

Pengaruh Konsentrasi Substrat Maltosa terhadap Potensial Listrik Baterai *Lactobacillus bulgaricus* (MFC)

Farida Zulfah Fitriani^a, Linda Suyati^{a*}, W. H. Rahmanto^a

^a Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

* Corresponding author: linda_suyati@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:

maltose, battery of MFC, *Lactobacillus bulgaricus*, substrate concentration

Kata kunci:

maltosa, baterai MFC, *Lactobacillus bulgaricus*, konsentrasi substrat

Abstract

Battery of MFC is a fuel cell that producing electrical potential from oxidation of organic substrate with microbial aid. One of the factors that play role in determining large–small electricity production in the battery of MFC is substrate concentration. Battery of MFC development associated with substrates which are accessible, for example maltose. This study purpose to determining effect of concentration substrate maltose in MFC batteries, determining electrical potential maximum with various concentration of substrate maltose using *Lactobacillus bulgaricus*, and determining standard potential of maltose ($E^{\circ}_{\text{maltose}}$) based on Nernst equation. Electrical potential measurement performed at various maltose concentrations 3–7%. *Lactobacillus bulgaricus* can grow in the substrate maltose and increased a number of colonies per mL chopped along with bacterial activity towards substrate and the toxicity of bacteria caused decreasing electrical potential. The results of electrical potential measurement at various concentrations 3–7% of substrate maltose, respectively 0.57 V; 0.51 V; 0.48 V; 0.46 V; 0.39 V. In the theory using Nernst equation obtained $E^{\circ}_{\text{maltose}}$ equals to + 0.5637 Volt. The results showed that the concentration of substrate maltose affecting battery of MFC system.

Abstrak

Baterai MFC merupakan bahan bakar penghasil potensial listrik dari oksidasi substrat organik dengan bantuan mikrobial. Salah satu faktor yang berperan dalam menentukan besar–kecilnya produksi listrik pada baterai MFC adalah konsentrasi substrat. Pengembangan baterai MFC berhubungan dengan substrat yang mudah dijangkau, contohnya adalah maltosa. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh konsentrasi substrat maltosa dalam baterai MFC, menentukan potensial listrik maksimum dengan variasi konsentrasi substrat maltosa menggunakan *Lactobacillus bulgaricus*, dan menentukan potensial standar maltosa ($E^{\circ}_{\text{maltosa}}$) berdasarkan persamaan Nernst. Pengukuran potensial listrik dilakukan pada variasi konsentrasi substrat maltosa 3–7%. Bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dapat tumbuh dalam substrat maltosa dan mengalami peningkatan jumlah seiring dengan peningkatan konsentrasi substrat. Potensial listrik yang dihasilkan berhubungan dengan aktivitas bakteri terhadap substrat dan toksisitas pada bakteri mengakibatkan penurunan potensial listrik. Hasil pengukuran potensial dan arus listrik pada variasi konsentrasi 3–7% berturut–turut, 0,57 V; 0,51 V; 0,48 V; 0,46 V; 0,39 V. Secara teori menggunakan persamaan Nernst diperoleh $E^{\circ}_{\text{maltosa}}$ sebesar +0,5637 Volt. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi substrat berpengaruh dalam sistem baterai MFC.

1. Pendahuluan

Teknologi baterai bahan bakar mikrobial (*Microbial Fuel Cell*, MFC) merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk menghasilkan bioelektrisitas dari biomassa menggunakan mikroba [1]. Energi listrik dapat digenerasi melalui proses degenerasi senyawa organik oleh mikroorganisme dan menarik perhatian kalangan saintis dari pertengahan tahun 80-an sampai awal tahun 90-an [2]. Baterai MFC memiliki berbagai kelebihan dibandingkan dengan energi listrik alternatif lainnya, diantaranya memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dan dapat diaplikasikan pada berbagai tempat yang memiliki infrastruktur listrik yang kurang [3].

Sistem dalam baterai MFC ini dapat mengkonversikan energi kimia melalui aktivitas mikroorganisme untuk mengoksidasi substrat organik sehingga menghasilkan energi dalam bentuk potensial listrik [4]. Potensial listrik berupa elektron dialirkan dari anoda ke katoda melewati sirkuit eksternal dan proton dialirkan melalui membran internal yang memisahkan kompartemen anoda dan katoda [5].

Mikroorganisme yang telah digunakan dalam sistem MFC salah satunya adalah *Lactobacillus bulgaricus*. Beberapa peneliti memanfaatkan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* sebagai penghasil listrik dengan faktor operasi sistem MFC yang berbeda, yaitu variasi kekeruhan (*Optical Density*, OD) dihasilkan arus listrik dan voltase optimum pada nilai OD 0,5 berturut-turut sebesar 0,287 mA dan 200,7 mV [6], variasi rangkaian listrik paralel dihasilkan voltase rangkaian tunggal, paralel 1, dan paralel 2 masing-masing adalah 38,2 mV; 42,2 mV; dan 46,6 mV [7], variasi rangkaian listrik seri dihasilkan beda potensial rangkaian tunggal, seri 1, dan seri 2 masing-masing sebesar 45 mV, 57 mV, dan 58 mV [8], variasi substrat yaitu whey tahu, glukosa, dan laktosa berturut-turut menghasilkan beda potensial sebesar 25,5 mV; 24,5 mV; 27,7 mV [9]. Beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa jenis bakteri *Lactobacillus bulgaricus* memiliki potensi untuk aplikasi MFC

Substrat merupakan faktor yang sangat berperan dalam besar-kecilnya produksi listrik pada sistem MFC [9]. Substrat digunakan pula untuk menjadi sumber nutrisi mikroba dalam melakukan metabolisme sel [10]. Beberapa spesies bakteri tidak dapat menggunakan glukosa, melainkan menggunakan karbohidrat yang kompleks seperti disakarida, yaitu sukrosa, laktosa, amilum, dll [10]. Penelitian menggunakan maltosa sebagai sumber karbon yang dimanfaatkan dalam sistem baterai MFC masih sangat minim sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji potensi maltosa dalam baterai MFC.

Pada penelitian Rohan dkk. [10] mengacu pada uji *Minimal Inhibitory Concentration* (MIC), pertumbuhan mikroorganisme yang baik adalah pada kisaran konsentrasi substrat glukosa 4-6% dan limbah bir sebagai substrat diperoleh potensial listrik yang lebih besar dari substrat glukosa, yaitu 534 mV. Penelitian tersebut juga menjelaskan dimungkinkan limbah bir

mengandung banyak komponen organik sebagai sumber substrat pertumbuhan mikroba, sehingga dapat disimpulkan bahwa gula lain seperti sukrosa, maltosa, dll dapat digunakan juga untuk mengkaji peranannya dalam sel bahan bakar.

Hubungan potensial sel dan potensial sel standar pada baterai MFC dapat dinyatakan dalam persamaan *Nernst* di mana potensial sel standar dipengaruhi oleh nilai potensial standar anoda (E°_{anoda}) dan potensial standar katoda ($E^{\circ}_{\text{katoda}}$). Kecenderungan reaksi berjalan spontan dapat ditentukan dengan nilai potensial standar sel (E°_{sel}).

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis mencoba untuk mengkaji dari konsentrasi substrat maltosa 3-7% dengan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* pada baterai MFC untuk menghasilkan potensial listrik. Selain itu substrat maltosa pada baterai MFC belum mempunyai nilai potensial standar (E°_{anoda}), maka perlu ditentukan nilainya dengan panduan persamaan *Nernst*.

2. Metodologi

Bahan: Kultur mikroba *Lactobacillus bulgaricus*, MRS broth, maltosa 3-7%, agar 5 g, nutrient agar, batang rafit, akuades, NaOH 1M, HCl 1M, KCl 1M, KMnO_4 0,2M, alkohol 70%, buffer fosfat pH 7.

Alat: Sel MFC, multimeter digital, inkubator, kabel dan penjepit buaya, timbangan digital, autoklaf, pipet mikro, jarum ose, gelas beker, gelas ukur, pipet tetes, plastic wrap, kapas, botol kaca, aluminium foil, thermometer.

Preparasi Mikroorganisme *Lactobacillus bulgaricus*

Preparasi mikroorganisme dilakukan dengan menginokulasi bibit *Lactobacillus bulgaricus* murni dalam media MRS broth yang telah disterilisasi, diinkubasi selama 48 jam pada suhu 37°C. Bakteri dalam MRS broth digunakan sebagai starter untuk adaptasi bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dalam substrat maltosa yang sudah disterilisasi dan diinkubasi selama 48 jam pada suhu 37°C. Adaptasi dilakukan sebanyak 3 kali. Bakteri setiap hasil adaptasi digunakan sebagai sampel untuk uji *Total Plate Count* (TPC). Bakteri hasil dari adaptasi ketiga dalam substrat maltosa digunakan dalam kompartemen anoda pada sistem baterai MFC.

Uji Karbohidrat pada Substrat

Maltosa konsentrasi 3-7% diuji menggunakan pereaksi benedict. Lima tabung reaksi masing-masing berisi 5 mL sampel maltosa konsentrasi 3-7%, ditambahkan 5 mL pereaksi benedict. Larutan dipanaskan selama 4-5 menit. Pengujian larutan hasil uji benedict dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri visibel sehingga didapatkan nilai absorbansinya dan dapat diidentifikasi konsentrasi substrat maltosa dalam sistem baterai MFC.

Preparasi Elektrolit KMnO_4 0,2 M

Larutan KMnO_4 0,2 M dengan penambahan buffer fosfat pH 7 diisi ke dalam kompartemen katoda dan dijaga agar tidak terkena cahaya matahari dengan

menutup larutan menggunakan aluminium foil karena larutan mudah mengalami fotodekomposisi.

Konstruksi MFC

Kompartemen MFC yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua kompartemen yang terdiri dari anoda dan katoda dengan volume masing-masing 100 mL. Kedua kompartemen ini dihubungkan dengan jembatan garam. Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan menambahkan 5% agar (w/v) ke dalam larutan KCl 1M, kemudian dipanaskan dan dimasukkan ke dalam pipa U. Penggunaan batang grafit dibersihkan dan diaktifkan terlebih dahulu. Elektroda direndam dalam larutan HCl 1M selama 1 hari kemudian dibilas dengan akuades. Selanjutnya elektroda direndam dalam larutan NaOH 1M selama 1 hari dan dibilas dengan akuades. Elektroda direndam dalam larutan akuades hingga saat digunakan.

Perhitungan Populasi Bakteri

Sterilisasi tabung reaksi dan akuades menggunakan autoklaf, kemudian pengambilan 1 mL sampel kultur bakteri *Lactobacillus bulgaricus* ke dalam 9 mL akuades steril untuk memproleh pengenceran 10^{-1} hingga 10^{-5} . Pengambilan 1 mL pada setiap pengenceran menggunakan mikropipet ke dalam cawan petri steril, kemudian penuangan nutrient agar steril ke dalam cawan petri tersebut, putar perlahan untuk mengaduk campuran. Setelah memadat, cawan diletakkan dalam posisi terbalik dan diinkubasi selama 48 jam pada suhu 37°C. Perhitungan populasi dilakukan dengan metode hitung cawan total (*Total Plate Count*, TPC) dan menggunakan persamaan:

$$\text{Koloni per mL (cfu/mL)} = \text{Jumlah koloni per cawan} \times \frac{1}{\text{Faktor pengenceran}} \quad (1)$$

Pengukuran Potensial dan Arus Listrik pada Variasi Konsentrasi Substrat.

Substrat yang digunakan adalah maltosa dengan konsentrasi 3-7%. Substrat ditempatkan dalam kompartemen anoda dan ditambahkan inokulum *Lactobacillus bulgaricus*. Pada kompartemen katoda berisi larutan KMnO_4 0,2 M yang ditambah dengan buffer fosfat pH 7. Kompartemen anoda dan katoda diisi dengan elektroda grafit, kemudian elektroda grafit dihubungkan dengan rangkaian kabel pada multimeter digital. Langkah selanjutnya pengamatan potensial dan arus listrik selama 10 hari.

Penentuan $E^{\circ}_{\text{maltosa}}$

Penentuan nilai $E^{\circ}_{\text{maltosa}}$ dapat dihitung secara grafis dengan panduan persamaan *Nernst*:

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Populasi Mikroorganisme *Lactobacillus bulgaricus* dalam Variasi Konsentrasi Substrat Maltosa

Hasil perhitungan cacah bakteri *Lactobacillus bulgaricus* per mL dalam setiap konsentrasi substrat maltosa 3-7% dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hubungan konsentrasi maltosa dan jumlah koloni bakteri

| Konsentrasi Maltosa | Jumlah Bakteri (Koloni/mL) |
|---------------------|----------------------------|
| 3% | 131×10^5 |
| 4% | 146×10^5 |
| 5% | 162×10^5 |
| 6% | 175×10^5 |
| 7% | 185×10^5 |

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa jumlah cacah koloni bakteri mengalami peningkatan pada setiap konsentrasi maltosa. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dapat tumbuh dengan baik di dalam substrat maltosa.

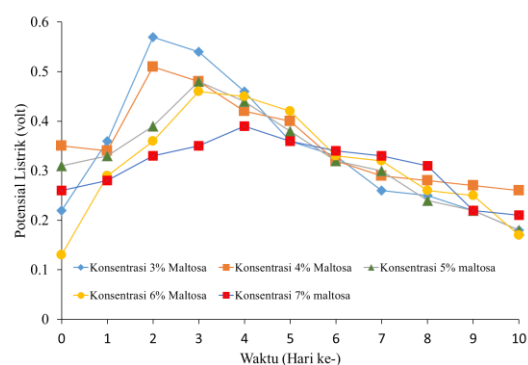
Potensial dan Arus Listrik pada Variasi Konsentrasi Substrat

Konsentrasi substrat merupakan faktor penentu besar-kecilnya produksi listrik baterai MFC, sehingga dapat dituliskan bahwa konsentrasi substrat merupakan fungsi dari potensial listrik baterai MFC. Secara matematika dapat dituliskan dengan persamaan:

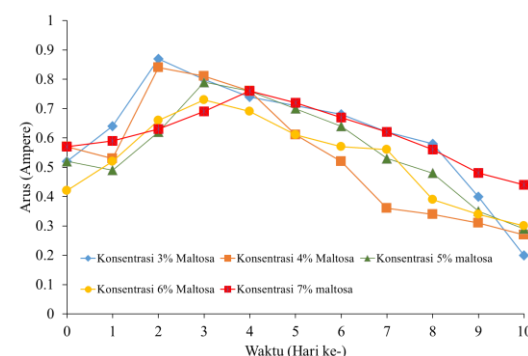
$$E_{\text{MFC}} = f(C_{\text{substrat}})_{T, C_{\text{elektrolit}}, pH, R_{\text{bridge}}} \quad (2)$$

Fungsi lainnya seperti temperatur, konsentrasi elektrolit, pH, dan R_{bridge} dikondisikan konstan agar tidak mengganggu produksi listrik terhadap fungsi konsentrasi substrat.

Hasil pengukuran potensial dan arus listrik dengan variasi konsentrasi maltosa ditunjukkan pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Potensial listrik yang dihasilkan pada variasi konsentrasi substrat maltosa



Gambar 2. Arus listrik yang dihasilkan pada variasi konsentrasi substrat maltosa

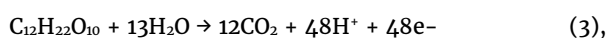
Data pada gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa konsentrasi maltosa 3-7% mampu menghasilkan potensial dan arus listrik. Potensial listrik maksimum untuk konsentrasi 3% dan 4% muncul pada hari ke 2, yaitu 0,57 Volt dan 0,51 Volt, konsentrasi 5% dan 6% pada hari ke 3 dengan potensial 0,48 Volt dan 0,46 Volt, sedangkan konsentrasi 7% pada hari ke 4 dengan potensial listrik sebesar 0,39 Volt.

Perbedaan waktu dari kelima variasi konsentrasi substrat untuk mencapai potensial maksimum dipengaruhi oleh jumlah populasi bakteri. Jumlah bakteri yang meningkat menyebabkan kerapatan bakteri dalam kompartemen anoda jg meningkat. Kerapatan bakteri yang tinggi akan menghambat elektron dari hasil metabolisme bakteri untuk mendekati elektroda dan menyebabkan waktu kontak antara elektroda dan bakteri cukup lama, sehingga proses transfer elektron juga membutuhkan waktu yang lama. Konsentrasi substrat maltosa 3% menunjukkan jumlah populasi bakteri yang lebih rendah dimungkinkan kerapatan bakteri berkurang dan waktu tercapainya potensial dan arus listrik maksimum lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi substrat maltosa 4-7%. Kerapatan bakteri pada konsentrasi substrat maltosa 3% yang dimungkinkan kecil maka elektron hasil metabolisme bakteri dapat dengan mudah mendekati elektroda dan menghasilkan potensial dan arus listrik yang lebih besar pula.

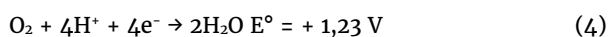
Pada gambar 1 dan 2 juga menunjukkan adanya penurunan nilai potensial listrik. Hal tersebut dimungkinkan karena selama proses MFC berlangsung terjadi pengurangan nutrisi makanan bakteri serta peningkatan produk samping berupa CO₂ yang menyebabkan efek toksisitas sehingga pH menurun dan juga mengakibatkan penurunan metabolisme bakteri.

Penentuan E^o_{maltosa}

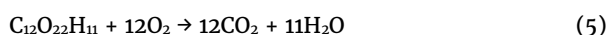
Hubungan potensial sel yang dihasilkan dan konsentrasi substrat pada sistem baterai MFC menggunakan persamaan Nernst (2) mengacu reaksi pada anoda:



sedangkan pada katoda:



sehingga didapatkan reaksi total:



Berdasarkan reaksi total (5) maka persamaan Nernst yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$E = E^o - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[f_{CO_2}]^{12} [a_{H_2O}]^{11}}{[a_{C_{12}H_{22}O_{11}}]^{11} [f_{O_2}]^{12}} \quad (6)$$

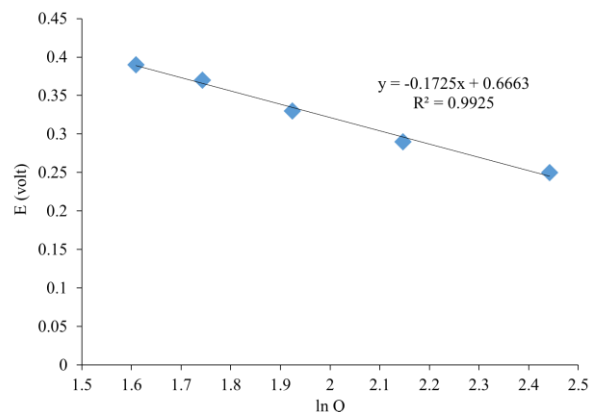
di mana α merupakan aktivitas, aktivitas CO₂ dan O₂ dinilai dari fugasitasnya (f), fugasitas CO₂ dan O₂ sama dengan satu. Aktivitas H₂O sama dengan satu sedangkan γ merupakan koefisien aktivitas. Maltosa dalam larutan memiliki nilai koefisien aktivitas sama dengan satu, sehingga:

$$E = E^o - \frac{RT}{48F} \ln \frac{1}{[C_{12}H_{22}O_{11}]} \quad (7)$$

Jika, E^o_{sel} = E^o katoda – E^o anoda, maka

$$E^o_{sel} = E^o_{O_2|H_2O} - E^o_{C_{12}H_{22}O_{11}|CO_2} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan Nernst (2) nilai E^o_{sel} ditentukan secara grafis sehingga didapatkan nilai E^o_{maltosa}.



Gambar 3. Grafik hubungan E dan ln Q

Hasil perhitungan menggunakan persamaan (8) diperoleh nilai E^o_{maltosa} sebesar + 0,5637 Volt. Nilai E^o_{maltosa} yang didapat bernilai positif, hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi pada penelitian baterai MFC ini berlangsung secara spontan.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi substrat maltosa mempengaruhi potensial listrik yang dihasilkan pada sistem baterai MFC. Konsentrasi maltosa 3% merupakan konsentrasi yang berpotensi untuk pertumbuhan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dalam menghasilkan potensial listrik sistem baterai MFC. Potensial standar maltosa dalam sistem baterai sebesar + 0,5637 Volt.

5. Daftar Pustaka

- [1] Bruce E. Logan, Bert Hamelers, René Rozendal, Uwe Schröder, Jürg Keller, Stefano Freguia, Peter Aelterman, Willy Verstraete, Korneel Rabaey, *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology, Environmental Science & Technology*, 40, 17, (2006) 5181-5192 <http://dx.doi.org/10.1021/es0605016>
- [2] F. J. Hernández-Fernández, A. Pérez de los Ríos, M. J. Salar-García, V. M. Ortiz-Martínez, L. J. Lozano-Blanco, C. Godínez, F. Tomás-Alonso, J. Quesada-Medina, Recent progress and perspectives in microbial fuel cells for bioenergy generation and wastewater treatment, *Fuel Processing Technology*, 138, Supplement C, (2015) 284-297 <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.05.022>
- [3] Korneel Rabaey, Willy Verstraete, *Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation, Trends in Biotechnology*, 23, 6, (2005) 291-298 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008>
- [4] Sonal G. Chonde Chonde, *Microbial Fuel cell: A New Approach of Wastewater Treatment with Power Generation, International Journal of Chemical,*

- Environmental and Pharmaceutical Research (ijCEPr)*, 5, 1, (2014) 8-12
- [5] Manaswini Behera, Partha S. Jana, Tanaji T. More, M. M. Ghangrekar, Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH, *Bioelectrochemistry*, 79, 2, (2010) 228-233 <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2010.06.002>
- [6] Rita Arbianti, Tania Utami, Heri Hermansyah, Deni Novitasari, Ester Kristin, Ira Trisnawati, Performance Optimization of Microbial Fuel Cell (MFC) Using *Lactobacillus bulgaricus*, *Makara Journal of Technology*, 17, 1, (2001) 32-38 <http://dx.doi.org/10.7454/mst.v17i1.1925>
- [7] Adi Putra, Rahmad Nuryanto, Linda Suyati, Lactose Bioelectricity on A Microbial Fuel Cell System Parallel Circuit Using *Lactobacillus Bulgaricus*, *Jurnal Sains dan Matematika*, 22, 4, (2014) 107-111
- [8] Dini Noor Hayati, Rahmad Nuryanto, Linda Suyati, Effect of Series Circuit on The Lactose Bioelectricity of A Microbial Fuel Cell System Using *Lactobacillus Bulgaricus*, *Jurnal Sains dan Matematika*, 23, 3, (2015) 84-89
- [9] Nor Sri Inayati, Agustina L. N. Aminin, Linda Suyati, The Bioelectricity of Tofu Whey in Microbial Fuel Cell System with *Lactobacillus Bulgaricus*, 23, 1, 32-38, (2015)
- [10] D. Rohan, Deepa Verma, Rohan Gavankar, Satish Bhalerao, Bioelectricity production from microbial fuel using *Escherichia coli* (glucose and brewery waste), *International Research Journal of Biological Sciences*, 2, 7, (2013) 50-54