

**Penggunaan Substrat Glukosa Berbagai Konsentrasi
sebagai Sumber Karbon *Microbial Fuel Cell Saccharomyces cerevisiae*
untuk Menghasilkan Energi Listrik**

Muhammad Amal Nurhakim, Endang Kusdiyantini dan Budi Raharjo

Laboratorium Bioteknologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika,
Universitas Diponegoro Jl. Prof. H. Sudharto, Tembalang, Semarang.
email : firstnurhakim@gmail.com; kusdiyantini@yahoo.com; budi206@yahoo.com

Abstract

The increases of human growth causes electrical energy demand's expansion while the supply decreases drastically. Energy crisis had triggered alternative renewable energy sources development to substitute the use of oil that had been main energy resources for the people. Microorganisms utilization is used to produce electrical by researchers these years as an effort to actualize the goals. The system used is *microbial fuel cell* (MFC) technology which utilize metabolism activity from microorganisms to produce electrical energy. Microorganisms will perform metabolism by breaking down glucose into hydrogen (H₂) and oxygen (O₂). Hydrogen has a role as raw material that used in reduction reaction with oxygen until it releases electron in anoda as electrical flows source. *Saccharomyces cerevisiae* is an example microorganisms that can utilize for produce electrical energy. This research aims to find optimal concentration for glucose as a carbon source in *microbial fuel cell Saccharomyces cerevisiae* to form electrical energy. This research use *S. cerevisiae* as microorganisms and variation of glucose concentration as a carbon source. Parameters measured in this study is the voltage (mV) and current (mA). Research's result shows that glucose in 10 % (w/v) concentrate forms higher results in voltage (mV) and current (mA) compare to glucose with 20% (w/v) concentrate and in the concentrate of 30% (w/v) which values each 561,833 mV and 105,133 mA. Analysis of variance with level of confidence 95% shows glucose concentrates don't react significantly voltage but react significantly on current. *Tukey HSD's test* show significant different between current that was formed by glucose in the concentrate of 10% (w/v) compared to glucose in the concentrate of 20% (w/v) and 30% (w/v).

Keywords : *Saccharomyces cerevisiae*, *microbial fuel cell* (MFC), glucose, electrical energy

PENDAHULUAN

Indonesia saat ini sedang dihadapkan pada masalah sulit yang menyangkut hajat hidup orang banyak berupa kebutuhan energi listrik. Pertumbuhan manusia yang semakin meningkat menyebabkan permintaan energi listrik semakin besar sedangkan pasokan sumber energi listrik semakin menipis (Puppan, 2002). Krisis energi telah memicu pengembangan sumber energi alternatif terbarukan (*renewable*) untuk mensubstitusi penggunaan minyak bumi yang selama ini menjadi sumber energi utama bagi masyarakat (Aelterman *et al.*, 2006).

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 cell* (MFC) yang merubah penyimpanan energi kimia dalam bentuk campuran organik menjadi energi listrik yang terus menembus reaksi katalis oleh mikroorganisme telah menghasilkan energi listrik. Mikroorganisme bisa digunakan dalam sistem MFC untuk menghasilkan energi listrik sambil menyelesaikan proses penghancuran dari material organik (Du *et al.*, 2007).

Sistem MFC ini akan memanfaatkan hasil dari proses metabolisme mikroorganisme. Mikroorganisme akan melakukan metabolisme dengan mengurai glukosa menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Hidrogen merupakan bahan baku yang digunakan untuk reaksi reduksi dengan oksigen, sehingga melepaskan electron pada anoda sebagai sumber arus listrik (Du *et al.*, 2007). Sistem MFC sudah mulai diterapkan baik dalam skala *in vivo* maupun *in vitro*. Menurut Arif (2015), penerapan dalam skala *in vivo* telah dilakukan di Dusun Gunungsaren Kidul, Srandakan, Bantul. Sistem MFC telah menghasilkan 1,001 kWh atau dapat memenuhi 51,33% kebutuhan listrik di daerah tersebut. Prinsip dalam MFC adalah aktivitas mikroba dalam medium cair tersebut (Reguera *et al.*, 2005). Salah satu mikroorganisme yang dapat digunakan dalam sistem tersebut adalah *Saccharomyces cerevisiae*.

S. cerevisiae merupakan mikroorganisme yang sangat dikenal masyarakat luas sebagai ragi roti (*baker's yeast*). Menurut Walker (1998), *S. cerevisiae* umumnya memiliki bentuk elipsoidal dengan diameter yang besar antara 5-10 μm dan

diameter yang kecil antara 1-3 μm sampai 1-7 μm . Memiliki warna putih kekuningan yang dapat dilihat diatas permukaan tumbuh koloni. Zahara (2011) dalam penelitiannya tentang *microbial fuel cell* menggunakan bioaktivator *S. cerevisiae* dengan penambahan riboflavin menghasilkan kuat arus sebesar 0,262 mA. Sedangkan Viantikasari *et al.* (2013) dalam penelitiannya tentang sistem MFC dengan bioaktivator *S. cerevisiae* menggunakan substrat molase dan sampah organik dapat menghasilkan tegangan sebesar 1 V dan kuat arus 0,30 mA.

S. cerevisiae dalam melakukan perannya dalam sistem MFC memerlukan substrat. Substrat merupakan komponen yang dimanfaatkan mikroorganisme dalam MFC sebagai sumber karbonnya. Salah satu sumber karbon yang dapat ditambahkan ke dalam substrat MFC adalah glukosa. Glukosa merupakan sumber karbon yang paling sering digunakan sebagai sumber karbon MFC. Menurut Murray *et al.* (2003), glukosa merupakan salah satu karbohidrat penting yang digunakan sebagai sumber energi dalam tubuh makhluk hidup termasuk mikroorganisme. Penelitian ini akan mencari konsentrasi glukosa yang optimal untuk digunakan dalam sistem MFC sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang efisien.

BAHAN DAN METODE

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur, cawan petri, labu erlenmeyer, gelas beaker, ose bulat, ose lancip, tabung reaksi, multimeter digital, autoklaf, hot plate, oven, kabel, jepit buaya, botol vial, pipa gelas bentuk U, *rotary shaker*, *spektrofotometer*, dan timbangan digital.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat *S. cerevisiae* yang diperoleh dari koleksi kultur mikroorganisme Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, medium *Potato Dextrose Broth* (PDB), medium *Yeast Extract Pepton* (YEP), gel agar, batang grafit, aquadest, glukosa, Natrium Hidroksida (NaOH), Kalium Klorida (KCl), Asam Klorida (HCl), Kalium Permanganat ($KMnO_4$), Buffer fosfat, aluminium foil, dan plastik wrap.

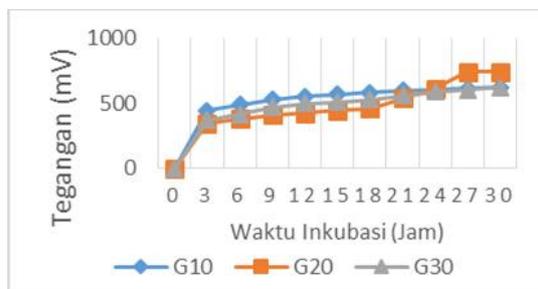
Kultur *S. cerevisiae* didapatkan dari koleksi kultur Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FSM Undip. Penelitian dilakukan pada bulan Juli hingga September

2015 di Laboratorium Biokimia Jurusan Biologi FSM Undip.

Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan *S. cerevisiae* sebagai sumber mikroorganisme. *S. cerevisiae* diinokulasikan ke dalam medium YEP 1,6 gram (ekstrak ragi 0,5 gram; pepton 0,5 gram; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,3 gram; dan KH_2PO_4 0,3 gram) dalam 100 ml aquades yang sebelumnya telah disterilisasi menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan tiga perlakuan antara lain glukosa 10% (b/v), glukosa 20% (b/v), dan glukosa 30% (b/v). Masing-masing perlakuan dibuat tiga kali pengulangan. Kemudian diukur tegangan serta kuat arus yang terjadi menggunakan multimeter digital pada tiap perlakuan. Pengukuran dilakukan setiap 3 jam selama 30 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kompartemen anoda dalam MFC dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron (*mediator-less*) dimana elektron yang dihasilkan dari degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme disalurkan menuju elektroda langsung tanpa bantuan zat kimia tambahan. Tegangan dan kuat arus diukur setiap 3 jam sekali selama 30 jam. Tegangan yang diukur dalam MFC ini disebut juga *Open Circuit Voltage* (Tegangan Sirkuit Terbuka), karena sistem MFC yang tidak diberikan beban atau hambatan listrik eksternal seperti resistor atau lampu. Tegangan yang dihasilkan sistem MFC pada variasi konsentrasi glukosa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Nilai tegangan (mV) *Microbial Fuel Cell*

Keterangan: G₁₀ = Glukosa 10% (b/v),
G₂₀ = Glukosa 20% (b/v), dan
G₃₀ = Glukosa 30% (b/v).

Gambar 1 menunjukkan hasil pengukuran tegangan (mV) MFC pada beberapa konsentrasi glukosa. Pengukuran menunjukkan nilai 447 mV (glukosa 10% b/v), 345 mV (glukosa 20% b/v), dan 372 mV (glukosa 30% b/v) pada waktu inkubasi 3 jam. Nilai tersebut terus meningkat hingga waktu inkubasi 30 jam. Pengukuran tegangan pada perlakuan glukosa 20% (b/v) bahkan meningkat dari waktu inkubasi 18 jam dengan nilai 461 mV hingga waktu inkubasi 27 jam yaitu mencapai 741,33 mV. Peningkatan ini terjadi karena aktivitas katalitik *Saccharomyces cerevisiae* dalam mendegradasi substrat glukosa sebagai sumber karbon semakin meningkat. Menurut Lee *et al.* (2010), *S. cerevisiae* di dalam kompartemen anoda menggunakan karbon yang ada dalam glukosa sebagai substrat untuk metabolismenya sehingga menghasilkan elektron. Elektron yang dihasilkan ditransfer melalui sirkuit eksternal dari anoda menuju katoda yang didalamnya terdapat larutan elektrolit sebagai aseptor elektron sehingga menimbulkan tegangan listrik. Semakin banyaknya interaksi *S. cerevisiae* dengan elektroda dalam kompartemen anoda maka jumlah elektron yang ditangkap juga meningkat dan menambah nilai pada tegangan. Hasil pengukuran masing-masing perlakuan pada waktu inkubasi 30 jam menunjukkan nilai 623,33 mV; 744,33 mV; dan 623,33 mV.

Tegangan MFC *S. cerevisiae* pada beberapa konsentrasi glukosa ini jauh lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Arbianti *et al.* (2012). Arbianti *et al.* (2012) dalam penelitiannya menyatakan bahwa sistem MFC *S. cerevisiae* menggunakan substrat *Glucose Yeast Extract* (GYE) dengan komposisi 1 g tripton, 1g *yeast extract*, dan 0,5 g glukosa dalam 100 ml buffer fosfat dapat menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 196 mV dalam waktu inkubasi 20 jam. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi glukosa 10% lebih optimal dalam menghasilkan tegangan listrik.

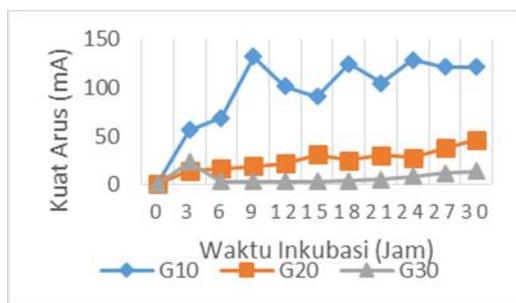
Tabel 1. Rata-rata tegangan (mV) MFC pada beberapa konsentrasi glukosa

Konsentrasi glukosa (% b/v)	Rata-rata tegangan (mV)
10	561,83 ^a
20	510,86 ^a
30	517,96 ^a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNJ (Beda Nyata Jujur) dengan taraf kepercayaan 95%.

Tabel 1. menunjukkan nilai rata-rata tegangan (mV) MFC pada beberapa konsentrasi glukosa. Konsentrasi glukosa 10% (b/v) memiliki nilai rata-rata tegangan paling tinggi dibanding perlakuan lain. Hal ini terjadi karena *S. cerevisiae* dapat tumbuh lebih baik pada konsentrasi glukosa 10% (b/v) tersebut. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA), perlakuan konsentrasi glukosa tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap tegangan (mV) MFC yang dihasilkan ($p < 0,05$) (Lampiran 3.1). Rata-rata tegangan (mV) MFC tertinggi ditunjukkan pada perlakuan konsentrasi glukosa 10% (b/v) sebesar 561,83 mV yang nilainya berbeda tidak nyata dengan perlakuan lainnya. Uji lanjut tidak perlu dilakukan karena tidak ada faktor yang menunjukkan pengaruh nyata.

Kuat arus didefinisikan sebagai banyaknya muatan positif yang melalui titik tiap satuan waktu. Kuat arus dipengaruhi oleh tegangan dan hambatan. Hambatan dalam sistem MFC ini merupakan hambatan internal yang berupa glukosa. Hubungan antara kuat arus dengan tegangan adalah berbanding lurus, artinya semakin tinggi tegangan maka semakin tinggi pula kuat arus dan sebaliknya. Sedangkan hubungan antara kuat arus dan hambatan adalah berbanding terbalik, artinya semakin tinggi hambatan maka semakin rendah kuat arus dan sebaliknya. Kuat arus yang dihasilkan sistem MFC pada variasi konsentrasi glukosa ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Nilai kuat arus (mA) *Microbial Fuel Cell*

Keterangan: G₁₀ = Glukosa 10% (b/v),
G₂₀ = Glukosa 20% (b/v), dan
G₃₀ = Glukosa 30% (b/v).

Gambar 2 menunjukkan hasil pengukuran kuat arus (mA) MFC beberapa konsentrasi glukosa. Pengukuran kuat arus pada waktu inkubasi 3 jam menunjukkan nilai 56,33 mA (glukosa 10% b/v); 14,33 mA (glukosa 20% b/v); dan 23 mA (glukosa 30% b/v). Nilai kuat arus pada perlakuan glukosa 30% (b/v) menurun hingga 3 mA pada waktu inkubasi 6 jam. Penurunan ini terjadi karena terlalu tingginya konsentrasi glukosa di dalam media sehingga meningkatkan hambatan yang ada dalam anoda dan berpengaruh pada nilai kuat arus. Menurut Mathuriya dan Sharma (2009), tingginya konsentrasi glukosa dalam media serta tidak adanya agitasi menyebabkan sel *S. cerevisiae* dan substrat tidak tersebar merata sehingga metabolisme tidak berjalan optimal. Tingginya konsentrasi glukosa juga dapat membuat sel *S. cerevisiae* lisis karena cekaman osmotik sehingga mengganggu pertumbuhan sel. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai kuat arus di antara ketiga perlakuan dimana perlakuan konsentrasi glukosa 10% (b/v) memiliki nilai kuat arus lebih tinggi dari pada yang lainnya. Kuat arus pada konsentrasi glukosa 10% (b/v) mencapai nilai tertinggi yaitu 132,33 mA pada waktu inkubasi 9 jam. Sebaliknya pada perlakuan glukosa 30% (b/v), kuat arus yang dihasilkan lebih rendah daripada yang lainnya.

Kuat arus MFC *S. cerevisiae* pada beberapa konsentrasi glukosa ini jauh lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Arbianti *et al.* (2012). Arbianti *et al.* (2012) dalam penelitiannya menyatakan bahwa sistem MFC *S. cerevisiae* menggunakan substrat *Glucose Yeast Extract* (GYE) dengan komposisi 1 g tripton, 1g *yeast extract*, dan 0,5 g glukosa dalam 100 ml buffer fosfat dapat menghasilkan kuat arus tertinggi sebesar 224 μ A dalam waktu inkubasi 20 jam. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi glukosa 10% lebih optimal dalam menghasilkan kuat arus.

Tabel 2. Rata-rata kuat arus (mA) MFC pada beberapa konsentrasi glukosa

Konsentrasi glukosa (% b/v)	Rata-rata kuat arus (mA)
10	105,13 ^b
20	26,80 ^a
30	7,60 ^a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata

berdasarkan uji BNJ (Beda Nyata Jujur) dengan taraf kepercayaan 95%.

Tabel 2. menunjukkan nilai rata-rata kuat arus (mA) MFC pada beberapa konsentrasi glukosa. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA), perlakuan konsentrasi glukosa menunjukkan pengaruh nyata terhadap kuat arus (mA) yang dihasilkan ($p < 0,05$) (Lampiran 3.2). Rata-rata kuat arus (mA) tertinggi ditunjukkan pada perlakuan konsentrasi glukosa 10% (b/v) sebesar 105,13 mA, sedangkan nilai terendah ditunjukkan pada konsentrasi glukosa 30% (b/v) yaitu 7,6 mA. Konsentrasi glukosa yang berbeda-beda akan mempengaruhi metabolisme *S. cerevisiae* dalam memproduksi elektron yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik pada sistem MFC. Selain itu menurut Logan *et al.* (2006), gas hidrogen yang dihasilkan dari metabolisme *S. cerevisiae* akan menyebabkan penurunan kuat arus dalam sistem MFC. Gusphyl (2004) juga berpendapat bahwa *S. cerevisiae* dapat menghasilkan *biofilm* yang dapat meningkatkan nilai hambatan. Hasil uji lanjut BNJ (5%) (Lampiran 11) pengaruh konsentrasi glukosa terhadap kuat arus (mA) yang dihasilkan menunjukkan perlakuan konsentrasi glukosa 10% (b/v) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi glukosa 20% (b/v) dan konsentrasi glukosa 30% (b/v) ($p < 0,05$). Hal ini menandakan bahwa perlakuan konsentrasi glukosa berpengaruh nyata terhadap kuat arus (mA) yang dihasilkan dalam sistem MFC.

Peningkatan produksi listrik oleh sistem MFC menjadi tujuan utama dalam setiap penelitian MFC. Salah satu cara untuk meningkatkan produksi listrik adalah dengan memperkecil hambatan internal yang diberikan komponen-komponen yang ada dalam sistem MFC. Hambatan tersebut bisa berupa tingginya konsentrasi substrat, elektroda, elektrolit, dan jembatan garam. Menurut Fan *et al.* (2008), hambatan internal dapat ditekan dengan memperluas area permukaan katoda dan anoda serta menaikkan kekuatan ionik elektronik. Perluasan permukaan elektroda juga dapat meningkatkan produksi listrik karena akan semakin banyak elektron yang ditransfer ke katoda. Selain itu, penelitian penggunaan substrat dengan sumber karbon tinggi serta hambatan internal yang rendah perlu dilakukan agar produksi listrik yang dihasilkan sistem MFC semakin efektif dan efisien.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan glukosa dengan konsentrasi 10% (b/v) dalam MFC *S. cerevisiae* menghasilkan nilai rata-rata tegangan dan kuat arus paling tinggi yaitu 561,83 mV dan 105,33 mA dibandingkan perlakuan lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Wijanarka dan Ibu Hermin Pancasakti Kusumaningrum yang telah memberikan saran dan diskusi kritisnya sehingga artikel ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- Aelterman, P., Rabaey, K., Clauwaert, P., and Verstraete, W. 2006. *Microbial Fuel Cells for Wastewater Treatment*. *Water Science & Technology*. 54(8): 9-15
- Arbianti, R., Heri H., Tania S. U., Nova C. Z., Ira T., and Ester K. 2012. The usage of *Saccharomyces cerevisiae* in microbial fuel cell system for electricity energy production. *David Publishing*. 814-819
- Arif, M.W. 2015. Smart Electrical Whey: Aplikasi Teknologi Microbial Fuel Cell (MFC) Satu Bejana pada Pengolahan Limbah Cair Tahu (Whey) dengan Bantuan Electrochemically Active Bacteria (EAB) sebagai Solusi Energi Listrik Alternatif di Dusun Gunungsaren Kidul, Srandakan, Bantul. *Artikel*. <http://writingcontest-total.bisnis.com/artikel/read/20150402/404/418667/...> (Diakses tanggal 12 November 2015)
- Behera, M., Jana, P.S., More, T.T., and Ghangrekar, M.M. 2010. Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH. *Bioelectrochemistry*. 79(2): 228-233.
- Du, Z., H. Li, and T. Gu., 2007, A State Of The Art Review on Microbial Fuel Cell; A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy. *Journal Biotechnology Advances*. 25: 464-482
- Fan, Y., Sharbrough, E., and Liu, H., 2008, Quantification of the Internal Resistance

- Distribution of Microbial Fuel Cells. *Environmental Science & Technology*. 42(21): 8101-8107.
- Lee, JN., Lee DY., Ji IH., Kim GE., Kim HN., Sohn J., Kim S., and Kim CW. 2001. Purification of soluble β -Glucan with immuno-enhancing activity from the cell wall of yeast. *Bioschi. Biotechnol. Biochem* 65: 837-841.
- Liu H and Logan B. E. 2004. Electricity Generation Using an Air Cathode Single-Chamber Microbial Fuel Cell in the presence and absence of proton exchange membrane. *J. Environment Science Technology*. 38:4040.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schroeder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., and Rabaey, K., 2006, Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. *Environ Sci & Technol*. 39(2): 5174.
- Mathuriya, AS. and VN Sharma. 2010. Bioelectricity production from various wastewaters through microbial fuel cell technology. *Journal of Biochemical Technology*. 2 (1): 133-137
- Murray R. K., Granner D. K., Mayes P.A., and Rodwell. 2003. *Harper's Illustrated Biochemistry*. 26th ed. Appleton & Lange. USA.
- Novitasari, D. 2011. Optimalisasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Puppan, D. 2002. Environmental Evaluation of Biofuels. *Periodica Polytechnica Ser,Soc,Man,Sci*. 10(1): 95-116
- Reguera, G., Kevin, D., Mehta, T., Nicole, J. S., Touminen, M. T., and Lovley, D. R. 2005. Extracellular Elektron Transfer Via Microbial Nanowires. *Nature*. 435: 1098-1101
- Viantikasari, M., Muhammad AN., dan Istajib SH. 2013. E-Mosi : Energi Listrik dari Molases dan Sampah Organik Menggunakan Microbial Fuel Cell dengan Bioaktivator *Saccharomyces cerevisiae*, *Pseudomonas fluorescens*. dan *Streptomyces* spp. *Laporan Science Project OSN Pertamina 2013*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Walker, GM. 1998. *Yeast Physiology and Biotechnology*. John Wiley & Sons. Chichester.
- Zahara. 2011. Pemanfaatan *Saccharomyces cerevisiae* dalam Sistem *Microbial Fuel Cell* untuk Produksi Energi Listrik. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.

