

***Saccharomyces cerevisiae* AS BIOCATALYST IN MICROBIAL DESALINATION CELL (MDC) FOR DESALINATION SEA WATER.**

UmmyMardiana^{1,2,3}, Christophe Innocent¹, Marc Cretin¹, Buchari Buchari², Suryo Gandasmita²

¹Institut Européen des Membranes, ENSCM-UM2-CNRS, (UMR 5635), Université de Montpellier 2, cc047, place E. Bataillon, 34293 Montpellier Cedex 5, France.

²Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung, West of Java Indonesia 40132

³STIKes BTH Tasikmalaya, Jalan Cilolohan 36 Tasikmalaya, West of Java Indonesia 46115

Christophe.Innocent@iemm.univ-montp2.fr, Marc.Cretin@univ-montp2.fr

mardiana.ramdan@gmail.com, Ummy.Mardiana@iemm.univ-montp2.fr

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. In our present work Power production from biofuel cell was coupled with a desalination process in electrodialysis based microbial desalination cell (MDC). We propose a new method of desalination process through microbial fuel cell and as simultaneously we demonstrated that yeast fuel cell can serve as viable option for integrated energy production and removed salt ion through desalination. Baker's yeast *Sacharomyces cereviceae* as biocatalyst has been prepared in the anolyte. 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 and MDC have been observed. The effect of yeast preparation, nature and toxicity of exogenous mediator and time of yeast storage have been characterized and prepared for application to desalination. The effect of yeast preparation could achieve enhancement of power output around 40%, meanwhile methylene blue and neutral red were selected as mediator for electrons transfer and applicable for the living cell. The maximum current density produced by the cell was 92.5 mA.m^{-2} and in those conditions it was found that concentration of salt was removed 83% from initial 0.6 M after 1 month operation. This result evidence that yeast fuel cells can be applied to remove salt through electrically driven membrane processes and demonstrated that could be applied for energy supply in MDC. 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) *Sacharomyces cereviceae*, biocatalyst, electrodialysis, desalination

I. PENDAHULUAN

Listrik bukanlah hal yang baru lagi bagi kita. Energi multifungsi ini sangat berperan besar dalam kehidupan, terutama untuk manusia. Listrik menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan manusia pada saat ini. Di negara berkembang, listrik diperoleh dengan cara menggunakan solar/ bahan bakar minyak, 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. Penggunaan sumber energi fosil yang secara terus menerus

dapat berdampak terhadap penipisan cadangan bahan bakar fosil dan peningkatan jumlah CO_2 di atmosfer. Tantangan dalam pengembangan pembangkit listrik adalah menemukan teknologi yang lebih efisien dan tentunya 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 dan Logan 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). Liu *et al.* 2005 menyatakan bahwa faktor yang mempengaruhi kinerja MFC seperti jenis elektrode (*i.e* anode dan katode) yang digunakan (Shaon,2006), laju degradasi substrat (Chae, 2009 dan Pant 2010), laju transfer elektron dari bakteri ke anode, dan laju transfer proton dalam larutan.

Saccharomyces cerevisiae, mikroorganisme yang dikenal dalam proses pembuatan roti, dewasa ini juga digunakan dalam teknik MFC (S.Veer, 2011, Jen Nielsen, 2013 dan Prasad 2007). 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 organik pada kondisi aerob dan anaerob (Alyssa, 2006).

Sejak yeast tidak memiliki kemampuan untuk melakukan transfer elektron secara langsung ke anoda, maka keberadaan mediator sangatlah diperlukan untuk memfasilitasi proses tersebut. Methylene blue telah dipilih sebagai mediator yang berfungsi sebagai fasilitator transport electron ke anoda (Rahimnejad et al. 2011).

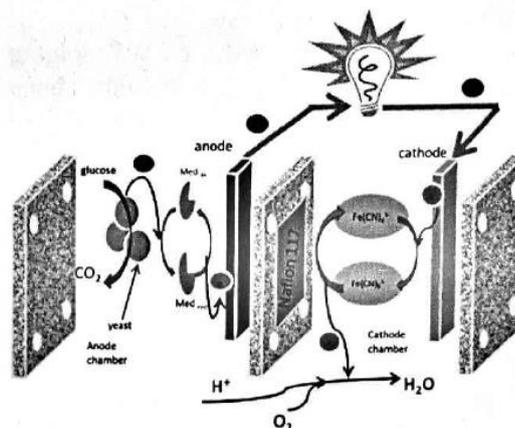
Dewasa ini, pemurnian air laut sudah lazim dilakukan (Kristen, 2013), namun penggunaan energinya masih tergantung dari sumber yang ada. Tentu saja hal ini berdampak pada terbatasnya suplai energy sehingga menghambat keberlanjutan proses. Seperti kita ketahui bahwa sumber air asin itu begitu melimpah. Sebagai negara berkembang dan negara yang memiliki populasi terbanyak ke-4 di dunia, Indonesia memiliki permasalahan serius yang harus dipecahkan, khususnya masalah kekurangan air bersih yang dapat dikonsumsi. Padahal faktanya, Indonesia memiliki wilayah laut yang sangat luas, yang dapat berpotensi besar sebagai sumber air. Namun permasalahannya adalah saat ini masih memiliki keterbatasan pada teknologi pemurnian air. Salah satu solusi alternatif untuk menghasilkan air bersih

adalah teknologi desalinasi air laut yang dilakukan melalui electro dialisis (Xiaoxin, 2009 dan Younggi 2013). Hal ini lah yang mendorong peneliti berkeinginan untuk berkontribusi mengatasi masalah suply air bersih tanpa mengganggu ekosistem yang ada karena menggunakan energy dari sumber terbarukan

Dari uraian diatas timbulah ketertarikan peneliti untuk mempelajari lebih lanjut tentang sistem MFC dalam memproduksi listrik menggunakan aktivitas biokatalis yeast - *Saccharomyces cerevisiae* dan energi listrik yang dihasilkan akan digunakan secara simultan untuk proses desalinasi berbasis electro dialisis. Sejauh ini, penelitian tentang hal ini perlu diteliti lebih lanjut dan penerapannya tentu saja diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang terjadi di negara kita.

2. 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 dan mekanisme MFC berbasis yeast- *Saccharomyces cerevisiae* sebagai biokatalis.

Sementara itu pada tahap desalinasi didesain menggunakan 4 ruang meliputi ruang anoda, ruang *concentrate*, ruang *dilute* dan ruang katoda. Setiap ruang dipisahkan oleh masing-masing membran dengan susunan membran penukar kation, penukar anion dan penukar kation. Ruang *concentrate* berisi larutan KNO_3 dan ruang *dilute* berisi larutan garam sebagai sample.

Tahap persiapan elektroda dan membran

Carbon graphite telah dipilih sebagai anoda untuk proses MFC. Perlakuan terhadap anoda dilakukan untuk meningkatkan porositas dan aktivitas pada permukaan anoda. Elektroda dicuci dengan larutan yang terdiri dari campuran aseton:etanol (1:1) kemudian direndam dalam larutan HCl 1N. Tahap terakhir yaitu dicuci dengan aquadest dan direndam selama 24 jam sebelum digunakan. Sementara itu nafion 117 telah dipilih sebagai membran penukar ion untuk MFC. Untuk menghilangkan gangguan pengotor pada permukaan membran, nafion dididihkan dalam larutan H_2O_2 selama 20 menit, dilanjutkan dengan tahap perendaman pada HCl 1 N selanjutnya disimpan dalam wadah yang berisi aquadest sebelum digunakan.

Tahap persiapan Yeast

Tahap persiapan yeast 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 bufer posphat (BP) pH 7. Larutan didiamkan selama 24 jam dalam inkubator bersuhu 30°C . Selanjutnya setelah disentrifugasi, yeast dikumpulkan kemudian dicuci menggunakan larutan buffer pH 7 dan diaktivasi pada suhu 40°C selama 5 menit sebelum digunakan pada MFC.

Penentuan mediator dan uji toksisitas mediator.

Methylene blue (MB) dan *neutral red* (NR) telah dipilih sebagai mediator untuk MFC. Pengujian dilakukan secara Chronoamperometry dengan potensial 0.3 V vs SCE (Saturated calomel electrode). Larutan setengah sel yang digunakan terdiri dari glukosa 0.1 M, 2% yeast dan 10 mM mediator dalam 100 mL larutan BP pH 7. Uji

toksisitas menggunakan metode Kirby Bauer. Ke dalam suspensi yeast yang sudah distandarisasi kekeruhannya dicelupkan lidi kapas steril, kemudian digoreskan pada permukaan agar plate. Disk yang telah dicelupkan ke dalam larutan mediator kemudian disimpan pada agar plate, diinkubasi selama 16-18 jam pada suhu 35°C , kemudian hasil zona hambatan diamati.

Waktu penyimpanan yeast.

Pada bagian ini dilakukan pengujian waktu penyimpanan yeast setelah dilakukan proses persiapan yeast. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi yeast setelah disimpan beberapa hari sebelum digunakan untuk MFC. Pengujian yang dilakukan menggunakan metode *Chronoamperometry* pada potensial 0.3 V vs SCE. Pengamatan terhadap arus listrik yang dihasilkan sebagai fungsi dari waktu dilakukan selama 24 jam.

MFC menggunakan kondisi optimum ruang anoda.

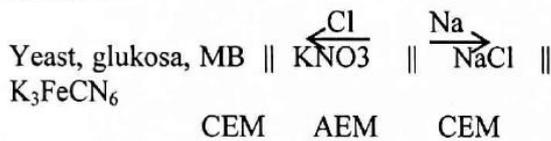
Dalam penelitian ini, desain MFC yang digunakan seperti yang terlihat pada gambar 1. Semua kondisi optimum yang dihasilkan dari tahap karakterisasi diatas, diaplikasikan pada MFC. Pemantauan arus listrik yang dihasilkan dicatat dan dilakukan secara continue. Komposisinya terdiri dari dua ruang, yaitu ruang anoda dan ruang katoda yang dipisahkan oleh membran nafion. Anolit terdiri dari 2% yeast, glukosa 0.1 M dan mediator 10 mM dalam 100 mL larutan BP pH 7, sedangkan larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (PF) 0.02 M dipilih sebagai larutan katolit. Karbon graphit ($7 \times 1.5 \times 0.5$ cm) digunakan sebagai anoda dan *nickel plate* sebagai katoda. Pengamatan terhadap arus listrik dan tegangan yang dihasilkan melalui MFC dilakukan selama 7 hari, diukur menggunakan voltmeter AMETEX 850 dengan hambatan sebesar $1 \text{ k}\Omega$.

Microbial desalination cell (MDC) menggunakan yeast sebagai biokatalis

MDC yang dibangun berdasarkan prinsip desalinasi berbasis elektrodialisis. Elektrodialisis merupakan suatu proses pemisahan dengan menggunakan membran tukar kation, dimana ion berpindah dari larutan yang satu ke larutan yang lain melalui

membran tersebut karena adanya perbedaan tegangan listrik. Proses tersebut berjalan dalam tempat yang dinamakan sel elektrodialisis. Sel desalinasi terdiri dari 4 kompartemen dengan komposisi masing-masing yaitu ruang anoda, ruang *concentrate*, ruang *dilute* dan ruang katoda.

Pada ruang anoda berisi 2% yeast, 10 mM MB, 0.1 M glukosa dalam 100 mL larutan BP pH 7. Ruang *concentrate* terdiri dari KNO₃ 1 M, sementara ruang *dilute* terdiri dari sampel NaCl 1M dan ruang katoda berisi larutan K₃Fe(CN)₆ 0.02 M. Masing-masing kompartemen dipisahkan oleh membran penukar ion dengan susunan berturut-turut membran penukar kation (CEM), membran penukar anion (AEM) dan membran penukar kation (CEM). Ilustrasi desain kompartemen yang digunakan seperti yang terlihat pada di bawah ini.

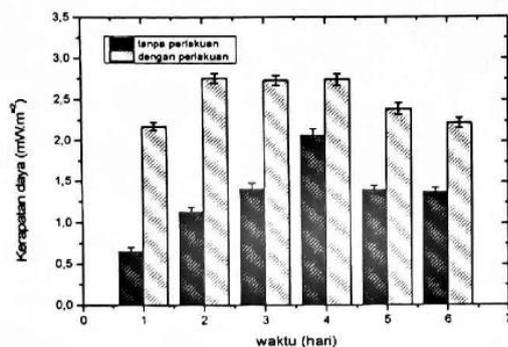


Perhitungan *recovery* konsentrasi garam yang berhasil dipisahkan selama desalinasi diukur menggunakan Spektroskopi serapan atom (AAS) dan kromatografi penukar ion (IEC).

3. 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

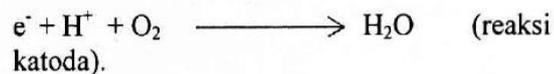
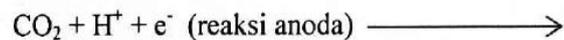
fungsi dari perlakuan kultivasi yeast.

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).

Penentuan mediator dan uji toksisitas mediator.

Secara umum reaksi yang terjadi pada MFC adalah sebagai berikut :

Biodegradasi organik microorganisms



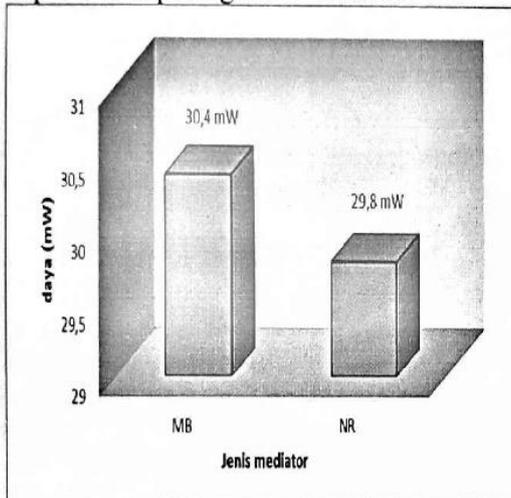
Dalam aktivitasnya mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan elektron, proses selanjutnya adalah transfer elektron menuju anoda. Bakteri lain seperti *Shewanella putrefaciens*, *Geobacter metallireducens*, *Aeromonas hydrophilia*, *Rhodospirillum rubrum* dapat melakukan transfer elektron secara langsung ke anoda melalui sitokrom pada membran sel nya. (Yi, 2009 dan Pandit, 2014).

Namun tidak demikian dengan yeast, yang tidak dapat melakukan komunikasi secara langsung dengan penerima elektron (anoda). Keberadaan mediator sebagai fasilitator untuk proses transfer elektron sangatlah diperlukan. Pemilihan mediator didasarkan pada beberapa persyaratan diantaranya memiliki sifat yang non toksik terhadap biokatalis, mudah larut dalam air, proses redoks yang berlangsung pada permukaan anoda harus reversibel dan berlangsung cepat, serta memiliki potensial redok yang cocok dengan substrat yang akan digunakan (Babanova, 2011).

Dalam penelitian ini MB dan NR telah dipilih sebagai mediator untuk membantu

proses transfer elektron pada MFC berbasis yeast. Sebagai penelitian pendahuluan Gunawardena (2008) telah menggunakan MB sebagai mediator dan PF sebagai larutan katolit. Sementara itu Babanova (2011) telah mempelajari pengaruh artificial dari beberapa macam mediator untuk diaplikasikan pada MFC berbasis *Candida melibiosica* sebagai biokatalisnya. Hasilnya diperoleh bahwa MB dan NR memberikan kinerja yang bagus dibandingkan metil orange, metil red dan brom kresol biru.

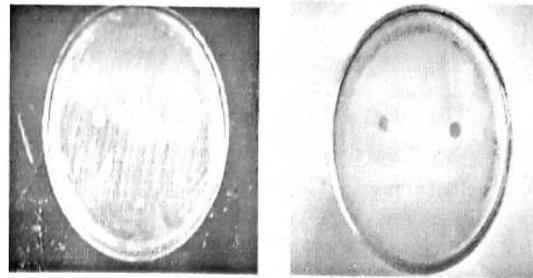
Hasil yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Daya (mW) yang dihasilkan sebagai fungsi dari jenis mediator.

Dari data diatas terlihat bahwa jumlah daya yang dihasilkan dari MB dan NR tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini diasumsikan karena potensial redok dari keduanya memiliki nilai yang berdekatan dengan pasangan redok $NADH/NAD^+$, dimana mediator dapat mengambil elektron dari NADH. Sementara itu pada uji toksisitas terlihat bahwa tidak nampak zona hambatan dari yeast terhadap cakram disk yang telah direndam pada larutan MB dan NR. Hal ini kemudian diasumsikan bahwa MB dan NR dapat digunakan pada MFC berbasis yeast.

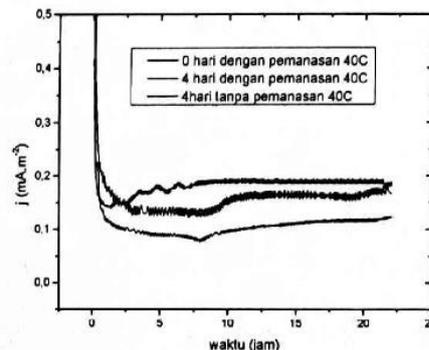
Hal ini dapat dibuktikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. Uji toksisitas mediator terhadap yeast.

Waktu penyimpanan yeast.

Pengamatan dari tahap ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh waktu penyimpanan yeast sebelum diaplikasikan pada MFC. Hasilnya seperti yang terlihat pada gambar berikut:

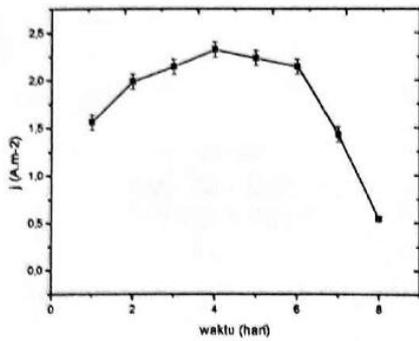


Gambar 5. Pengaruh waktu penyimpanan pada yest sebelum diaplikasikan pada MFC.

Hasil menunjukkan bahwa walaupun yeast disimpan selama rentang waktu 1-4 hari, ternyata tidak memberikan perbedaan nilai arus yang cukup berarti asalkan sebelumnya diaktivasi pada suhu 40°C selama 5-10 menit. Sebaliknya bila tidak diaktivasi (hasil ditunjukkan dengan garis biru) akan menghasilkan penurunan nilai arus walaupun disimpan dengan lamanya waktu yang sama.

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:

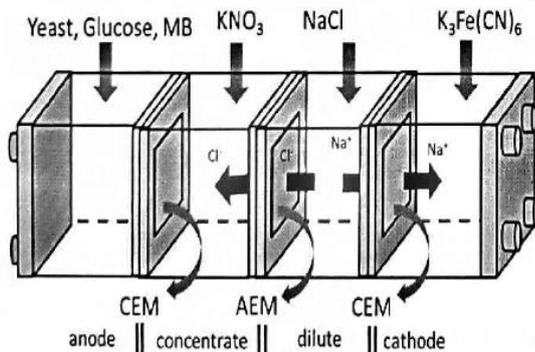


Gambar 6. Kerapatan arus ($A.m^{-2}$) yang dihasilkan dari MFC sebagai fungsi dari waktu

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.

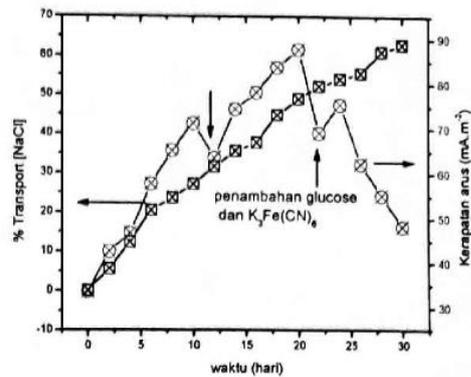
Microbial desalination cell (MDC) menggunakan yeast sebagai biokatalis

Desain kompartemen yang dibangun adalah seperti gambar berikut:



Gambar 7. Desain kompartemen *Microbial desalination cell* (MDC)

Hasil perhitungan konsentrasi garam dapat terlihat pada kurva di bawah ini:



Gambar 8. Kerapatan arus ($mA.m^{-2}$) dan % transport NaCl yang dihasilkan dari proses MDC. tanda panah menunjukkan penambahan substrat dan penggantian larutan katolit.

Setelah dilakukan pengamatan selama 30 hari, diperoleh % transport NaCl sebesar 83% dan maksimum kerapatan arus sebesar $92 mA.m^{-2}$. Selama proses berlangsung dilakukan penambahan glukosa ke dalam larutan anolit sebanyak 1 gr dan penggantian larutan PF 0.02 M. Namun karena MDC ini dilakukan secara metode batch sehingga tidak dilakukan penggantian kultur segar dari yeast. Hal ini diasumsikan bahwa pada tahap penentuan stabilitas dari yeast (hasil tidak dilaporkan), ternyata yeast dapat bertahan sampai lebih kurang 3 minggu bila diaplikasikan pada MFC metode batch.

Dari hasil MDC membuktikan bahwa yeast dapat diaplikasikan sebagai biokatalis pada MFC dan memproduksi energi listrik. Aplikasi dari energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara simultan untuk penghilangan ion garam. Sehingga dua keuntungan dapat kita raih secara sekaligus melalui peranan yeast sebagai mikroorganisme dalam MFC untuk diaplikasikan sebagai sumber energi alternatif dalam mengatasi problem di negara kita.

4. KESIMPULAN

Yeast-*Saccharomyces cerevisiae* dapat digunakan sebagai mikroorganisme dan diaplikasikan pada MFC. Kerapatan arus maksimal yang dihasilkan dari kondisi optimum ruang anoda adalah $2.25 A.m^{-2}$, sementara hasil yang dicapai dari karakterisasi ruang anoda meliputi pada tahap

pretreatmen yeast, dapat meningkatkan arus yang dihasilkan sampai 40% jika dibandingkan dengan tanpa pretreatmen yeast. Penggunaan mediator untuk MFC didasarkan salah satunya pada sifat non toksik dari mediator itu sendiri. Dari hasil uji toksisitas diperoleh data bahwa MB dan NR dapat digunakan untuk MFC. Selain itu pada pada pengujian lamanya waktu penyimpanan yeast diperoleh data bahwa aktivasi pada suhu 40°C memegang peranan penting bagi yeast sebelum digunakan pada MFC, sehingga hasil yang diperoleh tidak memberikan nilai yang berbeda walaupun disimpan lebih dari 3 hari. Dari hasil MDC diperoleh kesimpulan bahwa 83% ion garam dapat bermigrasi dari ruang *dilute* (fasa umpan) ke ruang *concentrate* (fasa penerima) dengan kerapatan arus maksimum 92 mA.m⁻². Sebagai salah satu teknik yang menjanjikan, ke depannya pengembangan MFC dan MDC sangatlah diperlukan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi dari keduanya.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI) Indonesia yang telah memberikan dukungan terhadap Program Doktorat Double Degree Indonesia Prancis. Selanjutnya ucapan terimakasih juga di dedikasikan kepada DR. Christophe Innocent dan Pr. Marc Cretin di Laboratorium Institut European des Membranes, Montpellier Prancis dan Prof. Dr. Buchari, Dr Suryo Gandasasmita dan M. Ali Zulfikar , Ph.D di Kimia ITB Bandung. Serta Ketua STIKes BTH Tasikmalaya beserta seluruh staf dan jajarannya.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Alyssa LW, Charles W.W, 2006, J of power sources, 160,123
2. Chae K.J., Choi M.J., Lee J.W., Kim K.Y., Kim I.S., 2009, Biosource Technology ,100,3518.
3. Du, Zhuwei, Li H, and Gu T., 2007, Journal Biotechnology Advances, 25, 464.
4. Gunawardena A, Fernando S, To F., 2008, J Bioresource , 1893.
5. Jen N, Christer L, Antonius van M, Jack P, 2013, Current Opinion in Biotechnology, 24,398,
6. Korneel R, Verstraete W, 2005, TRENDS in Biotechnology, 23, 291.
7. Liu H, Ramnarayanan R, dan Logan B.E., 2004, J. Environmental Science Technology, 38, 2281.
8. Logan B.E and Regan J.M, 2006, Trends in Microbiology 4,512
9. Logan B.E., Hamelers B, Rozendal R, Schroder U, Keller J, Freguia S, Aelterman P, Verstraete W, Rabaey K. , 2006, Environmental Science and Technology, 0,5181.
10. Malvankar N.S., Lovley D.R., 2014, Curr. Opin. Biotechnol., 27, 88.
11. Pandit S, Khilari S, Roy S., Pradhan D, Das D, 2014, Bioresour. Technol., 166, 451.
12. Prasad D, Arun S, Murugesan M, Padmanaban S, Satyanarayanan RS, SheelaBerchmans and Yegnaraman V ,2007, J Biosensors & bioelectronic 22, 2604.
13. Rabaey K, Boon N, Siciliano S.D, Verhaege M, dan Verstaete W, 2004 , J. Applied Environmental Microbiology, 70, 5373.
14. Sayed E.T., Tsujiguchi T, Nakagawa N, 2012, Bioelectrochemistry (Amsterdam, Netherlands), 86, 97.
15. Sofia B, Yolina H, Mario M, 2011, J of Bioscience and Bioengineering, 112,379.
16. Veer Raghavulu S, Kannaiah Goud R, Sarma P.N., Venkata Mohan S, 2011, J of Biosource Technology, 102, 2751.
17. Xiaoxin Cao, Xia Huang, Peng Liang, Kang Xiao, Yungjun Zhou, Xiaoyuan Zhang, Bruce E Logan (2009) J of Environ Sci Tech 43:7148-7152
18. Yi H, Nevin K.P., Kim B.-C., Franks A.E., Klimes A., Tender L.M., et al., 2009, Biosens. Bioelectron., 24 , 3498.
19. Younggi K, Logan B.E., 2013, J Desalination, 308, 122.