

Bioremediasi Sedimen Tercemar Limbah Amonia Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cell Di Kawasan Mangrove Nusa Dua Bali

Aris Dwi Rahmanto, Dulmi'ad Iriana, Yudi N. Ihsan
Universitas Padjadjaran

Abstrak

Teknologi microbial fuel cell merupakan teknologi yang dapat mengkonversi reaksi kimia menjadi energi listrik melalui metabolisme bakteri. Teknologi ini juga dapat membantu dalam proses bioremediasi. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penggunaan microbial fuel cell terhadap penurunan konsentrasi amonia dan produksi listrik yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Manajemen Sumberdaya Perairan dan Laboratorium Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran dari bulan Oktober hingga Desember 2015. Sampel sedimen dan sampel air yang tercemar amonia diambil dari Unit Pengolahan Air Limbah Indonesia Tourism Development Corporation (ITDC) Nusa Dua, Bali. Metode yang digunakan ini menggunakan metode rancangan acak lengkap dengan 3 perlakuan (konsentrasi amonia tinggi, sedang, dan rendah) dan juga dengan tiga pengulangan. Pengambilan sampel dilakukan di kolam pengolahan air limbah dan area ekosistem mangrove. Parameter yang diukur adalah power density dan amonia. Pengukuran nilai tegangan listrik dan arus listrik dilakukan selama empat belas hari dengan interval waktu pengamatan jam ke- 0, 4, 8, 16, 24, 48, dan 336. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai tertinggi power density yang didapat masing-masing sebesar 14,82+15,92 W/m², 255,66+ 227,39 W/m², dan 81,1+ 59,64 W/m² untuk perlakuan konsentrasi amonia tinggi, konsentrasi sedang dan konsentrasi rendah. Persentase penurunan amonia dengan bakteri indigenous yang didapat masing-masing sebesar 98,42 %, 88,3%, dan 61,23% untuk perlakuan konsentrasi amonia tinggi, sedang dan rendah. Disimpulkan bahwa MFC dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi amonia dan menghasilkan listrik.

Kata kunci : Amonia, Bioremediasi, Metabolisme, Microbial Fuel Cell

Abstract

Microbial fuel cell technology is a type of fuel cell which convert chemical reaction to electric energy by bacteria metabolism. The purpose of this research is to know the MFC application to decrease the concentration of ammonia and the electrical power produced. This research was conducted at the Laboratory of the Management of Aquatic Resources and Marine Science Laboratory, University of Padjadjaran start from October until December 2015. The samples and water samples which contaminated by ammonia are taken from waste water treatment unit of Indonesia Tourism Development Corporation (ITDC) Nusa Dua, Bali. This method used completely randomized design with three treatment (high ammonia concentration, medium and low concentration) and three replacement. The sampling took from waste water treatment and mangrove ecosystems. The parameter was measured are power density and ammonia concentration. Voltage value and current electric value was conducted for fourteen days with interval of observation time at 0, 4, 8, 16, 24, 48, and 336 hours. The results of this research indicate that the value of the highest power density in the treatment is 14.82 + 15.92 W/m², 255.66+ 227.39 W/m², and 81.1+ 59.64 W/m² for high concentration treatment, medium concentration treatment, and low concentration treatment. The degradation percentage of ammonia by indigenous bacteria showed with the highest value is 98.42%, 88.3%, and 61.23% for high concentration treatment, medium, and low. The conclusion is MFC can reduce ammonia and produce the electricity.

Keywords : Amonia, Microbial Fuel Cell, Metabolism, Bioremediation

Pendahuluan

Masuknya bahan organik ataupun anorganik secara terus menerus dapat mengakibatkan konsentrasi di perairan meningkat ditambah dengan mekanisme self-purification yang tidak berjalan seimbang. Hal tersebut mengakibatkan kualitas perairan tersebut akan melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Salah satu bahan aorganik adalah amonia yang dapat menimbulkan iritasi terhadap manusia, terutama pada saluran pernapasan, kulit dan mata sedangkan kepada biota perairan amonia dapat mengalami keracunan (Titiresmi dan Sopiah 2006). Nusa Dua merupakan salah satu tujuan destinasi wisatawan di Bali. Peningkatan jumlah penduduk yang diikuti dengan peningkatan aktivitas masyarakat dapat menyebabkan penurunan kualitas perairan baik secara fisik, kimia, mikrobiologi dan estetikanya. Tujuh pantai yang terdapat di Kab. Badung, pantai Nusa Dua salah satunya telah tercemar akibat buangan limbah makanan, air limbah laundry dan aktivitas manusia yang terbuang tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu.

Upaya untuk pemulihan kembali ke kondisi semula di lingkungan yang telah tercemar dapat dilakukan dengan cara bioremediasi yaitu pemulihan melalui bantuan bakteri yang hidup di daerah tercemar (indigeneous). Ketersediaan akan nutrisi seperti N, C dan P dapat membuat bakteri tumbuh dengan baik. Nitrogen pada amonia merupakan nutrisi yang berfungsi untuk pertumbuhan dan reproduksi bakteri sehingga

pemberian nutrisi dengan kadar lebih tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri (Widjaja dan Sunarko 2007). Selain itu, nitrat merupakan salah satu akseptor elektron yang dapat memberikan stimulus degradasi anaerob, akan tetapi dalam kondisi anaerob senyawa nitrat dapat tereduksi (Huang et al. 2011). Hal tersebut dapat menurunkan proses degradasi oleh komunitas bakteri. Maka, penggunaan elektroda (karbon grafit) sebagai akseptor elektron pengganti yang terhubung melalui rangkaian Microbial Fuel Cell (MFC) dirasa cukup baik Karena biocompatible. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penerapan Teknologi microbial fuel cell terhadap penurunan pencemaran amonia di Nusa Dua Bali dan mengetahui seberapa besar daya listrik yang dihasilkan melalui perbedaan tingkat pencemaran.

Metode Penelitian

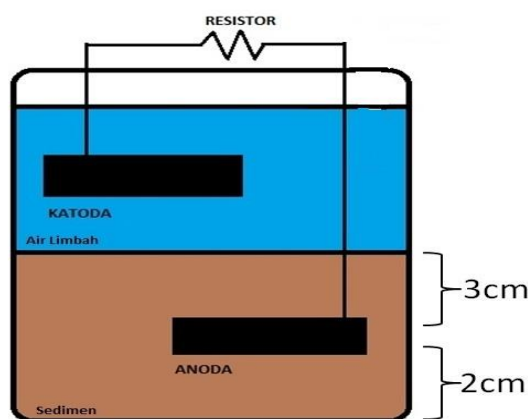
Metode penelitian menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Dimana setiap perlakuan diberikan tiga pengulangan dan diberi kontrol. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September hingga Desember 2015 yang terdiri dari pengambilan sampel, pengukuran parameter listrik (arus listrik dan tegangan), uji amonia dan kultur bakteri. Pengambilan sampel dilakukan di kolam pengolahan air limbah PT.ITDC Bali. Lokasi pengambilan sample dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Sedimen dan air dari stasiun 1 merupakan bahan untuk perlakuan A, kemudian sedimen dan air dari stasiun 2 merupakan bahan untuk perlakuan B, dan sedimen dan air dari stasiun 3 merupakan bahan untuk perlakuan C. Kemudian Alat-alat yang yang digunakan pada penelitian secara garis besar dibagi menjadi tiga kelompok meliputi alat untuk sampling, alat untuk uji elektrisitas, alat uji amonia, dan alat idenntifikasi bakteri. Sedangkan, bahan yang digunakan meliputi bahan-bahan untuk netralisasi elektroda, bahan uji amonia, dan bahan untuk identifikasi bakteri.

Elektroda yang digunakan berjumlah 9 pasang atau 18 buah dengan jenis bahan karbon grafit berbentuk kubus dan berdimensi 6 x 1,5 x 1 cm. Penggunaan jenis karbon grafit dipilih karena memiliki sifat biocompatible atau cocok untuk mikroorganisme. Bejana atau chmber yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari toples plastik berukuran diameter 14 cm dan tinggi 15 cm (Gambar 2). Jenis MFC yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian Permana (2014), yaitu MFC *single chamber*.



Gambar 2. MFC Single Chamber

Pengukuran nilai arus dilakukan pada jam ke 0, 4, 8, 16, 24, 48, 72 hingga ke 480 atau 20 hari. Selanjutnya nilai pengukuran tersebut akan digunakan untuk penentuan nilai *current density* (mA/m²) dan *power density* (mW/m²) menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Current Density} = \frac{I}{A}$$

$$\text{Power Density} = \frac{V \times I}{A}$$

Kemudian untuk pengukuran amonia menggunakan spektrofotometer yang mengacu kepada Plumb (1981). Berikut rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai konsentrasi amonia.

$$\frac{1000}{25} \times \frac{\text{absorbansi pengukuran}}{\text{absorbansi standar}} \times 5 \cdot 10^{-3} = \text{nilai nitrogen total (mg/l)}$$

$$\begin{aligned} & \text{nilai tabel} \\ & \frac{\text{konversi amonia}}{100} \times \text{nilai absorbansi pengukuran} \\ & = \text{NH}_3(\text{mg/l}) \end{aligned}$$

Sedangkan Perhitungan matematis mengacu pada Wahjuni et al. (2007), besarnya efisiensi penurunan kadar amonia dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Eff} = \frac{S_0 - S_n}{S_0} \times 100 \%$$

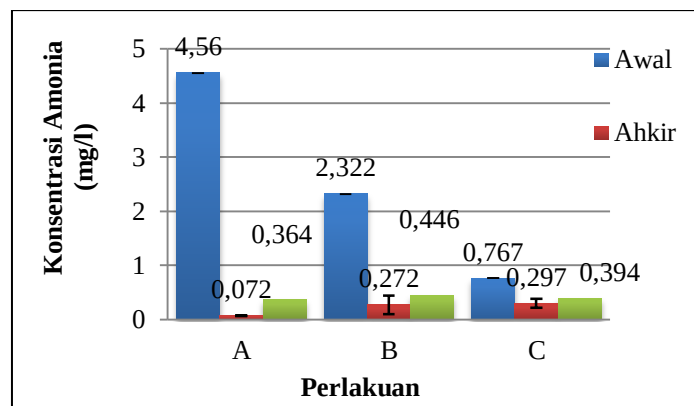
Identifikasi bakteri pada penelitian ini ditujukan untuk melihat aktivitas bakteri yang terdapat pada sedimen di lokasi tersebut. Karakteristik morfologinya meliputi warna koloni, bentuk koloni, ukuran koloni, tepian, dan kenaikan permukaan koloni. Karakterisasi koloni bakteri mengacu pada Cappucino dan Sherman (1986).

Hasil dan Pembahasan

Bioremediasi Amonia

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi amonia pada perlakuan A, B, dan C, penurunan yang paling signifikan terjadi pada perlakuan A sebesar 98,42% dengan nilai konsentrasi akhir amonia ($0,072 \pm 0,004$) mg/l, kemudian pada perlakuan B terjadi penurunan sebesar 88,3% dengan nilai konsentrasi akhir amonia ($0,272 \pm 0,175$) mg/l, dan pada perlakuan C terjadi penurunan sebesar 61,23%

dengan nilai konsentrasi akhir amonia ($0,297 \pm 0,084$) mg/l. Jika merujuk pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no KEP-02/MENKLH/I/1988 mengenai baku mutu konsentrasi amonia untuk biota kawasan taman laut konservasi yang diinginkan adalah $< 0,1$ mg/l dan masih diperbolehkan sebesar $< 0,3$ mg/l. Bioremediasi amonia menggunakan MFC selama 14 hari dapat menghasilkan nilai akhir konsentrasi amonia yang masih diperbolehkan untuk kawasan taman laut konservasi.



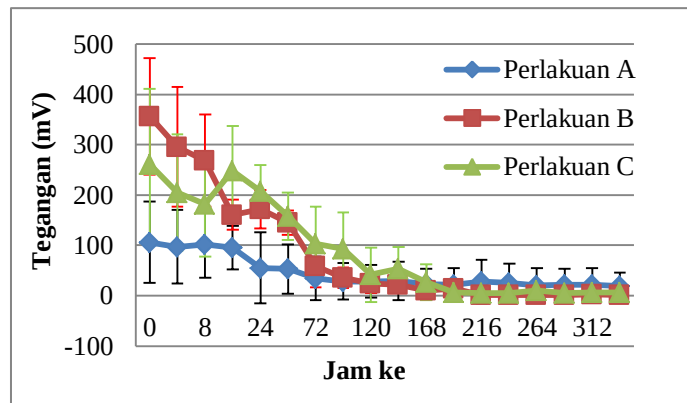
Gambar 3. Grafik Penurunan Amonia

Amonia dapat tereduksi dengan bantuan bakteri *indigenous* melalui proses metabolisme. Mekanisme degradasi amonia banyak dilaporkan terjadi pada kondisi aerob oleh kelompok bakteri nitrifikasi. Proses nitrifikasi terjadi dalam dua rangkaian reaksi, yaitu proses nitritasi oleh bakteri *amonnia oxidizing bacteria* (AOB), seperti *Nitrosomonas* dan proses nitratasi oleh bakteri *nitrite oxidizing bacteria* (NOB), seperti *Nitrobacter* (Titiresmi dan Sopiah 2006). Proses nitrifikasi tidak hanya terjadi pada kondisi aerob namun juga dapat terjadi pada kondisi anaerob dan kurangnya kandungan oksigen yang tersedia melalui peran serta bakteri *anaerob ammonia oxidizing* (Anamox). Menurut Ambarsari (2004) bahwa bakteri anamox hanya membutuhkan oksigen dalam jumlah yang sedikit dan tanpa bahan organik untuk memproduksi gas dinitrogen (N_2). Diduga peran serta bakteri anamox dalam penelitian ini memberikan pengaruh terhadap penurunan amonia pada sedimen.

Berdasarkan analisis Varian (ANOVA) pada taraf kesalahan $\delta = 5\%$ mengenai kesimpulan F-hitung dengan F-tabel apabila nilai F-hitung $> F$ tabel maka terdapat hubungan yang signifikan dan sebaliknya tabel maka tidak ada hubungan yang signifikan. Berdasarkan hasil analisis tersebut didapatkan bahwa nilai F-hitung sebesar $18,50 > F$ tabel untuk taraf kesalahan 5% dengan nilai 5,14. Dengan demikian, pemberian komponen MFC memberikan pengaruh yang cukup baik terhadap penurunan amonia.

Produksi Listrik

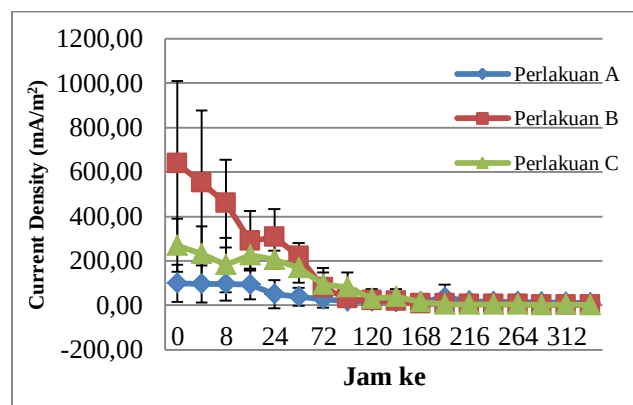
Nilai tegangan di awal pengamatan menunjukkan nilai paling tinggi untuk tiap perlakuan. Untuk perlakuan A mempunyai nilai sebesar ($106 \pm 80,7$) mV, perlakuan B dengan nilai sebesar ($356 \pm 115,38$) mV, dan perlakuan C dengan nilai sebesar ($261 \pm 150,02$) mV. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa nilai perlakuan B mempunyai nilai awal paling tinggi sedangkan perlakuan A mempunyai nilai awal paling rendah.



Gambar 4. Grafik Tegangan Listrik

Nilai puncak tegangan pada perlakuan A memiliki nilai tegangan yang paling kecil dari pada perlakuan B dan C, hal tersebut diduga terjadi karena pengaruh dari aktivitas bakteri dan pH. Jumlah aktivitas mikroorganisme akan mempengaruhi dari proses pemecahan senyawa pada substrat. Menurut Pant *et al.* (2009) bahwa nilai potensial listrik yang diperoleh dari kemampuan MFC sebagai sistem *converter* energi dapat terjadi melalui aktivitas mikroorganisme. Terjadinya fluktuasi nilai tegangan listrik disebabkan karena adanya aktivitas metabolisme bakteri dalam pemecahan senyawa kompleks menjadi

senyawa sederhana dan interaksi dan persaingan antara bakteri di dalam substrat pertumbuhan (Ibrahim *et al.* 2014). Terjadinya aktivitas bakteri ditandai dengan meningkatnya nilai tegangan listrik yang ditimbulkan, dimana banyaknya senyawa nutrien yang dikonsumsi oleh mikroba akan meningkatkan aktivitas metabolisme (Kristin 2012). Sedangkan penurunan tegangan listrik yang terjadi pada akhir pengukuran pada MFC disebabkan karena terjadinya proses nitrifikasi. Pada grafik *current density* mempunyai pola yang hampir sama dengan grafik tegangan dimana terjadi penurunan nilai.



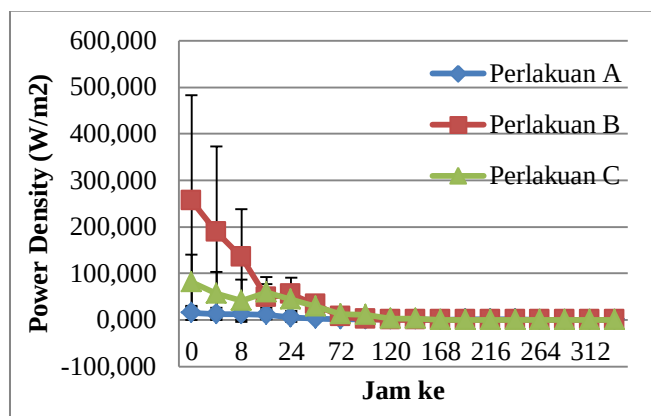
Gambar 5. Grafik *Current Density*

Secara keseluruhan pada setiap perlakuan terjadi penurunan *current density* dari jam ke-0 hingga jam ke-120. Nilai *current density* paling tinggi tercatat pada jam ke-0. Nilai awal pada perlakuan A sebesar $(98,99 \pm 84,85)$ mA/m², perlakuan B sebesar $(637,71 \pm 373,21)$ mA/m², dan perlakuan C sebesar $(270,37 \pm 119,7)$ mA/m². Kemudian nilai *current density* mengalami peningkatan di perlakuan B pada jam ke-4 dan di perlakuan C

mengalami peningkatan pada jam ke-3. Namun pada perlakuan A menunjukkan nilai statis hingga jam ke-16 kemudian perlahan mengalami penurunan hingga jam ke-120. Nilai rata-rata *current density* pada perlakuan A sebesar 38,31 mA/m², perlakuan B sebesar 146,95 mA/m², dan perlakuan C sebesar 86,89 mA/m². Kemudian pola grafik *power density* memiliki hal serupa dengan *current density*.

Faktor yang berpengaruh terhadap *power density* adalah nilai arus dan tegangan listrik (Gambar 6). Terlihat dari nilai persentase penurunan amonia yang diperoleh 98,42% dengan puncak *power density* sebesar $(14,82 \pm 15,92) \text{ W/m}^2$ untuk perlakuan A, sedangkan perlakuan B 88,3% dengan puncak *power density* sebesar $(255,66 \pm 227,39) \text{ W/m}^2$

dan perlakuan C 61,23% dengan puncak *power density* sebesar $(81,1 \pm 59,64) \text{ W/m}^2$. Jika dikonversikan dalam bentuk mW/m^2 maka nilai *power density* yang diperoleh untuk masing-masing perlakuan A, B dan C sebesar $14823,34 \text{ mW/m}^2$, $255662,29 \text{ mW/m}^2$, dan $81100,79 \text{ mW/m}^2$.



Gambar 6. Grafik Power Density

Karakterisasi Bakteri Nitrifikasi

Dari isolat yang diperoleh umumnya memiliki kesamaan dengan karakteristik kelompok bakteri nitrifikasi, jika dilihat dari bentuk koloni bakteri yang didapatkan yaitu *circular* dan *irregular*. Warna koloni putih, putih susu, putih bening dan putih kekuningan. Elevasi koloni *flat* dan *convex*. Tepian koloni *entire* dan *endulate*. Menurut Kiding *et al.* (2015) bahwa bakteri nitrifikasi umumnya memiliki bentuk koloni bulat, warna koloni putih, putih susu, putih bening, dan putih kekuningan, dengan elevasi cembung dan

datar, tepian koloni licin dan berombak. Berdasarkan hasil kesamaan karakterisasi tersebut maka isolat yang diperoleh diduga juga memiliki kemampuan dalam menurunkan konsentrasi amonia. Hal ini terlihat dari penurunan konsentrasi amonia pada masing-masing perlakuan. Selain itu penggunaan medium selektif untuk bakteri nitrifikasi turut mendukung bahwa isolat yang diperoleh merupakan kelompok bakteri nitrifikasi yang mampu mendegradasi amonia. Beberapa perbandingan produksi listrik dan penurunan amonia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Produksi Listrik dan Degradasi Amonia dengan Penelitian Lainnya

No	Substrat	Sistem	Perlakuan	Produksi Listrik mW/m^2	Penuruna Amonia	Sumber
1	Air Limbah	Single Chamber	• Amonia 4,56 mg/l	14823,34	98,42%	Hasil Penelitian
			• Amonia 2,32 mg/l	255662,29	88,3%	
			• Amonia 0,76 mg/l	81100,79	61,23%	
2	Amonia	Single Chamber	○ Nafion	945	97%	Yan <i>et al.</i> (2012)
			○ DEA	900	95%.	
3	Amonia	Dual Chamber	• Amonia 18 mM	0.181	83,33%	Daalkhaijav (2012)
			• Amonia 30,6 mM		70,97	
4	Air Limbah	Single Chamber		180	59,57%	Kim <i>et al.</i> (2008)

Meningkatnya produksi listrik pada MFC menandakan semakin banyak elektron yang dilepas oleh bakteri kemudian ditransfer menuju anoda. Nilai *power density* dari penelitian ini diperoleh nilai yang tinggi karena perlakuan *single chamber* memberikan jalan oksigen masuk ke kolom sedimen tanpa terbatas oleh membran. Secara langsung oksigen tersebut akan mempengaruhi proses bioremediasi yang nantinya akan berpengaruh terhadap produksi listrik yang dihasilkan.

Simpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah teknologi microbial fuel cell dapat menurunkan konsentrasi amonia antara 61,234 – 98,241% bergantung kepada konsentrasi awal amonia, semakin tinggi konsentrasi awal amonia maka semakin tinggi penurunan yang diakibatkan MFC. Selain itu, teknologi microbial fuel cell dapat menghasilkan power density berasal dari limbah perhotelan antara 4.09 - 40.35 W/m² tergantung terhadap konsntrasi amonia dan jumlah koloni isolat bakteri yang digunakan.

Daftar Pustaka

- Ambarsari, H. 2004. Manajemen Dan Teknologi Proses Yang Tepat Guna Untuk Mengatasi Polus I Nitrat Di Lngkungan Tanah Dan Air Dalam Rangka Pembangunan Berkelanjutan. Prosiding Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah IV Serpong .1410-6086
- Cappucino J. G. and N. Sherman. 1998. Microbiology: A laboratory Manual. 5th Ed., Benjamin/Cummings imprint.
- Daalkhajjav, U. 2012. Removal Of Ammonia (Nitrification) In Conventional And Microbial Fuel Cell Type Bioreactors. Thesis Department of Chemical and Biological Engineering. University of Saskatchewan Saskatoon, SK. Canada.
- Huang, De-Yin., Zhou, Shun-Gui., Chen, Qing., Zhao, Bo., Yuan, Yong., Zhuang, Li. 2011. Enhanced anaerobic degradation of organic pollutants in a soil microbial fuel cell. Chemical Engineering Journal 172 (2011) 647– 653.
- Ibrahim, B., P.Suptijah, dan S. Rosmalawati. 2014. Kinerja Rangkaian Seri Sistem Microbial Fuel Cell Sebagai Penghasil Biolistrik Dari Limbah Cair Perikanan. Jurnal JPHPI. Volume 17 Nomor 1.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 1988. Keputusan Negara Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 1988 Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut (Taman Laut Konservasi). KNLH. Jakarta.
- Kiding, A., S. Khotimah, dan R. Linda. 2015. Karakterisasi dan Kepadatan Bakteri Nitrifikasi pada Tingkat Kematangan Tanah Gambut yang Berbeda Di Kawasan Hutan Lindung Gunung Ambawang Kabupaten Kubu Raya. Jurnal Protobiont. Vol. 4 (1) : 17-21.
- Kim, J.R., Y. Zuo, J. M. Regan, dan B E. Logan. 2008. Analysis of Ammonia Loss Mechanisms in Microbial Fuel Cells Treating Animal Wastewater. Biotechnology and Bioengineering. Vol. 99 (5): 1120–1127.
- Kristin, E. 2012. Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- Pant D, Bogaert G.V., Diels L., Vanbroekhoven K. 2009. A review of the substrates used in Microbial Fuel Cells (MFCs) for sustainable energy production. Bioresource Technology. Article in press: 1-11.
- Permana, R. 2014. Bioremediasi Sedimen Tercemar Hidrokarbon DI Perairan Pesisir Indramayu Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cell. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Padjadjaran. Jatinangor.
- Plumb, R. H. Jr. 1981. Procedures For Handling And "Chemical Analysis Of Sediment And Water Samples. University College at Buffalo. New York.
- Titiresmi dan N. Sopiah. 2006. Teknologi Biofilter Untuk Pengolahan Limbah Amonia. Jurnal. Tek. Ling. PTL-BPPT. 7(2): 173-179.

Wahjuni, N.S., S. H. Purnomo, dan W. B. Kusumaningrum. 2007. Kinetika Proses Biodegradasi Anaerob Air Sampah Menggunakan Alat Bioreaktor Berpenyekat Anaerob. *Ekuilibrium*, 6(1): 21-25.

Widjaja, T. dan L. Sunarko. 2007. Pengaruh Perbandingan Nutrisi Terhadap Pengolahan

Minyak Secara Biologis Dengan Bakteri Mixed-Culture. *Jurnal Teknologi Kimia Indonesia* Vol. 6 No.2 :755-762.

Yan, H., T. Saito, dan J. M. Regan. 2012. Nitrogen removal in a single-chamber microbial fuel cell with nitrifying biofilm enriched at the air cathode. *Jurnal water research* 46.