

Studi Pendahuluan Pemanfaatan *Whey* Tahu sebagai Substrat dan Efek Luas Permukaan Elektroda dalam Sistem *Microbial Fuel Cell*

David Hamonangan Sinaga, Linda Suyati, ¹Agustina L.N. Aminin
Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro
¹Corresponding author: agustina_lna@undip.ac.id

ABSTRAK

Studi ini bertujuan mengkaji potensi *whey* tahu sebagai substrat menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dan mempelajari pengaruh luas permukaan elektroda dalam menghasilkan beda potensial pada sistem MFC. Tahapan penelitian meliputi konstruksi reaktor MFC, pengukuran beda potensial pada variasi substrat yaitu membandingkan beda potensial yang dapat dihasilkan oleh substrat *whey* tahu dengan substrat glukosa, dan pengukuran beda potensial pada variasi luas permukaan elektroda dengan masing-masing luas permukaan elektroda grafit sebesar 13,29 cm², 26,58 cm², 39,87 cm², dan 53,16 cm². Hasil penelitian menunjukkan bahwa *whey* tahu memiliki potensi dengan dihasilkannya beda potensial maksimum 11,73 mV/100 ml substrat dalam sistem MFC menggunakan *S. cerevisiae*. Hasil studi juga menunjukkan bahwa semakin besar luas permukaan elektroda, semakin besar pula beda potensial yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan luas elektroda grafit 53,16 cm² menghasilkan beda potensial 40,67 mV/100 mL substrat *whey* tahu dan 300 mV/100 mL substrat glukosa.

Kata kunci: Whey tahu, Microbial fuel cell, Saccharomyces cerevisiae, dual-chamber MFC

ABSTRACT

The preliminary research about the utilization of soy whey as a substrate and the effect of electrode surface area in microbial fuel cell (MFC) system has been conducted. Laboratory-scale experiment of MFC was carried out in order to determine the ability of soy whey to act as substrate using *Saccharomyces cerevisiae* and the influence of electrode surface area to generate a potential difference in MFC system. The study includes the MFC reactor design, measuring a potential difference at variation of substrate (soy whey and glucose), and evaluate a potential difference at a variation of graphite electrode surface area. The results show that soy whey has an ability to be applied as a substrate in the MFC system using *S. cerevisiae* with potential difference 11,73 mV/100 ml. The variation of electrode surface area in the MFC system with four graphite electrodes (53.16 cm²) give the best potential difference with 40,67 mV/100 ml of soy whey and 300 mV/100 ml of glucose substrate.

Keywords: Soy whey, Microbial fuel cell, Saccharomyces cerevisiae, dual-chamber MFC

PENDAHULUAN

Krisis energi telah memicu pengembangan sumber energi alternatif terbarukan (*renewable*) untuk mensubstitusi penggunaan minyak bumi yang selama ini menjadi sumber energi utama bagi masyarakat Indonesia (Sitorus, 2010). Hal ini menjadi sangatlah penting mengingat minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui.

Pemanfaatan mikroba untuk menghasilkan energi listrik menjadi salah satu upaya yang ditempuh dan dilakukan oleh para peneliti dalam beberapa

tahun ini. Sistem yang digunakan adalah teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) yang memanfaatkan materi organik di dalam substrat untuk digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi dalam melakukan aktivitas metabolismenya (Tjandra *et al*, 2010). MFC sama seperti *fuel cell* biasa yang tersusun atas anoda, katoda, dan elektrolit, namun menggunakan mikroba sebagai sistem anoda. Mikroba dapat melakukan metabolisme dalam keadaan anaerob dengan mengurai glukosa menjadi proton (H⁺), elektron (e⁻) dan karbondioksida (CO₂), elektron yang dihasilkan

dapat dimanfaatkan sebagai sumber arus listrik (Singh *et al*, 2010).

Kinerja sistem MFC dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah jenis substrat, jenis larutan elektrolit, jenis elektroda dan luas permukaan elektroda yang digunakan. Substrat merupakan faktor kunci untuk produksi listrik yang efisien dalam sistem MFC, karena berfungsi sebagai sumber nutrisi untuk mikroba dalam melakukan metabolisme sel. Riset pada bidang MFC menunjukkan kecenderungan penggunaan produk samping (*by-product*) yang terbuang dari suatu pabrik pengolahan makanan ataupun minuman sebagai substrat untuk menghasilkan sumber energi baru yang murah. Beberapa substrat yang telah digunakan diantaranya adalah *cheese whey* (Antonopoulou *et al*, 2009), limbah cair industri tapioka (Tjandra *et al*, 2010), *paneer whey* (Dalvi *et al*, 2011), dan limbah cair industri bir (Rohan *et al*, 2013). Luas permukaan elektroda juga memainkan peranan penting terhadap besar kecilnya beda potensial yang dapat dihasilkan sistem MFC. Menurut Sadeqzadeh *et al* (2012) luas permukaan elektroda yang besar akan menangkap elektron lebih banyak di permukaannya sehingga dapat dihasilkan energi listrik yang lebih besar, dimana hal ini sesuai dengan fakta penelitian yang dilakukan yaitu ketika luas permukaan elektroda ditambah maka beda potensial yang dihasilkan semakin besar.

Sejauh ini telah dilakukan berbagai riset MFC dan *S. cerevisiae* adalah mikroba yang paling umum digunakan diantaranya penelitian Rahimnejad *et al* (2009) yang memanfaatkan glukosa sebagai substrat untuk *S. cerevisiae*, menghasilkan beda potensial maksimum 54,1 mV/100 mL substrat. Najafpour *et al* (2010) memanfaatkan *cheese whey* sebagai substrat, menghasilkan beda potensial maksimum 65,8 mV/100 mL substrat pada sistem MFC dengan *S. cerevisiae*. Najafpour *et al* (2011) memanfaatkan fruktosa sebagai substrat untuk *S. cerevisiae*, menghasilkan beda potensial maksimum 128 mV/100 mL substrat. Arbianti *et al* (2012) memanfaatkan *glucose yeast extract* sebagai substrat, menghasilkan beda potensial maksimum 196 mV/100 mL substrat pada sistem MFC dengan *S. cerevisiae*. Memon *et al* (2013) memanfaatkan limbah rumah tangga sebagai

substrat untuk *S. cerevisiae*, menghasilkan beda potensial maksimum 83 mV/100 mL substrat.

Whey tahu adalah air buangan sisa proses penggumpalan tahu. Karena pabrik tahu dengan berbagai ukuran dan kapasitas produksi sangat banyak terdapat di Indonesia, maka keberadaan *whey tahu* pun melimpah. Menurut Nuraida (1985), untuk setiap 1 kg bahan baku kedelai dibutuhkan rata-rata 45 L air dan akan dihasilkan produk samping berupa *whey tahu* rata-rata 43,5 L. Di dalam *whey tahu* masih terdapat sisa-sisa protein, lemak maupun karbohidrat dan zat-zat larut air lainnya yang tidak menggumpal (Bazinet *et al*, 2008). *Whey tahu* yang tidak dimanfaatkan akan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena membusuknya senyawa-senyawa organik tersebut, sedangkan pemanfaatannya masih sangat terbatas. Sejauh ini *whey tahu* telah dimanfaatkan sebagai biogas, produksi nata de soya, dan substrat untuk pertumbuhan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dalam memproduksi asam laktat (Rukmi *et al*, 2007).

Berdasarkan fakta-fakta yang telah disebutkan sebelumnya, maka di dalam penelitian ini *whey tahu* dijadikan sebagai substrat dalam sistem MFC menggunakan *S. cerevisiae* dan dipelajari efek luas permukaan elektroda terhadap beda potensial yang dihasilkan dalam sistem MFC.

BAHAN DAN METODA

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biakan murni *S. cerevisiae* ATCC 9763 koleksi Balai Laboratorium Kesehatan Yogyakarta, *whey tahu*, pepton, *yeast extract*, glukosa, grafit, aquadest, NaOH 1M, HCl 1M, KCl 1M, agar, KMnO₄ 0,2M, Etanol 70%, K₂HPO₄, KH₂PO₄.

Metode

Konstruksi MFC. Terdiri dari pembuatan jembatan garam dan preparasi elektroda. Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan menambahkan 5% agar (w/v) kedalam larutan KCl 1M, kemudian dipanaskan dan dimasukkan kedalam pipa U. Selanjutnya pipa U direndam dalam larutan KCl 1M hingga saat akan digunakan. Untuk elektroda, sebelum digunakan harus dibersihkan dan diaktifkan terlebih dahulu. Elektroda direndam dalam larutan HCl 1M dan NaOH 1M masing-masing selama 1 hari,

Kemudian elektroda disimpan dalam aquades hingga saat akan digunakan.

Preparasi elektrolit KMnO_4 0,2M. Larutan KMnO_4 0,2M dengan penambahan buffer fosfat diisi ke dalam kompartemen katoda dan dijaga agar tidak terkena cahaya matahari karena larutan mudah mengalami fotodekomposisi.

Preparasi mikroorganisme *S. cerevisiae*. Preparasi Mikroorganisme *S. cerevisiae* terdiri dari pembuatan media pertumbuhan dan pembuatan inokulum. Media pertumbuhan yang digunakan yaitu YPG (*Yeast Peptone Glucose*), merupakan campuran *yeast extract*, pepton, dan glukosa yang dilarutkan dengan larutan buffer fosfat, dimana campuran larutan kemudian di autoklaf. Pembuatan inokulum dilakukan terhadap media pertumbuhan yang telah dibuat, yaitu dengan cara mengambil 1 jarum ose biakan mikroba dari media padat (agar miring), kemudian diinokulasikan ke dalam media pertumbuhan. Media pertumbuhan beserta mikroba yang telah diinokulasi selanjutnya di inkubasi selama 20 jam pada suhu 30°C .

Preparasi sistem MFC

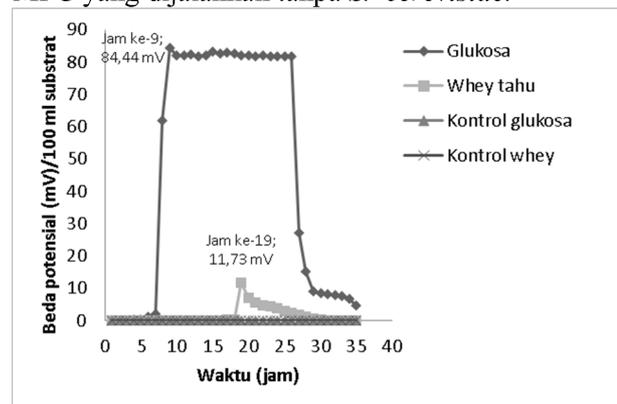
- **Pengukuran beda potensial pada variasi substrat.** Substrat yang digunakan adalah glukosa dan *whey* tahu. Kedua jenis substrat diletakkan sebagai kompartemen anoda pada reaktor MFC, dimana kompartemen katodanya adalah campuran larutan kalium permanganat (KMnO_4) dan buffer fosfat. Kedalam masing-masing kompartemen anoda ditambahkan inokulum *S. cerevisiae*, selanjutnya sistem dijalankan sesuai dengan prosedur yang berlaku. Dilakukan pengamatan terhadap beda potensial yang dihasilkan per-jam selama 35 jam, kemudian dari data tersebut dapat dikaji potensi *whey* tahu sebagai substrat dalam menghasilkan beda potensial pada sistem MFC menggunakan *S. cerevisiae* apabila dibandingkan dengan data beda potensial yang dihasilkan substrat glukosa.
- **Pengukuran beda potensial pada variasi luas permukaan elektroda.** Masing-masing pada kompartemen anoda diisi dengan substrat glukosa dan *whey* tahu dengan variasi luas permukaan elektroda grafit

13,29 cm^2 , 26,58 cm^2 , 39,87 cm^2 , dan 53,16 cm^2 . Kompartemen katoda diisi dengan campuran larutan kalium permanganat (KMnO_4) dan buffer fosfat. Kedalam masing-masing kompartemen anoda ditambahkan inokulum *S. cerevisiae*, selanjutnya sistem dijalankan sesuai dengan prosedur yang berlaku. Dilakukan pengamatan terhadap beda potensial yang dihasilkan per-jam selama 35 jam, kemudian dari data tersebut dapat dipelajari pengaruh luas permukaan elektroda untuk menghasilkan beda potensial dalam sistem MFC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beda potensial pada variasi substrat.

Beda potensial yang dihasilkan sistem MFC pada variasi substrat tersaji pada Gambar 1. Setiap tahap pengukuran beda potensial pada penelitian ini disertai dengan kontrol negatif yaitu sistem MFC yang dijalankan tanpa *S. cerevisiae*.



Gambar 1. Beda potensial pada variasi substrat

Berdasarkan Gambar 1, kedua variasi substrat memberikan nilai beda potensial (mV) yang merupakan pembuktian awal bahwa sistem MFC yang memanfaatkan *S. cerevisiae* sebagai biokatalis mampu menghasilkan perbedaan potensial pada anoda dan katoda dengan menggunakan substrat glukosa maupun *whey* tahu.

Dari data yang tersaji pada Gambar 1 tampak bahwa untuk substrat glukosa, beda potensial maksimum didapat pada jam ke-9 sedangkan untuk substrat *whey* tahu beda potensial maksimum didapat pada jam ke-19. Adanya perbedaan waktu untuk mencapai beda potensial maksimum tidak terlepas dari struktur molekul

kedua substrat. Glukosa merupakan gula monosakarida sehingga bisa langsung dikonsumsi oleh *S. cerevisiae* untuk melakukan metabolisme sel. Di sisi lain sumber karbohidrat pada *whey* tahu adalah dalam bentuk oligosakarida dimana sebagian besar terdiri atas rafinosa dan stasiosa sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama bagi *S. cerevisiae* untuk dapat mengkonsumsi, karena dibutuhkan kerja ganda dari mikroba yaitu memecah-mecah molekul substrat menjadi bagian yang lebih sederhana, baru kemudian memanfaatkannya sebagai sumber nutrisi untuk melakukan metabolisme (Sitorus, 2010).

Berdasarkan data yang tersaji pada Gambar 1 juga dapat dilihat beda potensial maksimum yang dihasilkan masing-masing substrat memperlihatkan perbedaan yang cukup signifikan. Glukosa mampu menghasilkan beda potensial maksimum sebesar 84,44 mV/100 ml substrat sedangkan *whey* tahu hanya sebesar 11,73 mV/100 ml substrat. Tingginya beda potensial yang dihasilkan substrat glukosa berkaitan dengan kadar substrat yang tersedia di dalam kompartemen anoda yang akan dimanfaatkan oleh *S. cerevisiae* untuk melakukan metabolisme, dimana konsentrasi substrat glukosa yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 3,6 % w/v (36,03 g/l). Konsentrasi ini berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Rohan *et al* (2013) dimana didapatkan fakta bahwa konsentrasi glukosa terbaik yang dapat mendukung pertumbuhan mikroba sehingga dapat menghasilkan beda potensial maksimum adalah sebesar 3,6-6 % w/v.

Di sisi lain, rendahnya beda potensial yang dihasilkan substrat *whey* tahu juga berkaitan dengan kadar substrat yang tersedia untuk dimanfaatkan *S. cerevisiae* dalam melakukan metabolisme sel. Sumber karbohidrat yang digunakan sebagai bahan utama dalam melakukan metabolisme sel hanya tersedia sekitar 0,8 % di dalam *whey* tahu, dan itupun didapat setelah dilakukan proses ultrafiltrasi dimana sebelumnya dilakukan pemekatan terhadap komponen-komponen nutrisi yang terdapat pada sampel *whey* tahu melalui proses ultrafiltrasi dengan harapan konsentrasi karbohidrat akan meningkat sehingga dapat menunjang proses metabolisme sel.

Hasil uji konsentrasi karbohidrat di dalam *whey* tahu pada berbagai kondisi dapat dilihat pada Tabel 1.

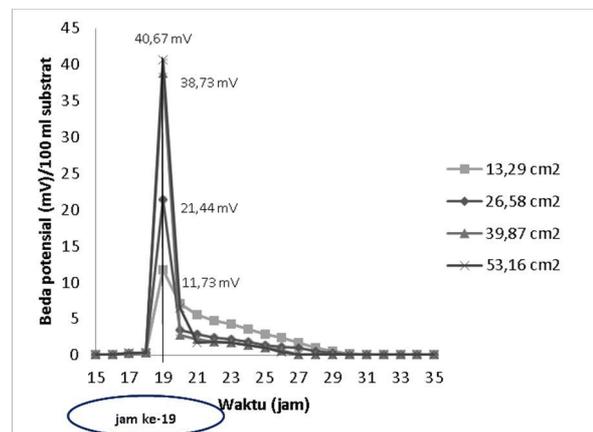
Tabel 1. Konsentrasi karbohidrat *whey* tahu pada berbagai kondisi

Keterangan	Karbohidrat % (w/v)
Sebelum ultrafiltrasi	0,3
Setelah ultrafiltrasi	0,8
Setelah proses MFC	0

Keterbatasan sumber makanan ini tentunya akan berdampak pada proses metabolisme yang terhenti pada waktu yang lebih cepat dikarenakan sudah habisnya sumber makanan yang tersedia, dan ditandai dengan kecilnya beda potensial yang dihasilkan dalam sistem MFC dibandingkan dengan penggunaan substrat glukosa yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Beda potensial pada variasi luas permukaan elektroda

Beda potensial yang dihasilkan sistem MFC dengan substrat *whey* tahu pada variasi luas permukaan elektroda tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Beda potensial *whey* tahu pada variasi luas permukaan elektroda

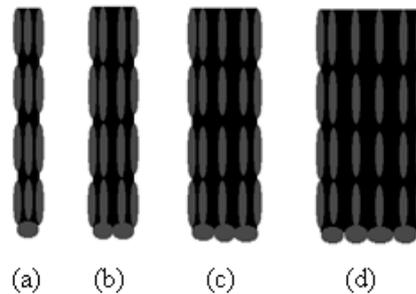
Data yang tersaji pada Gambar 2 tampak bahwa semakin besar luas permukaan elektroda maka semakin besar pula beda potensial yang dihasilkan. Hal ini karena semakin luas permukaan elektroda maka akan semakin banyak elektron hasil metabolisme yang dapat menempel dan kemudian akan dialirkan menuju katoda melalui sirkuit listrik eksternal, yang dibuktikan

dengan dihasilkannya beda potensial yang paling tinggi pada sistem MFC dengan luas elektroda 53,16 cm² yaitu sebesar 40,67 mV/100 ml substrat.

Di sisi lain, semakin luas permukaan elektroda yang diberikan memperlihatkan profil waktu habisnya reaktan yang lebih pendek. Fenomena ini dikarenakan pada sistem MFC dengan luas elektroda 13,29 cm², 26,58 cm², dan 39,87 cm², elektron dalam jumlah banyak yang dihasilkan oleh mikroba hasil metabolisme reaktan tidak dapat langsung dialirkan menuju sirkuit luar karena keterbatasan tempat untuk menempel pada elektroda tersebut sehingga terjadi antrian elektron dan prosesnya harus bertahap. Pada sistem MFC dengan luas elektroda 53,16 cm², sebagian besar elektron yang dihasilkan oleh mikroba dapat menempel pada elektroda dan langsung dialirkan menuju sirkuit luar sehingga tidak terjadi penumpukan.

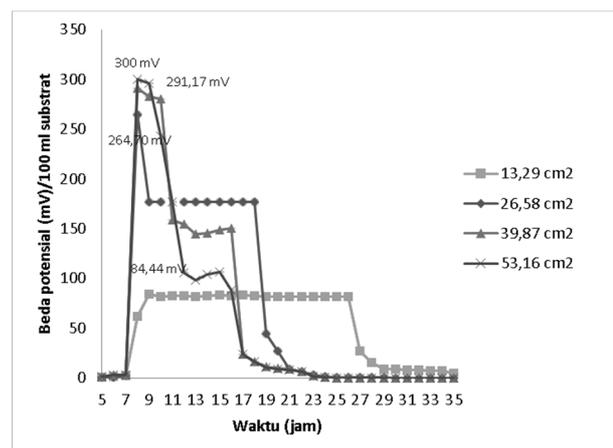
Dengan kemampuan untuk dapat menangkap sebagian besar elektron hasil oksidasi reaktan oleh mikroba dan langsung mengalirkannya menuju katoda melalui sirkuit luar, maka beda potensial yang terbaca pada sistem MFC dengan luas elektroda 53,16 cm² akan lebih tinggi dari sistem MFC dengan variasi luas permukaan elektroda yang lainnya dan disertai dengan pendeknya profil waktu habisnya reaktan karena sebagian besar elektron hasil oksidasi reaktan sudah dialirkan melalui sirkuit luar dan menghasilkan beda potensial yang tinggi pada multimeter pada jam-jam awal ketika fase metabolisme maksimum dari mikroba terjadi, sehingga pada jam-jam berikutnya hanya terdapat sedikit elektron saja yang belum dialirkan menuju katoda melalui sirkuit luar dan terbaca sebagai beda potensial yang rendah pada multimeter, dimana elektron-elektron tersebut merupakan parameter dari keberadaan jumlah substrat di dalam kompartemen anoda.

Fenomena menempelnya elektron pada berbagai luas permukaan elektroda diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. a) satu elektroda (13,29 cm²), b) dua elektroda (26,58 cm²), c) tiga elektroda (39,87 cm²), d) empat elektroda (53,16 cm²)

Pengukuran beda potensial dengan variasi luas permukaan elektroda yang sama juga dilakukan terhadap substrat glukosa. Data beda potensial yang dihasilkan tersaji pada Gambar 4.



Gambar 4. Beda potensial glukosa pada variasi luas permukaan elektroda

Pada data yang tersaji pada Gambar 4, tampak bahwa fenomena yang sama juga tersaji pada substrat glukosa, semakin luas permukaan elektroda maka semakin besar pula beda potensial yang dapat dihasilkan. Selain itu, profil waktu habisnya reaktan juga memberikan fakta yang sama dengan tahap penelitian sebelumnya dimana semakin luas permukaan elektroda yang diberikan memperlihatkan profil waktu habisnya reaktan yang lebih pendek.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *whey* tahu memiliki potensi dengan dihasilkannya beda potensial maksimum setinggi 11,73 mV/100 ml substrat dalam sistem MFC menggunakan *S. cerevisiae*. Hasil studi juga menunjukkan bahwa

semakin besar luas permukaan elektroda, semakin besar pula beda potensial yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dimana dengan luas elektroda grafit 53,16 cm² menghasilkan beda potensial setinggi 40,67 mV/100 mL substrat whey tahu dan 300 mV/100 mL substrat glukosa.

PERSANTUNAN

Terimakasih kepada program beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) yang telah membantu biaya pendidikan dan penelitian.

REFERENCES

- [1] Arbianti, R., Utami, T.S., Hermansyah, H., Zahara, N.C., Kristin, E., Trisnawati, I., 2012, The Usage of *Saccharomyces cerevisiae* in Microbial Fuel Cell System for Electricity Energy Production, *J. Chem. Chem. Eng.*, (6): 814-819
- [2] Bazinet, L., Makhlof, J., Ben Ounis, W., Champagne, C.P., 2008, Utilization of Tofu Whey Tre-treated by Electromembrane Process as a Growth Medium for *Lactobacillus plantarum* LB17, *Desalination*, (229): 192-203
- [3] Memon, A.R., Aziz, S., Shah, S.F., Soomro, S.A., Parkash, A., Jatoi, A.S., 2013, Electricity Generation from Sewage Sludge using Environment-Friendly Double Chamber Microbial Fuel Cell, *Science International Lahore*, 25(1): 57-61
- [4] Najafpour, G.D., Rahimnejad, M., Mokhtarian, N., Daud, W.R.W., Ghoreyshi, A.A., 2010, Bioconversion of Whey to Electrical Energy in a Biofuel Cell using *Saccharomyces cerevisiae*, *World Applied Sciences Journal*, (8): 01-05
- [5] Najafpour, G.D., Jafary, T., Ghoreyshi, A.A., Haghparast, F., Rahimnejad, M., Zare, H., 2011, Bioelectricity Power Generation from Organic Substrate in a Microbial Fuel Cell Using *Saccharomyces cerevisiae* as Biocatalysts, *World Renewable Energy Congress*, 1182-1188
- [6] Rahimnejad, M., Mokhtarian, N., Najafpour, G.D., Daud, W.R.W., Ghoreyshi, A.A., 2009, Low Voltage Power Generation in a Biofuel Cell Using Anaerobic Cultures, *World Applied Science Journal*, 6(11): 1585-1588
- [7] Rohan, D., Rohan, G., Deepa, V., Satish, B., 2013, Bioelectricity Production from Microbial Fuel Cell Using *Escherichia coli* (Glucose and Brewery Waste), *International Research Journal of Biological Sciences*, 2(7): 50-54
- [8] Rukmi, W.D., Zubaidah, E., Maria, M., 2007, Pembuatan Starter Kering Kultur Campuran Bakteri Asam Laktat Dan *Saccharomyces Cereviceae* Untuk Proses Fermentasi Produk Sereal Instan, *Jurnal Teknologi Pertanian*, 4(1): 56-59
- [9] Sadeqzadeh, M., Ghasemi, M., Jafary, T., Wan Daud, W.R., Ghannadzadeh, A., Salamatinia, B., Aly Hassan, S.H., 2012, Mass Transfer Limitation in Different Anode Electrode Surface Areas on the Performance of Dual Chamber Microbial Fuel Cell, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 8(4): 320-325
- [10] Singh, D., Pratap, D., Baranwal, Y., Kumar, B., Chaudhary, R.K., 2010, Microbial Fuel Cells: A Green Technology for Power Generation, *Annals of Biological Research*, 1(3): 128-138
- [11] Sitorus, B., 2010, Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba, *Jurnal ELKHA*, 2(1): 10-15
- [12] Tjandra, S., Rinaldi, M.R., Reinaldo, V., Muhyinsyah, A., 2010, *Electricity Generation from Tapioca Wastewater using a Micobial Fuel Cell (MFC)*, Department of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung