Ren, Z. J. (2019). Active harvesting enhances energy recovery and function of electroactive microbiomes in microbial fuel cells. *Applied Energy*, 247(March), 492–502.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.074>

Mier, A. A., Olvera-Vargas, H., Mejía-López, M., Longoria, A., Vereá, L., Sebastian, P. J., & Arias, D. M. (2021). A review of recent advances in electrode materials for emerging bioelectrochemical systems: From biofilm-bearing anodes to specialized cathodes. *Chemosphere*, 283(February), 131138.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131138>

Paquete, C. M. (2020). Electroactivity across the cell wall of Gram-positive bacteria. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 3796–3802.

<https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.11.021>

Philippon, T., Tian, J., Bureau, C., Chaumont, C., Midoux, C., Tournebize, J., Bouchez, T., & Barrière, F. (2021). Denitrifying bio-cathodes developed from constructed wetland sediments exhibit electroactive nitrate reducing biofilms dominated by the genera *Azoarcus* and *Pontibacter*. *Bioelectrochemistry*, 140.

<https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2021.107819>

Qi, X., Wang, S., Li, T., Wang, X., Jiang, Y., Zhou, Y., Zhou, X., Huang, X., & Liang, P. (2021). An electroactive biofilm-based biosensor for water safety: Pollutants detection and early-warning. *Biosensors and Bioelectronics*, 173(November 2020), 112822.

<https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112822>

Schwab, L., Rago, L., Koch, C., & Harnisch, F. (2019). Bioelectrochemistry Identification of *Clostridium cochlearium* as an electroactive microorganism from the mouse gut microbiome. *Bioelectrochemistry*, 130, 107334.

<https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.107334>

Srivastava, P., Abbassi, R., Yadav, A. K., Garaniya, V., & Asadnia, M. (2020). A review on the contribution of electron flow in electroactive wetlands: Electricity generation and enhanced wastewater treatment. *Chemosphere*, 254, 126926.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126926>

Tahernia, M., Mohammadifar, M., Hassett, D. J., & Choi, S. (2019). A fully disposable 64-well papertronic sensing array for screening electroactive microorganisms. *Nano Energy*, 65(June), 104026.

<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104026>

Xiao, N., Wu, R., Huang, J. J., & Selvaganapathy, P. R. (2020). Anode surface modification regulates biofilm community population and the performance of micro-MFC based biochemical oxygen demand sensor. *Chemical Engineering Science*, 221, 115691.

<https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115691>

Zembrzuska, D., Kalecki, J., Cieplak, M., Lisowski, W., Borowicz, P., Noworyta, K., & Sharma, P. S. (2019). Electrochemically initiated co-polymerization of monomers of different oxidation potentials for molecular imprinting of electroactive analyte. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 298(July 2019), 126884.

<https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.126884>