

MICROBIAL FUEL CELL BERBASIS YEAST *Saccharomyces cerevisiae*

Ummymardiana^{1,2}, Buchari Buchari², Suryo Gandasasmita²

¹Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung, West of Java Indonesia 40132
mardiana.ramdan@gmail.com, Ummy.Mardiana@iemmm.univ-montp2.fr

²STIKes BTH Tasikmalaya, Jalan Cilolohan 36 Tasikmalaya, West of Java Indonesia 46115

ABSTRACT

Nowadays, many research on energy production have been intensively developed. MFCs are known as green technology is a new opportunity for the sustainable production of energy by converting chemical energy to electrical energy by biodegradation using microorganisms as biocatalysts. We propose a microbial fuel cell which Baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* as biocatalyst, whereas $K_3Fe(CN)_6$ was used as electron acceptor in the catholyte. Chronoamperometry has been selected as method to determination of the MFC operational characteristics. Several conditions to optimize current and power density of the MFC has been observed. The effect of yeast preparation, temperature, stability of yeast and have been characterized and prepared for MFC. The effect of yeast preparation could achieve enhancement of power output around 40%, meanwhile the optimum temperature has been achieved at 40°C. The stability of yeast has been obtained during 3 weeks of observation. The MFC operation has been built during 7 days of running and the maximum current density produced by the cell was 92.5 mA.m⁻². Further developments are in progress to improve performance and power output to make yeast fuel cells applicable as one of promising biotechnology for desalination and water treatment.

Keywords: Microbial fuel cell (MFC), Microbial desalination cell (MDC) *Saccharomyces cerevisiae*, biocatalyst, electro dialysis, desalination

PENDAHULUAN

Listrik menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan manusia pada saat ini. Di negara berkembang, listrik diperoleh dengan cara menggunakan solar/ bahan bakar minyak untuk PLTD, serta pengolahan berbagai macam sumber daya fosil yang dimiliki. Berbagai macam cara telah diupayakan sebagai solusi mengatasi ketergantungan manusia atas energi yang berasal dari fosil. Di zaman modern seperti sekarang ini, listrik bukanlah hal yang baru lagi bagi kita. Energi multifungsi ini sangat berperan besar dalam kehidupan. Terutama untuk manusia. Di Negara berkembang seperti Indonesia, listrik diperoleh dengan cara pengolahan berbagai macam sumber daya fosil yang dimiliki. Data Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM) Tahun 2006 menyebutkan lebih dari 90% pemakaian energi di Indonesia menggunakan energi fosil, sedangkan sumber energi lain meliputi tenaga air, panas bumi serta dari energi baru dan terbarukan (EBT) lainnya hanya berkisar dibawah 5%. Penggunaan sumber energi

fosil yang secara terus menerus dapat berdampak terhadap penipisan cadangan bahan bakar fosil dan peningkatan jumlah CO₂ di atmosfer. Tantangan dalam pengembangan pembangkit listrik adalah menemukan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Pemanfaatan mikroorganisme untuk menghasilkan energi listrik menjadi upaya yang ditempuh dan dilakukan oleh para peneliti dalam beberapa tahun ini. Sistem yang digunakan adalah teknologi *Microbial Fuel Cells* (MFCs).

Pada *fuel cell* jenis ini, bahan bakar dioksidasi oleh mikroorganisme di anode, menghasilkan elektron dan proton. Elektron ditransfer ke katode melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton ditransfer ke katode melalui separator membran. (Du *et al.*, 2007). Berbagai mikroorganisme berperan dalam MFC, mulai dari yang bersifat aerob, anaerob fakultatif maupun anaerob obligat (Kim *et al.* 2006).

MFCs mempunyai berbagai kelebihan, diantaranya memiliki tingkat efisiensi yang

tinggi, perangkat operasi yang sederhana, tidak dibutuhkan energi dari luar sistem, dan dapat diaplikasikan pada berbagai tempat yang memiliki infrastruktur listrik yang kurang memadai (Rabaey dan Verstraete 2005). Sebagian besar bakteri yang telah diidentifikasi mampu menghasilkan listrik pada *fuel cell* adalah bakteri pereduksi logam. Penelitian lain menunjukkan pembangkit listrik MFC dapat dihasilkan oleh bakteri seperti *Alcaligenes faecalis*, *Enterococcus faecium*, dan *Pseudomonas aeruginosa* (Rabaey et al. 2004). Adapun bahan organik yang dapat digunakan sebagai substrat dalam *microbial fuel cell* adalah glukosa (Liu dan Logan 2004), pati (Min dan Logan 2004), asam lemak (Liu et al. 2005), asam amino dan protein (Logan et al. 2005), dan limbah yang dihasilkan manusia dan hewan (Liu et al. 2004).

Teknologi MFC telah dikembangkan pada aplikasi pengolahan limbah cair an bioenergi. Modifikasi sistem MFC telah banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja MFC. Efisiensi dan kerapatan daya yang dihasilkan pada MFC dapat dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya proses transfer electron dari membrane sel mikroorganisme ke permukaan electrode (Schroder, 2007) dan beberapa jenis bakteri yang digunakan. Selain itu penggunaan beberapa mediator electron dianggap perlu untuk memediasi proses transfer electron seperti methylene blue, neutral red (Gunawardena et al. 2008).

Adalah yeast, *Sacharomyces cereviceae*, bakteri yang dikenal dalam proses pembuatan roti, dewasa ini juga digunakan sebagai bakteri dalam teknik MFC. Keunggulan yang dimiliki oleh ragi karena harganya yang relative murah,

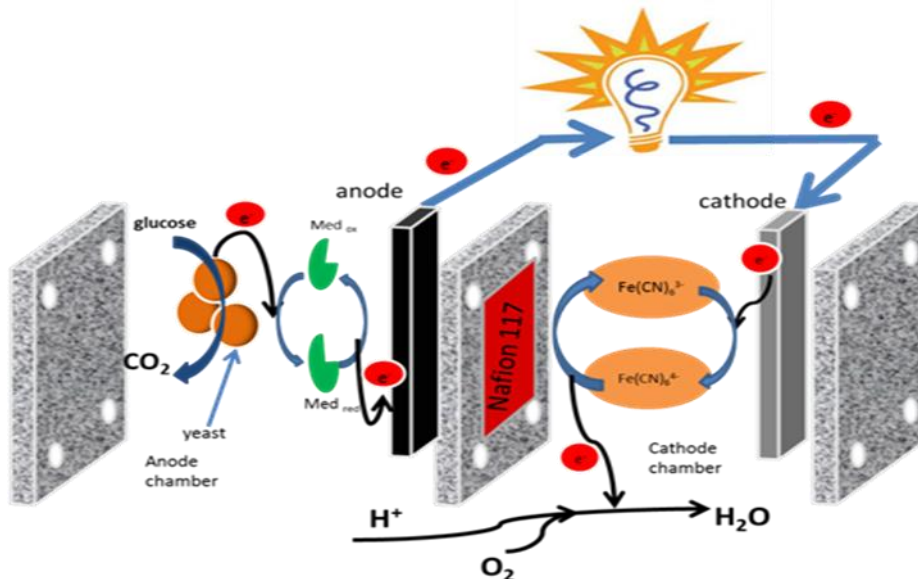
mudah diperoleh, dapat beradaptasi pada lingkungan yang berbeda, tidak memerlukan kondisi lingkungan yang steril, mudah diaktivasi dengan cukup melarutkannya dan memberikan temperature, serta dapat melakukan oksidasi senyawa organic pada kondisi aerob dan anaerob (Alyssa, 2006).

Pemanfaatan energy listrik yang dihasilkan dari penelitian ini akan kedepannya akan digunakan untuk proses desalinasi air laut melalui mekanisme elektrodialisis. Adanya perbedaan tegangan yang terjadi diantara anode dan cathode akan menyebabkan gaya dorong dari sejumlah ion Na^+ dan Cl^- yang terdapat dalam larutan garam sehingga akan menghasilkan air bebas garam.

Dalam penelitian ini, penggunaan teknik MFC dilakukan dengan menggunakan yeast sebagai mikroorganisme dan methylene blue sebagai mediator. Dan optimalisasi eksperimen yang dilakukan meliputi penentuan kondisi optimum ruang anoda.

METODOLOGI PENELITIAN

Prinsip kerja dari MFC dengan yeast sebagai biokatalis sangat sederhana, yaitu menempatkan dua elektroda yang saling terhubung, yaitu anode dan katoda. Adanya glukosa akan dioksidasi oleh yeast menghasilkan electron. Proses transfer electron dilakukan dengan bantuan mediator, methylen blue. Elektron yang ditangkap oleh anoda akan dialirkan melalui sirkuit menuju katoda. Adanya perbedaan tegangan antara anoda dan katoda menyebabkan terjadinya arus listrik. Secara umum prinsip MFC berbasis yeast seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Prinsip Yeast Fuel Cell

Tahap Preparasi Yeast

Preparasi yeast dilakukan sebelum yeast digunakan sebagai biokatalis pada MFC. Penambahan sejumlah media dimaksudkan untuk melakukan kultivasi terhadap yeast. Media yang digunakan adalah campuran dari pepton ; dextrose : malt ekstrak 2 ; 1.5 ; 1 untuk setiap 2gr yeast dalam 100 mL larutan buffer pospat pH 7. Larutan didiamkan selama 24 jam dalam inkubator bersuhu 30°C. Selanjutnya yeast dikumpulkan setelah disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 5000 rpm, dilakukan pencucian terhadap sel sebanyak 3x menggunakan larutan buffer pospat pH 7. Sebelum digunakan untuk MFC sebaiknya diaktivasi dengan suhu 40 °C selama 5 menit.

Penentuan Temperatur optimum proses MFC

Variasi temperature dilakukan pada MFC dan pemantauan arus yang dihasilkan dilakukan dengan cara *Chronoamperometry* menggunakan potensial 0.03-0.05 V selama 24 jam. Suhu yang divariasikan meliputi suhu ruangan, 30 ; 40; 45; 50; 60° C Tujuannya untuk mendapatkan suhu optimum proses MFC. Karakterisasi sama seperti pada penentuan konsentrasi optimum glukosa dan mediator.

Penentuan Stabilitas Yeast untuk MFC

Yeast dilarutkan dalam buffer phosphate pH 7 dan diamati stabilitasnya selama

proses karakterisasi untuk waktu yang dirancang selama 1; 2; 3; 4; 5; 6 minggu. Tujuannya untuk mengetahui stabilitas dan waktu hidup yeast. Pemantauan arus density yang dihasilkan dicatat. Selama proses berlangsung penambahan glukosa dilakukan untuk melihat sejauh mana pengaruhnya terhadap signal elektrokimia yang dihasilkan sampai penambahan glukosa tidak menimbulkan efek perubahan sinyal secara signifikan. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan *Chronoamperometry* dengan kondisi yang sama seperti yang dilakukan pada percobaan sebelumnya.

MFC menggunakan kondisi optimum.

Semua kondisi optimum yang dihasilkan dari tahap karakterisasi diatas, diaplikasikan pada MFC, pemantauan arus listrik yang dihasilkan dicatat melalui ampere meter dan dilakukan secara continue. Komposisi yang dibuat di ilustrasikan pada gambar dibawah ini:

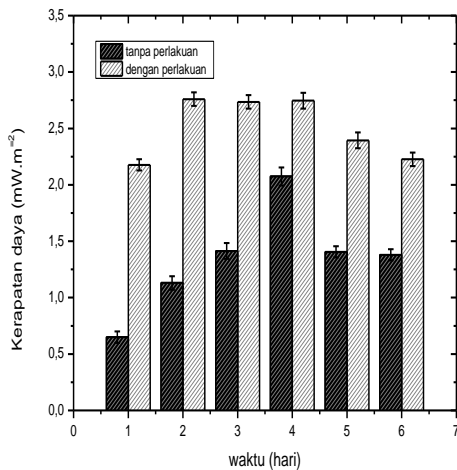
Yeast || membrane penukar kation || $K_3Fe(CN)_6$

Sebagai anoda dipilih karbon graphit dan katoda menggunakan nickel. Anolite terdiri dari yeast 2%, glukosa optimum, mediator konsentrasi optimum dalam larutan buffer phosphate pH 7 dan katolit terdiri dari larutan kalium ferisianida 0.02 M dalam buffer phosphate pH 7.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap persiapan yeast

Pada tahap ini, yeast dengan ataupun tanpa perlakuan kultivasi diuji cobakan pada MFC selama 7 hari. Pengamatan terhadap arus listrik dan tegangan yang dihasilkan dicatat setiap hari. Hasilnya seperti yang terlihat pada gambar berikut.



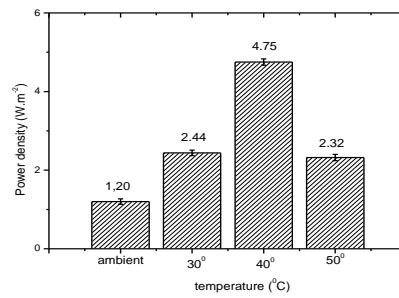
Gambar 2. Kerapatan daya ($mW.m^{-2}$) yang dihasilkan dari MFC sebagai fungsi dari perlakuan kultivasi yeast.

Dari hasil yang diperoleh terlihat jelas adanya perbedaan yang signifikan pada arus listrik dan kerapatan daya yang dihasilkan bila yeast yang digunakan sebagai biokatalis dilakukan tahap pretreatment terlebih dahulu sebelum proses MFC berlangsung. Tahap pre treatment yeast dapat meningkatkan kerapatan daya sebesar rata-rata 40 %. Hal ini disebabkan karena pada tahap ini dilakukan kultivasi dan aktivasi yeast sehingga akan beraktivitas secara maksimal dalam proses biodegradasi senyawa organik (allysa, 2006).

Pengaruh temperatur

Penentuan temperatur optimum telah dilakukan pada MFC dengan waktu pengamatan selama 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu $40^{\circ}C$ rata rata power density meningkat dari $1.20 mW.m^{-2}$ pada suhu ruang menjadi $2.44 mW.m^{-2}$ pada $30^{\circ}C$ dan mencapai $4.75 mW.m^{-2}$ pada $40^{\circ}C$. Pada suhu $50^{\circ}C$, power density hanya 2.32

$mW.m^{-2}$. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini :

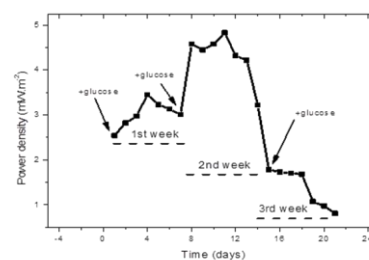


Gambar.3 kerapatan daya yang dihasilkan pada pengaruh temperatur.

Ragi adalah mikroorganisme yang aktivitasnya sangat dipengaruhi oleh temperatur. Hasil menyatakan pada suhu $40^{\circ}C$ merupakan suhu optimum bagi pertumbuhan dan aktivitas ragi. Bila suhu yang digunakan terlalu tinggi maka akan menyebabkan menurunnya aktivitas dari biokatalis tersebut. Hal ini telah dibuktikan dengan melakukan pengamatan MFC pada suhu $50^{\circ}C$, kerapatan daya menurun sebesar 51 dari nilai optimum.

Penentuan Stabilitas yeast

Stabilitas yeast yang diamati dilakukan dengan cara mengoperasikan sistem setengah cell yang berisi larutan biokatalis, mediator dan glukosa sebagai sumber bahan bakar. Hasilnya dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 4. Kerapatan daya yang dihasilkan sebagai fungsi dari kestabilan yeast

Eksperimen dilakukan dalam batch model tanpa penggantian ragi. Penambahan glukosa dilakukan setiap awal minggu dan pengamatan dilakukan selama 3 minggu. Hasil melaporkan bahwa maksimum

kerapatan daya dihasilkan pada minggu kedua, sementara pada awal minggu ketiga setelah ditambahkan glukosa tidak menunjukkan perubahan sinyal elektrokimia yang berarti bahkan mengalami penurunan nilai arus.

Hal ini di mungkinkan karena yeast telah mengalami penurunan aktifitas bahkan mendekati face kematian. Perhitungan nilai coulomb efisiensi dilakukan setiap minggunya dengan persamaan:

$$\text{byCE} = \frac{\int i dt}{b F c v} \dots\dots\dots (1)$$

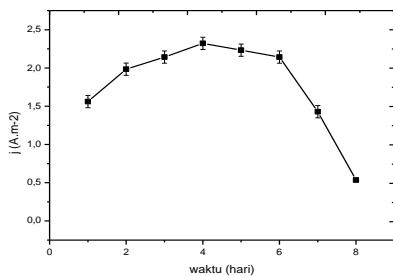
dimana, i adalah arus, b jumlah mol elektron yang dihasilkan setiap 1 mol glukosa (b = 24) F adalah konstanta faraday = 96500 mol⁻¹ elektron dan c adalah konsentrasi glukosa = 0.1 M. V adalah volume anolite yang digunakan (100 mL) . Nilai coulomb efisiensi dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 1. Nilai Coulomb efficiency yang diamati setiap minggu

Waktu	Coulomb efficiency (CE)
Minggu ke 1	43.5
Minggu ke 2	61,7
Minggu ke 3	23,4

MFC menggunakan kondisi optimum ruang anoda.

Pengamatan terhadap nilai arus yang dihasilkan dari MFC telah dilakukan selama 8 hari. Hasilnya seperti yang terlihat pada gambar berikut:



Gambar 5. Kerapatan arus (A.m⁻²) yang dihasilkan dari MFC sebagai fungsi dari waktu.

Dari kurva diatas nampak terlihat bahwa pada hari ke 1 sd ke 4 terjadi peningkatan nilai arus listrik yang dihasilkan. Selanjutnya pada hari ke 5 dan ke 6 terjadi sedikit penurunan aktivitas yeast, yang selanjutnya diikuti dengan penurunan

yang sangat drastis pada hari ke 7 dan 8. Selama proses berlangsung tidak dilakukan penambahan konsentrasi glukosa dan penggantian kultur yeast

V. DAFTAR PUSTAKA

Alyssa L Walker, Charles W.Walker (2006) Biological fuel cells and an application as a reserve power source. J of power sources 160:123-129

Bruce E Logan, John M Regan (2006) Electricity producing bacterial communities in microbial fuel cells.Trends in Microbiology 4(12):512-518

Chae KJ, Choi MJ, Lee JW, Kim KY, Kim IS. (2009) .Effect of different substrates on the performance bacterial diversity,and bacterial viability in microbial fuel cell Biosource Technology 100(14):3518-3525

Chang, IS, Moon H, Jang, JK, dan Kim BH. (2005). Improvement of a microbial fuel cell performance as BOD sensor using respiratory inhibitors. J. Biosensors & Bioelectronics 20: 1856-1859.

Cheng S, Liu H, dan Logan BE. (2006). Power densities using different cathode catalysis (Pt and CoTMPP) and polymer binders (Nation and PTFE) in single chamber microbial fuel cell. J. Environ. Science Technology 40: 364-369.

Du, Zhuwei, H. Li, and T. Gu.(2007). A State Of The Art Review on Microbial Fuel Cell; A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy. JournalBiotechnology Advances 25. 464-482.

Enas Taha Sayed, Takuya Tsujiguchi, Nobuyoshi Nakagawa (2012) Catalytic activity of baker’s yeast in a mediatorless microbial fuel cell.Bioelectrochemistry (Amsterdam, Netherlands) 86:97–101

Fang Zhang, Man Chen, Yan Zhang, Raymond J. Zeng (2012) Microbial desalination cells with ion exchange resin packed to enhance desalination at low salt concentration. J of membrane science 417-418:28-33

Jen Nielsen, Christer Larsson, Antonius van Maris, Jack Pronk (2013) Metabolic

Engineering of yeast for production of fuels and chemicals. *Current Opinion in Biotechnology* 24:398-404

Jing Liu, Yan Qiao, Chun Xian Guo, Sierin Lim, Hao song, Chang Ming Li (2012) Graphene, carbon cloth anode for high performance mediatorless microbial. *J of Bioresource technology* 114:275 – 280

Haiping Luo, Pei Xu, Zhiyong Ren (2012) Long-term performance and characterization of microbial desalination cells in treating domestic wastewater, *J of Bioresource Technology* 120:187-193

Haiping Luo, Pei Xu, Zhiyong Ren (2012) Long-term performance and characterization of microbial desalination cells in treating domestic wastewater. *J of Bioresource Technology* 120:187-193

Hartomo, A. J, Widiatmoko, M.C. (1994). *.Teknologi Membran Pemurnian Air.. Andi Offset Yogyakarta*

Korneel Rabay, Willy Verstraete (2005) Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *TRENDS in Biotechnology* 23(6):291-298

Kristen S. Brastad, Zhen He (2013) Water softening using microbial desalination cell technology. *J Desalination* 309:32-37

Liu H, Cheng S, dan Logan BE. (2005). Power generation in fed-batch microbial fuel cell as a function of ionic strength, temperature, and reactor configuration. *J. Environmental Science and Technology* 39: 5488-5493.

Liu H, Ramnarayanan R, dan Logan BE. 2004. Production of electricity during wastewater using a single-chamber microbial fuel cell. *J. Environmental Science Technology* 38: 2281-2285

Logan BE, Hamelers B, Rozendal R, Schroder U, Keller J, Freguia S, Aelterman P, Verstraete W, Rabaey K. (2006). Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environmental Science and Technology* 40:5181-5192.

Logan BE. (2008). *Microbial Fuel Cell*. New Jersey : John Wiley & Sons. 216.

Moon H, Chang IS, dan Kim BH. (2006). Continuous electricity production from artificial wastewater using a mediator-less

microbial fuel cell. *J. Bioresource Technology* 97: 621-627.

Pant D, Bogaert GV, Diels L, Vanbroekhoven K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cell (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology* 101(6):1533-1543

Pham CA, Jung SJ, Phung NT, Lee J, Chang IS, Kim BH, Yi H, dan Chun J. (2003). A novel electrochemically active and Fe (III)-reducing bacterium phylogenetically related to *Aeromonas hydrophila*, isolated from microbial fuel cell. *J. FEMS Microbiol. Lett.* 223: 129-134.

Pham TH, Jang JK, Chang IS, dan Kim BH. (2004). Improvement of cathode reaction of a mediator-less microbial fuel cell. *J. Microbiol. Biotechnol.* 14: 324-329.

Prasad D, Arun S, Murugesan M, Padmanaban S, Satyanarayanan RS, Sheela Berchmans and Yegnaraman V (2007) Direct electron transfer with yeast cells and construction of a mediatorless microbial fuel cell. *J Biosensors & bioelectronic* 22(11):2604-2610

Rabaey K, Boon N, Siciliano SD, Verhaege M, dan Verstraete W. (2004). Biofuel cell select for microbial consortia that self-mediate electron transfer. *J. Applied Environmental Microbiology* 70: 5373-5382.

Rahimnejad M, Najafpour G D, Ghoreyshi A A, Shakeri M, Zare H (2011) Methylene blue as electron promoters in microbial fuel cell. *Int J of Hydrogen Energy* 36(20): 13335–13341

S Veer Raghavulu, R Kannaiah Goud, P.N. Sarma, S. Venkata Mohan (2011) *Saccharomyces cerevisiae* as anodic biocatalyst for power generation in biofuel cell: Influence of redox condition and substrate load. *J of Biosource Technology* 102:2751-2757

Shaoan Cheng, Hong Liu, Bruce E Logan (2006) Increased performance of single-chamber in microbial fuel cells using an improved cathode structure. *J electrochemistry communication* 8:489-494

Shaoan Cheng, Hong Liu, Bruce E Logan (2006) Power densities using different cathode catalysts (Pt and CoTMPP) and polymer binders (Nafion and PTFE) in single chamber microbial fuel cells. *J Environ Sci Tech* 40:364-369

Shaoan Cheng, Defeng Xing, Bruce E Logan (2011) Electricity generation of single-chamber microbial fuel cell at low temperatures, *J biosensors and bioelectronics* 26(5): 1913-1917

Shen Ming Chen (2001) Electroanalytic properties of Polymerization neutral red film modified electrode. *J of electroanalytical chemistry* 511(1):101-114

Sofia Babanova, Yolina Hubenova, Mario Mitov (2011) Influence of artificial mediators on yeast-based fuel cell performance. *J of Bioscience and Bioengineering* 112(4):379-387

Veer Raghavulu, Et al, (2011). Anodic biochatalyst for power generation in microbial fuel cell : influence of redox condition and substrate load, *J. bioresource technology*, 162, 2751-2757.

Xiaoxin Cao, Xia Huang, Peng Liang, Kang Xiao, Yungjun Zhou, Xiaoyuan

Zhang, Bruce E Logan (2009) A New Method for Water desalination using microbial desalination cells. *J of Environ Sci Tech* 43:7148-7152

Yolina Hubenova, Mario Mitov (2010) Potential application of *Candida melibiosica* in biofuel cells. *J Bioelectrochemistry* 78:57-61

Yongjin Zou, Cui Xiang, Lini Yang, Li-Xian Sun, Fen Xu, Zhong Cao (2008) A mediatorless microbial fuel cell using polypyrrole coated carbon nanotubes composite as anode material. *J of hydrogen energy* 33:4856-4862

Younggi Kim, Bruce E Logan (2013) Microbial desalination cells for energy production and desalination. *J Desalination* 308:122-130.

Younggi Kim, Bruce E Logan (2013) Simultaneous removal of organic matter and salt ions from saline wastewater in bioelectrochemical systems. *J Desalination* 308:155-121.

Zhi-Dan Liu , Hao-Ran Li (2007) Effect of bio- and abio-factor on electricity production in a mediatorless microbial fuel cell. *J Biochemical engineering* 36:209-214