

Analisis Pengaruh Waktu Pembedakan Substrat Roti Basi Terhadap Produksi Energi Listrik Pada Microbial Fuel Cell
Analysis Of The Effect Of Decaying Time Subscribed Bread As Substrate To Electrical Energy Production On Microbial Fuel Cell

Yohana Tisca Tiurma Limbong¹, M Ramdhan Kirom², Ahmad Qurthobi³
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹yohanatisca@gmail.com, ²mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id,
³qhurtobi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengenai analisis pengaruh waktu pembedakan substrat roti basi terhadap produksi energi listrik pada microbial fuel cell. Tujuan dari penelitian ini untuk menyelidiki keberadaan roti basi yang mengandung bahan organik, hal ini memiliki potensi besar sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan *microbial fuel cell*. Reaktor yang digunakan adalah MFC dual-chambers dengan setiap kompartemen memiliki dimensi 5 cm x 10 cm x 10 cm. Pada sistem MFC dual-chambers, elektron dihasilkan oleh bakteri dari substrat pada kompartemen anoda dan mengalir menuju elektron katoda, sedangkan proton ditransfer menuju kompartemen katoda melalui jembatan garam. Roti basi digunakan sebagai substrat pada anoda, akuades pada katoda, serta jembatan garam (NaCl 1 M) sebagai media transfer proton. Variasi lama waktu inkubasi substrat yaitu selama 1 hari, 3 hari dan 5 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembedakan roti basi paling lama dapat menghasilkan produksi energi listrik yang tertinggi dengan tegangan 0,03669 volt, kuat arus 0,33 miliampere, daya 0,050 mW.m⁻² dan energi 12,56989 kilojoule.

Kata kunci : *Microbial Fuel cell*, roti basi, elektroda

Abstract

Alternative energy sources for fossil-based energy substitutes are needed because fossil energy reserves are decreasing every day. One alternative technology that can be developed is Microbial Fuel Cell (MFC) which utilizes microorganisms to break down the substrate to produce electrical energy. Stale bread is chosen as a source of material to produce electricity because it is economical and can be found easily and abundantly in Indonesia. This research was conducted to investigate the existence of stale bread containing organic matter, this has great potential as a source of electrical energy using microbial fuel cells. The reactor used is a dual-chambers MFC with each compartment having a dimension of 5 cm x 10 cm x 10 cm. In dual-chambers MFC systems, electrons are produced by bacteria from the substrate in the anode compartment and flow into the cathode electrons, while the protons are transferred to the cathode compartment via a salt bridge. Stale bread is used as a substrate at the anode, distilled water on the cathode, and a salt bridge (1 M NaCl) as a proton transfer medium. Variation in substrate incubation time is 1 day, 2 day and 3 day. The results showed that the longest spoilage of bread can produce the highest production of electrical energy with a voltage of 0.03669 volts, current strength of 0.33 milliamperes, power density of 0,050 mW.m⁻² and energy of 12,56989 kilojoules.

Keywords: *Microbial Fuel cell, stale bread, electrode*

1. Pendahuluan

Ketersediaan energi menjadi salah satu kebutuhan yang esensial bagi kehidupan manusia. Pertumbuhan manusia yang semakin meningkat menyebabkan permintaan energi semakin besar, salah satunya adalah energi listrik. Salah satu cara pengembangan energi alternatif adalah dengan memanfaatkan sumber energi yang dihasilkan dari aktivitas mikroba. *Microbial fuel cell* (MFC) merupakan salah satu contoh energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai energi substituen karena *fuel cell* ini mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik menggunakan mikroorganisme. MFC memfasilitasi sebuah lingkungan reduksi oksidasi yang dapat dikendalikan oleh aliran elektron dan menjadikannya alat yang ideal untuk mengolah mikroorganisme. [2]

Mikroorganisme dapat mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam komponen organik menjadi listrik selama diinkubasi dalam *microbial fuel cell* (MFC). Secara potensial, bakteri di dalam MFC bisa digunakan untuk memproduksi listrik.[2] Kandungan mikroba salah satunya pada roti basi dapat digunakan dalam sistem MFC untuk menghasilkan energi listrik melalui proses penghancuran dari material organik. Roti basi adalah bahan organik yang sudah terdapat bakteri. Industri roti yang banyak diproduksi di Indonesia diperkirakan 25% produksinya terbuang (tidak terjual) yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi alternatif.[8] Berdasarkan pertimbangan tersebut maka dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan roti basi sisa pasar sebagai sumber alternatif energi listrik dengan menggunakan *microbial fuel cell* (MFC).

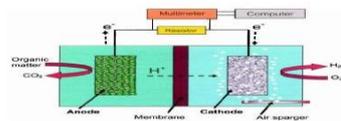
2. Dasar Teori

2.1 Microbial Fuel Cell

Microbial Fuel Cell (MFC) adalah salah satu teknologi konversi energi yang memanfaatkan kemampuan metabolisme pada bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi zat organik sehingga menghasilkan arus listrik [14]. MFC pada umumnya terdiri dari katoda, anoda, membran penukar kation atau proton, dan rangkaian listrik.

2.1.1 Prinsip Microbial Fuel Cell

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan seperangkat alat yang menggunakan mikroorganisme sebagai biokatalis untuk mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan arus. Prinsip kerja MFC mirip dengan hidrogen *fuel cell*, yaitu terdapat aliran proton dari ruang anoda menuju ruang katoda melalui membran elektrolit dan aliran elektron yang bergerak ke arah yang sama melalui kabel konduksi. [5]



Gambar 1.1 Prinsip kerja Microbial Fuel Cell [16]

2.2 Elektroda

2.2.1 Anoda

Pada material anoda berisikan substrat, bakteri, dan material organik. Material yang digunakan harus bersifat konduktif, *biocompatible* (bisa beradaptasi dengan makhluk hidup), dan secara kimia stabil. Material elektroda yang biasanya sering digunakan pada anoda adalah Seng (Zn) karena mempunyai konduktivitas tinggi, dan relatif lebih murah. [18]



Gambar 1.2.1 Seng (Zn)

2.2.2 Katoda

Pada material katoda akan terjadi reaksi reduksi yang akan menghasilkan air. Material yang dapat digunakan sebagai katoda berupa lempengan tembaga, karena karakteristiknya sebagai konduktor listrik yang baik. [14]



Gambar 1.2.2 Lempengan tembaga

2.2.3 Membran dan Jembatan Garam

Membran pada MFC digunakan sebagai dua ruang terpisah untuk menjaga cairan anoda dan katoda. Air yang mengandung oksigen yang terlarut didalam ruang katoda tidak boleh

dibiarkan bercampur dengan substrat dalam ruang anoda. Jembatan garam juga dapat digunakan sebagai mediator penukar proton pada MFC dua ruang [19]. Jembatan garam berfungsi untuk menjaga kenetralan muatan listrik pada larutan. Jembatan garam akan melengkapi rangkaian menjadi sebuah rangkaian yang ditutup karena listrik hanya dapat mengalir pada rangkaian tertutup. [20]

2.2.4 Substrat

Substrat merupakan faktor kunci untuk produksi listrik yang efisien dalam sistem MFC. Substrat digunakan untuk membantu pertumbuhan mikroba, substrat yang digunakan mengandung glukosa karena efek dari substrat terhadap aktivitas mikroba yang bisa mengkarakterisasi potensial anoda pada arus. [21]

2.3 Roti Basi

Seperti yang telah diketahui, roti merupakan salah satu makanan pokok bagi manusia. Roti mengandung karbohidrat [17]. Kandungan gizi yang terdapat dari roti tawar dapat dilihat pada tabel 2.3

No.	Kandungan Gizi roti tawar per 100 gram	Jumlah
1.	Karbohidrat	50 gram
2.	Protein	8 gram
3.	Lemak	1,2 gram
4.	Energi	248 kkal
5.	Zat Besi	2 mg

Tabel 2.3 Kandungan gizi pada 100 gram roti tawar [17]

Fungsi utama pada karbohidrat adalah sebagai penghasil energi. Roti termasuk makanan yang membutuhkan waktu yang singkat karena cepat membusuk, hal ini dapat dilihat pada setiap toko/supermarket yang menjual roti. Roti diberi label tanggal produksi dan tanggal kadaluarsa. Jika diperhatikan, jarak antara tanggal produksi dan tanggal kadaluarsa, rata-rata hanya 5-7 hari saja.



Gambar 2.3 Roti basi

Pada saat roti itu sudah membusuk atau tidak dapat di konsumsi dapat ditandai dengan adanya bercak-bercak yang kadang berwarna hitam serta kadang mengeluarkan bau busuk. Pembusukan atau penjamuran pada roti ini mengandung bakteri. Bakteri yang terdapat pada roti berjamur adalah *Aspergillus*, *Monascus*, *Rhizopus*, dan *Penicilium*. [8]

2.4 Reaksi Oksidasi Reduksi Pada Microbial Fuel Cell

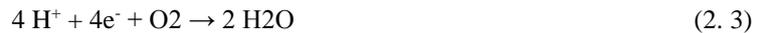
Reaksi yang berlangsung pada anoda adalah penguraian glukosa menjadi asam asetat melalui aktifitas bakteri [19]



bahan bakar yang akan dioksidasi dan menghasilkan ion positif (H^+) dan elektron (e^-).



Pada kompartemen katoda, terdapat reaksi elektron dan proton terhadap oksigen yang akan menghasilkan air (H₂O).



Reaksi keseluruhan dari jumlah reaksi setengah sel adalah



Persamaan reaksi tersebut merupakan proses degradasi asam asetat oleh mikroorganisme pada kondisi aerobik yang memanfaatkan oksigen sebagai akseptor elektron. [19]

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan rancangan yang ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat Dan Bahan

Bab ini membahas tentang alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat yang digunakan

No	Alat	Fungsi
1	Reaktor MFC	Menampung substrat dan akuades pada sistem
2	Multimeter	Mengukur besar arus yang dihasilkan oleh sistem.
3	Mikrokontroller	Mengukur dan menyimpan data tegangan
4	Kabel dan capit buaya	Menghubungkan elektroda dengan multimeter
5	Pompa udara	Mensuplai oksigen ke kompartemen anoda
6	Amplas	Membersihkan elektroda
7	Alkohol	Mensterilkan reaktor MFC sebelum pemakaian
8	Pipa PVC	Sebagai konstruksi jembatan garam
9	Neraca	Menimbang massa NaCl untuk membuat larutan garam
10	Gelas beaker	Mengukur volume substrat dan akuades yang digunakan dalam sistem

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan dimulai dari preparasi awal yang terdiri dari pembuatan reaktor MFC; preparasi jembatan garam; elektroda; dan substrat, dilanjutkan dengan eksperimen MFC dan pengambilan data berupa kuat arus dan tegangan listrik

3.3.1 Preparasi Awal

3.3.1.1 Pembuatan Reaktor MFC

Reaktor MFC dirancang dalam bentuk *dual-chambers* dimana jembatan garam yang berfungsi sebagai pemisah antara kompartemen anoda dan katoda. Elektroda yang digunakan adalah tembaga dan seng.

3.3.1.2 Preparasi Elektroda

Pada kompartemen anoda dan katoda, elektroda menggunakan jenis material logam diantaranya adalah seng dan tembaga sebagai parameter dalam penelitian ini. Elektroda yang digunakan berbentuk pelat dengan panjang masing-masing 5 cm, lebar 2 cm, dan tebal masing-masing seng 0,5 mm dan tembaga 1 mm.

3.3.1.3 Preparasi Jembatan Garam

Dalam penelitian ini jembatan garam dibuat menggunakan sumbu kompor. Sumbu kompor dipilin agar menjadi lebih tebal dan dipotong sepanjang 15 cm, kemudian sumbu kompor direndam dalam larutan garam yang dibuat dengan cara melarutkan senyawa NaCl ke dalam air yang sudah dipanaskan. Setelah larutan meresap, pilinan sumbu kompor dijemur dan dimasukkan kedalam pipa PVC untuk mencegah terjadinya kebocoran, dimana tiap-tiap ujung pilinan dibiarkan terbuka sebagai penghubung antar kompartemen. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan larutan NaCl dengan menggunakan konsentrasi 1 M sebagai larutan garam.

3.3.1.4 Preparasi Substrat

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah roti tawar basi yang sudah dibusukkan terlebih dahulu dengan direndam menggunakan air selama 1 hari, 3 hari, dan 5 hari. Dengan perbandingan roti dan air 1 : 4 yaitu roti sebesar 200 g dan air 800 mL.

3.4 Eksperimen MFC

Eksperimen dilakukan selama 256 jam yaitu selama 11 hari dengan setiap eksperimen menggunakan substrat roti basi. Pembusukan roti basi pada setiap eksperimen memiliki waktu yang berbeda-beda yaitu 1 hari, 3 hari dan 5 hari, hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu pembusukan roti basi terhadap potensi kuat arus maupun tegangan yang dihasilkan. Sebelum reaktor MFC digunakan, maka terlebih dahulu reaktor disterilkan dengan menggunakan alkohol 70%.

3.5 Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan

Kuat arus dan tegangan yang dihasilkan diukur dengan menggunakan multimeter dan arduino yang ditampilkan di LCD. Pengambilan data dilakukan setiap 120 menit dalam 11 hari, dengan satu kali pengukuran untuk setiap eksperimen dengan waktu pembusukan roti basi yang berbeda-beda yaitu 1 hari, 3 hari dan 5 hari. Data ini nantinya juga akan diolah untuk mendapatkan nilai daya, kerapatan daya, dan energi listrik. Besarnya nilai-nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Daya (P)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (I)}$$

$$\text{Kerapatan Daya (Pd)} = \frac{\text{Daya (W)}}{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Energi (E)} = \text{P (W)} \times t \text{ (detik)}$$

4. Pengujian dan Analisis

4.1 Deskripsi Alat

Alat *Microbial Fuel Cell* (MFC) ini terdiri dari perangkat keras yaitu Tabung Reaktor, Pompa Aquarium, Arduino, Sensor Tegangan RCT, dan Data logger. Sistem perangkat lunak yang digunakan dalam alat *Microbial Full Cell* ini menggunakan software Arduino yang digunakan sebagai aplikasi pengolah program. Pengoperasian alat dimulai dengan menghubungkan sumber tegangan 5 Volt ke alat detektor untuk mengaktifkan semua perangkat yang terhubung sebagai sistem utama pada alat. Ketika perangkat Arduino Uno diaktifkan, maka semua komponen yang

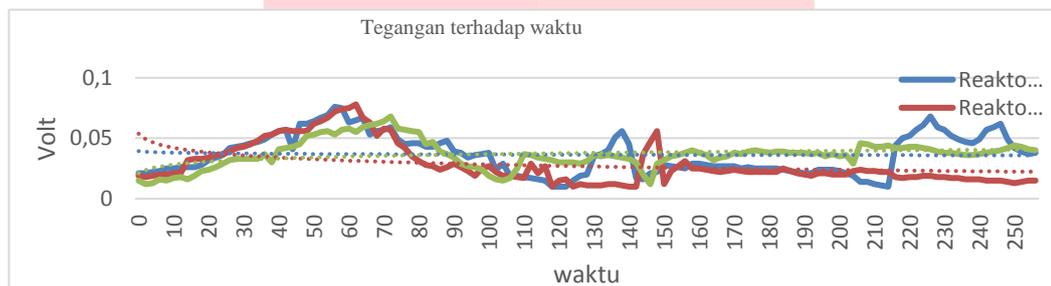
telah terhubung akan langsung bekerja untuk mengukur hasil dari tegangan dan arus yang dihasilkan.

Gambar 4.1 Alat *Microbial Fuel Cell* (MFC)

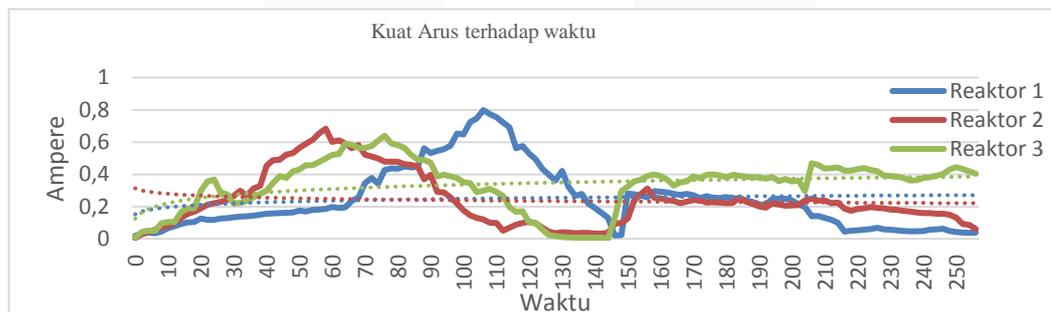


4.2. Hasil Pengukuran Tegangan Dan Kuat Arus Listrik Pada Variasi Substrat

Pengukuran tegangan dilakukan dengan menggunakan Data Logger yang dihubungkan pada kedua elektroda, dimana keluaran anoda dihubungkan pada ground dan katoda dihubungkan pada pin analog data logger yang diberikan beban eksternal 10Ω . Dan kuat harus diukur menggunakan multimeter dengan kutub negative dihubungkan dengan kutub anoda dan kutub positif dihubungkan dengan katoda. Dimana terdapat 3 reaktor yang bervariasi konsentrasinya, reaktor pertama dengan variasi pembusukan 1 hari, reaktor kedua dengan variasi pembusukan 3 hari dan reaktor ketiga dengan variasi pembusukan 5 hari. Pengukuran dilakukan dengan waktu 120 menit sekali dalam 256 jam yaitu dalam 11 hari pada setiap reaktor. Dan hasil dari pengukuran tegangan dan kuat arus dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3



Gambar 4.2 Grafik tegangan terhadap waktu pada setiap reaktor

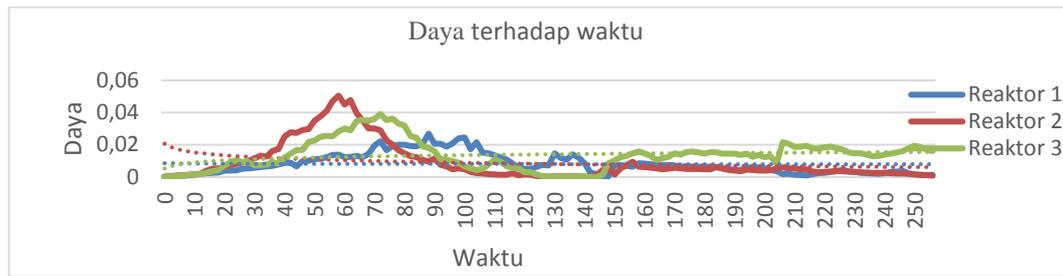


Gambar 4.3 Grafik kuat arus terhadap waktu pada setiap reaktor

Pada gambar 4.2 dan gambar 4.3 besar nilai rata tegangan dan kuat arus pada setiap reaktor yaitu 0.03658 dan 0.24 miliampere di reaktor 1, 0.02858 volt dan 0.23 miliampere di reaktor 2, 0.03669 volt dan 0.33 miliampere di reaktor 3. Reaktor 3 menghasilkan nilai tegangan dan kuat arus yang paling tertinggi dari reaktor yang lainnya. Hal ini dikarenakan pengaruh pembusukan roti basi pada reaktor 3 lebih lama dibanding dengan reaktor lainnya yaitu dengan pembusukan selama 5 hari

4.4. Hasil Pengukuran Daya Dan Energi Listrik Pada Variasi Substrat

Nilai daya berbanding lurus dengan tegangan dan kuat arus. Daya menunjukkan kinerja anoda yang dapat mengalirkan elektron menuju katoda. Data hasil pengukuran kerapatan daya ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik daya terhadap waktu pada setiap reaktor

Pada gambar 4.4 menunjukkan nilai daya tertinggi dari reaktor 1, reaktor 2, dan reaktor 3 adalah $0,026 \text{ mW/m}^2$, $0,050 \text{ mW/m}^2$, $0,039 \text{ mW/m}^2$. Berdasarkan hasil pengukuran daya pada gambar 4.4 diketahui bahwa variasi waktu pembusukan roti basi dapat mempengaruhi nilai tegangan, kuat arus yang dihasilkan.

4.5. Hasil Pengukuran Energi Pada Variasi Substrat



Gambar 4.5 Grafik energi terhadap waktu pada setiap reaktor

Pada gambar 4.5 dapat terlihat energi listrik tertinggi yang dihasilkan oleh bakteri pada setiap reaktor yaitu $7,5624 \text{ kJ}$ di reaktor 1, $8,4097 \text{ kJ}$ di reaktor 2, $12,56989 \text{ kJ}$ di reaktor 3. Dan besar nilai rata produksi energi listrik yaitu $4,3953 \text{ kJ}$ di reaktor 1, $5,6162 \text{ kJ}$ di reaktor 2, $6,09698 \text{ kJ}$ di reaktor 3.

5 Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Pada substrat roti basi pada sistem *Microbial Fuel Cell* menghasilkan tegangan terbesar yaitu $0,03669 \text{ volt}$, kuat arus terbesar $0,33 \text{ mA}$ pada reaktor 3 yaitu waktu pembusukan substrat roti basi selama 5 hari.
2. Data produksi daya terbesar yang dihasilkan sebesar $0,050 \text{ mW/m}^2$ pada reaktor 2.
3. Bahwa proses kinerja *Microbial Fuel Cell* dari pengaruh variasi waktu pembusukan pada roti basi paling lama yaitu selama 5 hari akan menghasilkan produksi energi listrik terbesar dikarenakan sudah mengandung perkembangbiakan mikroba lebih banyak.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk meningkatkan penelitian dalam sistem *Microbial Fuel Cell* adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengujian terlebih dahulu terhadap mikroorganisme yang ada dalam substrat.
2. Dilakukan penambahan fungsi alat ukur *data logger* agar dapat mengukur kuat arus.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan rentang waktu yang lebih lama / penambahan roti untuk mengetahui fase pertumbuhan bakteri pada roti basi terhadap produksi energi listrik.

Daftar Pustaka

- [1] Ashley E, Franks, Nevin dan Kelly P. (2010). *Energies Microbial Fuel Cells, A Current Review*, 3, 899-919.
- [2] Agustin H dan Irwan N. (2014). Potensi perolehan energi listrik dari limbah cair industri tahu dengan metode salt bridge microbial fuel cell. *J. Sains Dasar*, 3, 162-168
- [3] Chang, R. (2005). *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti* (3rd ed). Jakarta: Erlangga.
- [4] Chang, R. (2010). *Chemistry* (10th ed.). New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [5] Logan and Regan 2006. Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *TRENDS in Microbiology*14:512-518
- [6] Muralidharan, A. Et al. (2011). Impact of Salt Concentration on Electricity Production in Microbial Hydrogen Based Salt Bridge Fuel Cells. *Indian Jurnal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 1, 178-184.
- [7] Permana, D., Haryadi, H. R., Putra, H. E., Juniaty, W ., Rachman, S.D ., & Ishmayana, S.(2013). Evaluasi Penggunaan Metilen Blue Sebagai Mediator Elektron Pada Microbial Fuel Cell Dengan Biokatalis Acetobacter Aceti 8, 78-88.
- [8] Kiky, Sheila. "Penelitian Jamur pada Roti Tawar". 22 Nopember 2014.
- [9] Ieropoulos, I., J. Greenman. 2008. *Microbial fuel cells based on carbon veil electrodes: Stack configuration and scalability*. *International Journal Of Energy Research*.
- [10] Ulfia, N., Samudro, G., & Sumiyati, S. (n.d.). Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Larutan Garam Dalam Jembatan Garam Terhadap Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cell (DMFCs). *Teknik Lingkungan FT Universitas Diponegoro*.
- [11] Wahyuaskari. 2010. Bakteri, Jamur (Fungi), dan Nutrisi Mikroorganisme. Tani Muda.
- [12] Wiharti, Riyanto, Noor F. (2014). Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) Dan Karbon (C) Untuk Penurunan Kadar Cr Dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Di Desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta.
- [13] Cheng, Liu. 2006. Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using and improved cathode structure. *Electrochemistry Communications* 8: 489-494.
- [14] Logan, B. E. (2008). *Microbial Fuel Cells*. New Jersey: John & Wiley Inc.
- [15] Logan, B. E. (2006). Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. *Environmental Science and Technology*, 40.
- [16] Singh, D. (2010). *Microbial Fuel Cells: A Green Technology for Power Generation*. Scholars Research Library, 3, 128-138.
- [17] Diana Rochintaniawati. 1997. Pembuatan Roti Tawar