

## PRODUKSI ENERGI LISTRIK DENGAN SISTEM MICROBIAL FUEL CELL MENGGUNAKAN SUBSTRAT LIMBAH TEMPE

### THE PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY WITH THE MICROBIAL FUEL CELL SYSTEM USING WASTE SUBSTRATE OF TEMPE

Edric Sunfresly Zalukhu<sup>1</sup>, M. Ramdhan Kirom<sup>1</sup>,  
Ahmad Qurthobi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

<sup>1</sup>Edriczalukhu8@gmail.com, <sup>1</sup>jakasantang@gmail.com

<sup>2</sup>qurthobi@gmail.com

---

#### Abstrak

Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat. Namun dilain sisi kita mengetahui bahwa penggunaan minyak bumi sebagai sumber penghasil energi sekarang masih mendominasi, padahal cadangan minyak bumi di Indonesia sekarang ini kian menipis. Oleh karena itu, perlu dikembangkan alternatif penghasil sumber energi yang lebih efektif, efisien, dan ramah lingkungan yaitu salah satunya MFC (*Microbial Fuel Cell*) yang berbasis prinsip bioelektrokimia dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk memecah substrat sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Penelitian kali ini difokuskan pada pemanfaatan limbah industri tempe sebagai substrat pada sistem MFC *dual-chamber* yang dilengkapi dengan membran penukar kation atau jembatan garam. Variasi lama waktu inkubasi substrat juga dilakukan yaitu selama 1 hari, 3 hari, 8 hari, dan 10 hari. Riset lebih lanjut pada pemanfaatan limbah industri tempe sebagai substrat dalam sistem MFC dapat mereduksi biaya operasi sistem MFC, sekaligus menjadikan MFC sebagai teknologi penghasil listrik yang ekonomis, ramah lingkungan dan dapat berkelanjutan. Dari penelitian ini dihasilkan beberapa data berupa tegangan maksimum 1,308 V dan arus maksimum 3,01 mA menggunakan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  serta *power density* sebesar 2696,630137  $\text{mW/m}^2$  pada reaktor seri.

**Kata Kunci :** *Microbial Fuel Cell*, Energi Listrik, Limbah Industri Tempe

---

#### Abstract

The need for electrical energy in Indonesia is expected to continue to increase. But on the other hand we know that the use of petroleum as a source of energy now is still dominating, whereas oil reserves in Indonesia is now increasingly thinning. Therefore, it is necessary to develop alternative energy source more effective, efficient and environmentally friendly one of them is MFC (*Microbial Fuel Cell*) based on bioelectrochemical principle by utilizing microorganism to break up the substrate so that it can generate electrical energy. The present study focused on the utilization of tempe industrial waste as a substrate on a dual-chamber MFC system equipped with a cation exchange membrane or a salt bridge. Variations in the length of incubation time of the substrate were also carried out for 1 day, 3 days, 8 days, and 10 days. Further research on the utilization of tempe industrial waste as a substrate in the MFC system can reduce the operating costs of the MFC system, while making MFC as an economical, environmentally friendly and sustainable electricity generating technology. From this study some data were generated in the form of a maximum voltage of 1.308 V and a maximum current of 3.01 mA using  $\text{KMnO}_4$  electrolytes and also *power density* of 2696.630137  $\text{mW/m}^2$  in a series reactor.

**Keynote :** *Microbial Fuel Cell*, electrical energy, industrial waste tempe

---

#### 1. Pendahuluan

Ketersediaan energi menjadi salah satu kebutuhan esensial bagi umat manusia sekarang ini. Pemilihan bentuk energi yang dibutuhkan bergantung pada besar daya energi dan lingkungan. Untuk lokasi yang berda di daerah terpencil, dibutuhkan instrumen energi seperti baterai dan *fuel cell*. Pembuatan *fuel cell* sendiri dimulai pada abad ke-19. *Fuel cell* sendiri adalah alat konversi energi yang

akan mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air dan secara bersamaan menghasilkan energi listrik dan panas pada prosesnya. *Fule cell* akan memproduksi listrik secara berkelanjutan dengan tersedianya suplai dari bahan bakar eksternal, sehingga sifatnya berlawanan dengan penggunaa dari baterai. MFC adalah alat yang menggunakan bakteri dalam menghasilkan tenaga listrik dari senyawa organik maupun non organik. MFC mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalis menggunakan mikroorganisme yang dihasilkan oleh suatu bahan tertentu yang difermentasi. MFC memfasilitasi sebuah lingkungan reduksi oksidasi yang dapat dikendalikan oleh aliran elektron dan menjadikannya alat yang ideal untuk mengelola mikroorganisme.

Limbah industri makanan yang mengandung sejumlah besar karbohidrat, protein, dan lemak dapat membuat masalah lingkungan karena menimbulkan bau tidak sedap, dan merupakan suatu polusi berat pada perairan bila dibuang di aliran air, bahan-bahan makanan yang dibuang tersebut dapat disebut limbah makanan. Namun dengan memanfaatkan limbah tersebut maka kita dapat mengurangi polusi pada aliran air, cara menggunakan limbah tersebut yaitu dengan alat *fuel cell* dimana mikroorganisme yang dihasilkan oleh limbah diubah menjadi listrik dan listrik tersebut nantinya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan energi sehari-hari. Air limbah industri pembuatan tempe merupakan salah satu air limbah yang banyak menimbulkan masalah terhadap lingkungan sekitarnya. Seperti yang kita ketahui, industri tempe merupakan industri yang sangat banyak dijumpai di berbagai daerah yang ada di Indonesia, karena tempe merupakan salah satu makanan berprotein tinggi yang sangat digemari oleh masyarakat karena harganya yang murah. Pada saat ini, sebagian besar air limbah industri tempe belum diolah karena merupakan industri kecil skala rumah tangga yang tidak dilengkapi dengan unit pengolahan air limbah. Pada air limbah industri pembuatan tempe ini masih mengandung senyawa organik dan nutrisi yang cukup tinggi. Maka sebagai upaya pemanfaatan, air limbah pembuangan tempe dimanfaatkan sebagai substrat dalam sistem MFC untuk produksi listrik. Dengan pemanfaatan air limbah industri pembuatan tempe ini sebagai substrat dalam sistem MFC, diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif pengolahan air limbah yang selama ini digunakan dan dapat mengatasi masalah utama yang ditimbulkan oleh air limbah tersebut, yaitu bau yang tidak sedap yang menyebabkan ketidaknyamanan masyarakat yang berada di sekitar industri tempe. Selain itu, hasil dari riset diharapkan pula dapat menjadi salah satu langkah kedepan untuk mendapatkan sumber energi yang murah. Sistem *Microbial Fuel Cell* dalam perkembangannya memiliki berbagai tipe sesuai dengan aplikasinya. Berdasarkan desain kompartemennya terdapat tiga jenis MFC, yaitu *single chamber* MFC, *dual-chamber* MFC, dan *stack* MFC. *single chamber* merupakan suatu jenis MFC yang hanya memiliki satu ruang, sementara *dual-chamber* merupakan suatu jenis MFC yang memiliki dua ruang yang dipisahkan membran penukar kation dan jembatan garam, serta *stack* merupakan jenis MFC merupakan rangkaian dari beberapa unit MFC baik *dual-chamber* MFC maupun *single chamber* MFC yang dirangkai seri atau paralel dengan tujuan meningkatkan kapasitas daya yang bisa di produksi.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumen Energi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Bandung. Penelitian ini dilakukan dengan rancangan yang ditunjukkan pada diagram aliran dibawah ini.



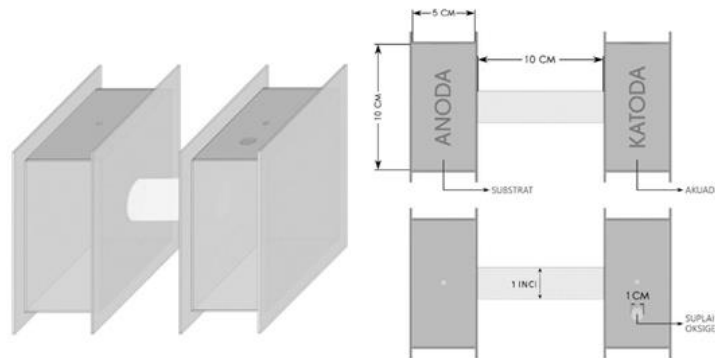
Gambar 2.1 Diagram Alir

Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur yang dimana mempelajari jurnal publikasi nasional maupun internasional serta buku-buku yang berkaitan dengan penelitian *Microbial Fuel Cell* (MFC) dan juga perkembangan hingga saat ini. Reaktor dirancang berdasarkan pada prinsip kerja reaktor sel elektrokimia *dual-chamber* dimana terdapat dua kompartemen yaitu kompartemen anoda dan katoda. Kedua kompartemen tersebut dipisahkan menggunakan jembatan garam dan pada setiap kompartemen diberikan elektroda. Kompartemen katoda berisi elektrolit yang merupakan larutan  $KMnO_4$  sedangkan kompartemen anoda berisi substrat yaitu limbah makanan. Preparasi limbah makanan sebagai substrat dilakukan dengan membuat limbah tempe model yang terbuat dari air rebusan kacang kedelai (*Glycin max*). Dan menyimpan air tersebut selama satu hari, tiga hari, lima hari, dan tujuh hari. Preparasi alat elektrolit berupa persiapan pembuatan membran penukar kation yang dalam penelitian ini menggunakan jembatan garam yang dibuat dengan merendam pilinan sumbu kompor kedalam larutan senyawa  $NaCl$ . Selanjutnya dilakukan juga persiapan elektroda karbon grafit direndam selama 1 hari di dalam  $HCl$  1 M,  $NaOH$  1 M, dan di dalam aquades hingga akan digunakan. Pada penelitian ini, dilakukan analisis pengaruh variasi parameter operasi terhadap kinerja MFC. Kinerja MFC ini dilihat dari kuat arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan melalui pengukuran menggunakan Arduino data logger. Dari data kuat arus dan tegangan, dapat diperoleh nilai *power density* ( $mW/m^2$ ), yaitu daya per satuan luas permukaan elektroda. *power density* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [17].

$$Power\ Density\ (mW/m^2) = \frac{I\ (mA) \times V\ (Volt)}{A\ (m^2)} \tag{3.1}$$

**2.1 Disain Alat Penelitian**

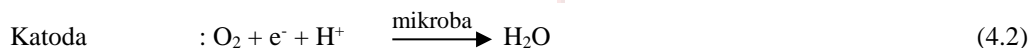
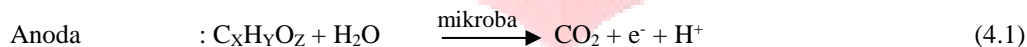
Desain MFC pada penelitian ini berbasis sel bio-elektrokimia dengan sistem *dual-chambers* yang terdiri dari kompartemen anoda dan katoda, dengan masing-masing kompartemen mampu menampung volume hingga 500 mL. Kedua kompartemen dipisahkan oleh jembatan garam sepanjang 10 cm dengan luas permukaan yang terkena kontak sebesar  $\pm 5,06\ cm^2$ . Jembatan garam dibuat menggunakan pilinan sumbu kompor yang direndam dalam larutan  $NaCl$  1 M. Jembatan garam ini memiliki fungsi yang sama seperti membran pertukaran proton (PEM), selain untuk menjaga cairan anoda dan katoda tetap terpisah juga berfungsi mendifusikan proton ( $H^+$ ) yang dihasilkan pada kompartemen anoda menuju kompartemen katoda. Jembatan garam ini sendiri akan terus diganti secara berkala untuk setiap pengambilan data. Desain MFC yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Desain *Microbial Fuel Cell*

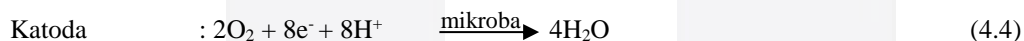
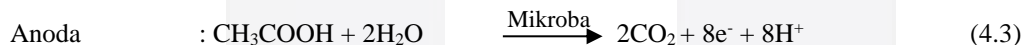
Sistem MFC ini, menggunakan grafit yang berasal dari batang karbon sebagai elektroda pada anoda dan katoda. Luas permukaan dari elektroda ini sebesar  $1,46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  dengan diameter sebesar 0,762 cm dan panjang elektroda 5,715 cm. Elektroda grafit tersebut dipreparasi sebelum pemakaian untuk netralisasi. Berikutnya Kabel tembaga digunakan untuk menghubungkan elektroda ke dataloger dan multimeter untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan MFC. Pada bagian anoda diisi dengan limbah industri kedelai 450 mL yang mengandung protein, karbohidrat dan lemak yang merupakan senyawa biodegradabel. Senyawa ini kemudian telah terurai oleh mikroba menjadi molekul yang lebih sederhana yang sebagian besar berupa asetat dan senyawa gula sederhana (glukosa, sukrosa, dan sebagainya). Senyawa sederhana inilah yang kemudian diuraikan lagi dalam sistem MFC untuk konversi menjadi listrik [21] dan pada kompartemen katoda diisi dengan dua perbandingan elektrolit yaitu Aquades dan  $\text{KMnO}_4$  1M. Limbah industri kedelai mengandung protein, karbohidrat dan lemak yang merupakan senyawa biodegradabel. Senyawa ini kemudian telah terurai oleh mikroba menjadi molekul yang lebih sederhana yang sebagian besar berupa asetat dan senyawa gula sederhana (glukosa, sukrosa, dan sebagainya). Senyawa sederhana inilah yang kemudian diuraikan lagi dalam sistem MFC untuk konversi menjadi listrik. Oleh karena itu persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

- Gula sederhana sebagai molekul biodegradable terdegradasi yang seperti ditunjukkan pada persamaan di bawah ini :



Molekul sederhana yang diberikan pada substrat MFC seperti asetat akan terdegradasi [22]. Seperti ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

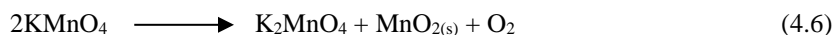
- Asetat sebagai biodegradabel



Pada proses penggunaan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  memiliki nilai potensial redoks yang tinggi, perbedaan potensial di anoda dan katoda akan semakin besar sehingga energi listrik yang dihasilkan akan meningkat [24]. Proton dan elektron yang berasal dari anoda digunakan untuk mereduksi  $\text{Mn}^{+7}$  menjadi  $\text{Mn}^{+4}$ . Reaksi yang terjadi sebagai berikut [25].



Kalimun permanganat juga mengalami fotodekomposisi atau terdekomposisi jika terkena cahaya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



## 2.2 Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan

Kuat arus dan tegangan yang dihasilkan sistem diukur menggunakan data logger yang telah disesuaikan. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit selama 150 menit, dengan dua kali percobaan yaitu saat 1 hari, 3 hari, 5 hari, dan 7 hari. Data nantinya juga akan diolah untuk mendapatkan nilai daya, kerapatan daya, dan energi listrik. Besarnya nilai-nilai yang didapat nanti dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P = \text{daya} = \text{tegangan (V)} \times \text{arus (A)} \quad (3.3)$$

$$P_d = \text{kerapatan daya} = \frac{P (W)}{\text{luas permukaan (m}^2\text{)}} \quad (3.4)$$

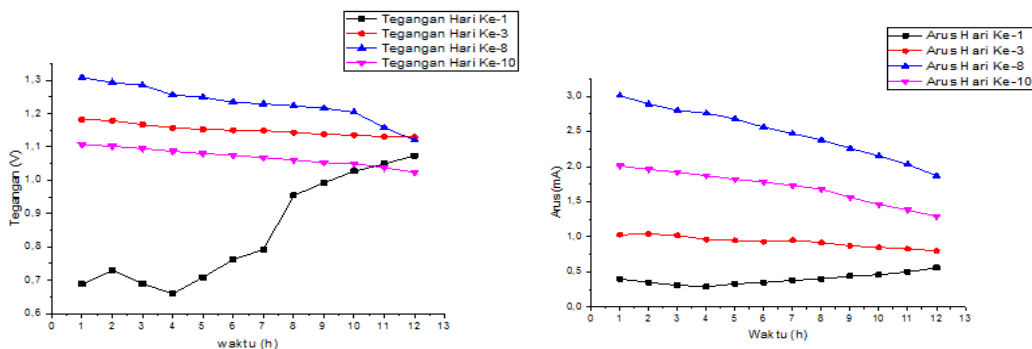
$$E = \text{energi} = P (W) \times t (\text{detik}) \quad (3.5)$$

Pada perumusan persamaan diatas haruslah didapatkan terlebih dahulu data tegangan dan arus. Setelah didapatkan data tegangan dan arus maka langkah berikutnya dicari daya dengan mengalikan tegangan (V) dan arus (A). selanjutnya setelah mendapatkan daya dari hasil perkalian, kita dapat mencari kerapatan daya dengan cara membagi daya (W) terhadap luas permukaan elektroda ( $m^2$ ). Dan terakhir dicari energi dengan cara menggunakan hasil data dari daya (W) dikalikan dengan Waktu percobaan selama 1 jam yang dimana dikonversi terlebih dahulu menjadi 3600 detik agar memenuhi syarat persamaan diatas.

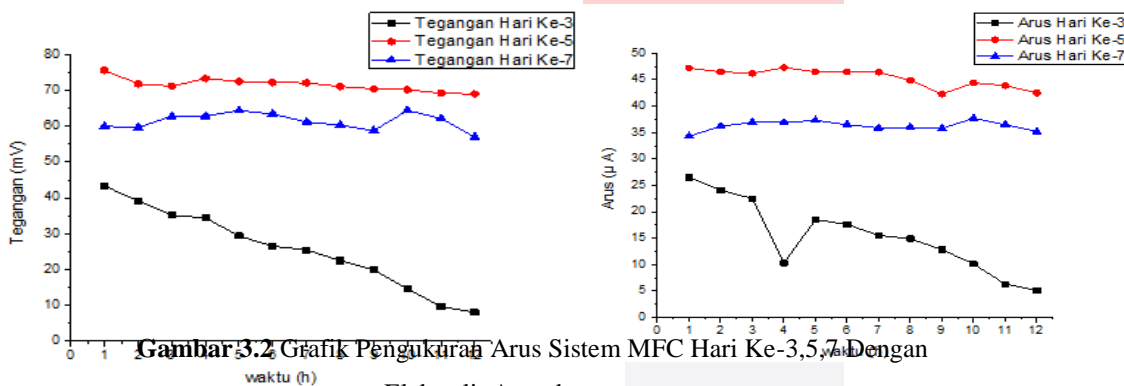
### 3. Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengukuran Tegangan Dan Arus Listrik Pada Variasi Elektrolit

Tegangan dan kuat arus diukur menggunakan multimeter dan dataloger yang dihubungkan dengan kedua elektroda (anoda/katoda) pada sistem MFC, dimana kutub negatif yang terdapat pada multimeter dihubungkan menuju anoda dan sebaliknya kutub positif menuju katoda. Kuat arus yang terukur pada alat ukur dihasilkan akibat adanya pergerakan ion-ion dalam sistem, perbedaan potensial redoks pada anoda dan katoda, serta reaksi kimia yang terjadi pada kompartemen anoda dan katoda. Untuk variasi elektrolit yang saya gunakan ada dua jenis yaitu Aquades dan  $KMnO_4$  1M. Pada keadaan variasi elektrolit tersebut saya mengambil waktu percobaan selama tujuh hari untuk setiap elektrolit Aquades dan  $KMnO_4$  1M. Lalu untuk membandingkan tegangan dan arus yang dihasilkan dari setiap elektrolit, saya mengambil sampel tiga hari dari waktu percobaan selama tujuh hari yaitu pada hari ke-3, hari ke-5, dan hari ke-7. Grafik tegangan dan arus dari variasi elektrolit  $KMnO_4$  1M dan Aquades dapat dilihat pada Gambar dibawah.



**Gambar 3.1** Grafik Pengukuran Arus dan Tegangan Sistem MFC Hari Ke-3,5,7 Dengan Elektrolit  $KMnO_4$



**Gambar 3.2** Grafik Pengukuran Arus Sistem MFC Hari Ke-3,5,7 Dengan Elektrolit Aquades

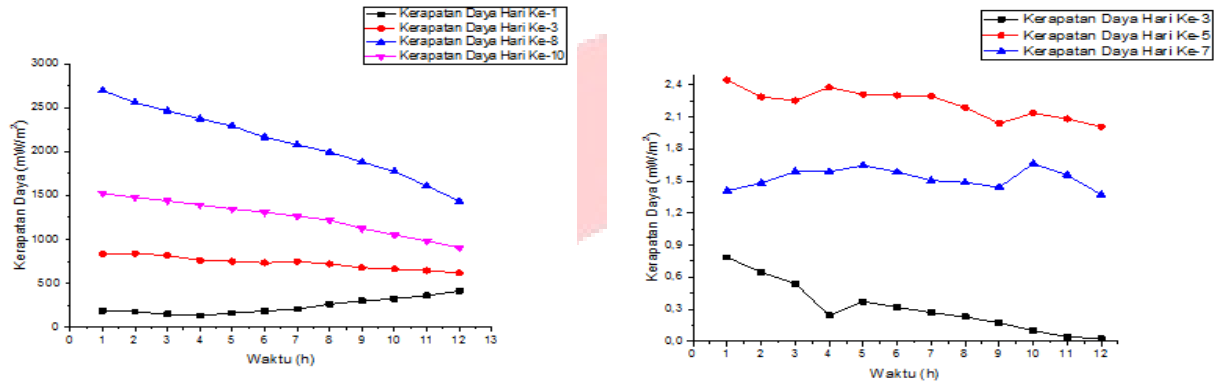
Berdasarkan gambar di atas, dilakukan pengamatan selama 12 jam per harinya. Pengukuran pada sistem ini tidak menggunakan hambatan atau beban listrik eksternal seperti resistor, sehingga tegangan yang terukur dapat disebut sebagai *Open Circuit Voltage* atau Tegangan Sirkuit Terbuka, dan kuat arus yang terukur dapat disebut sebagai *Short Circuit Current* atau Arus Sirkuit Tertutup. Pengambilan data substrat limbah tempe untuk masing-masing pengukuran dilakukan pada waktu yang bersamaan setiap harinya. Kompartemen anoda pada sistem MFC ini dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron atau biasa disebut *mediator-less*, sehingga elektron yang dihasilkan oleh mikroba melalui proses degradasi senyawa organik ditransfer secara langsung ke elektroda tanpa bantuan zat kimia tambahan. Tegangan dan arus yang diperoleh dari sistem MFC pada pengukuran pertama dan kedua tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan serta tidak stabil, sehingga pada pengukuran hari ke-tigalah yang menghasilkan data yang cenderung stabil. Pada variasi elektrolit kalium permanganat ( $KMnO_4$ ), dapat dilihat bahwa arus dan tegangan maksimal yang dihasilkan pada hari ke-1 adalah 0,56 mA dan 1,074 V, pada hari ke-3 arus dan tegangan yang dihasilkan 1,03 mA dan 1,182 V, pada hari ke-8 arus dan tegangan yang dihasilkan 3,01 mA dan 1,308 V, dan pada hari ke-10 arus dan tegangan yang dihasilkan 2,01 mA dan 1,107 V. Dari hasil ini dapat kita simpulkan bahwa menggunakan variasi elektrolit kalium permanganat ( $KMnO_4$ ) dapat meningkatkan hasil listrik pada sistem MFC *dual chamber* namun pada hari ke-kesembilan, proses menghasilkan tegangan dan arus semakin menurun dikarenakan produksi bakteri pada anoda semakin berkurang sehingga mempengaruhi proses pemecahan senyawa elektron dan proton. Untuk Variasi elektrolit Aquades arus dan tegangan maksimal yang dihasilkan pada hari ke-3 adalah 26,5 µA dan 43,3 mV. Sedangkan pada hari ke-5 arus dan tegangan yang dihasilkan 47,2 µA dan 75,5 mV dan pada hari ke-7 arus dan tegangan yang dihasilkan 37,7 µA dan 64,4 mV. Dari hasil variasi elektrolit Aquades ini dapat kita simpulkan bahwa listrik yang dihasilkan sangat kecil dan cenderung tidak stabil sehingga membuat produksi listrik agak lama. Hambatan internal yang terdapat pada sistem MFC sangat berpengaruh terhadap produksi energi listrik. You *et al.* (2006)



mengatakan bahwa, pada umumnya sistem MFC *dual-chambers* terbatas oleh besarnya nilai hambatan internal yang dapat mencapai 1000 Ω. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan kenaikan harga hambatan internal antara lain terbentuknya lapisan sel bakteri (biofilm) pada permukaan anoda yang dapat menutupi luas permukaan anoda aktif, sehingga menghambat proses transfer elektron menuju katoda dan menyebabkan penurunan nilai kerapatan daya [23].

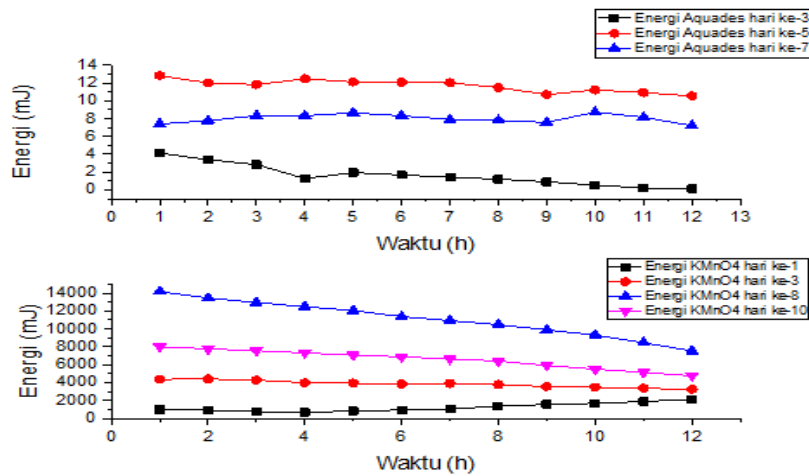
### 3.2 Hasil Perhitungan Daya dan Energi Pada Variasi Elektrolit

Selanjutnya data hasil pengukuran berupa tegangan dan kuat arus diolah menggunakan Persamaan 3.4 untuk mendapatkan nilai Kerapatan daya. Besarnya Kerapatan daya yang dihasilkan setiap variasi elektrolit dari Aquades dan KMnO<sub>4</sub> untuk sistem MFC dapat dilihat dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Grafik Pengukuran Kerapatan Daya Sistem MFC Hari Ke-3,5,7 Dengan Elektrolit KMnO<sub>4</sub> bagian kiri dan Aquades bagian kanan

Harga kerapatan daya berbanding lurus dengan besarnya nilai tegangan dan kuat arus per luas permukaan elektroda. Dimana elektroda yang digunakan pada sistem MFC ini berbentuk batang grafit dengan luas permukaan  $1,46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ . Kerapatan daya sendiri menunjukkan kinerja anoda dalam mengalirkan elektron menuju katoda. Kerapatan daya maksimum yang dihasilkan dari variasi elektrolit KMnO<sub>4</sub> adalah 2335,726027 mW/m<sup>2</sup> pada hari ke-7 sedangkan variasi elektrolit Aquades adalah 2,444055 mW/m<sup>2</sup> pada hari ke-5.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Energi Sistem MFC Hari Ke-3,5,7 Dari Elektrolit KMnO<sub>4</sub> dan Aquades

Energi yang dihasilkan dari sistem MFC diatas dapat dihitung dengan persamaan 3.5. pada persamaan ini besar nilai energi ini dipengaruhi oleh besarnya daya listrik dikali dengan waktu pengambilan data. Pada Gambar 4.6 menunjukkan grafik Perbandingan energi yang dihasilkan sistem MFC. Dimana seiring dengan lamanya waktu fermentasi yang berlangsung, maka energi yang dihasilkan pula semakin besar walaupun ada beberapa terjadi eror pada saat pengambilan data. Selama pengambilan data di masing-masing variasi elektrolit, energi terbesar yang dihasilkan oleh elektrolit  $\text{KMnO}_4$  adalah 125335,872 mJ nilai ini didapat pada hari ke-7 eksperimen, serta untuk elektrolit Aquade adalah 140,382 mJ dimana nilai ini didapat pada hari ke-5 eksperimen. Dari hasil ini dapat kita ketahui bahwa energi yang dihasilkan oleh kedua elektrolit sangat berbeda jauh karena Kalium permanganat memiliki potensial redoks yang tinggi, perbedaan potensial di anoda dan katoda akan semakin besar sehingga energi listrik yang dihasilkan akan meningkat [24]. Besarnya nilai dari energi ini pula dipengaruhi oleh pertumbuhan dari mikroorganisme pada substrat yang digunakan. Park dan Zeikus (2000) membuktikan bahwa jumlah elektron yang dihasilkan sel-sel rehat bakteri secara signifikan lebih besar daripada yang dihasilkan oleh sel-sel tumbuh bakteri.

#### 4. Kesimpulan

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

1. Sistem MFC dengan substrat limbah tempe menggunakan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  sangat baik dalam menghasilkan energi listrik daripada elektrolit Aquades, karena Kalium permanganat memiliki potensial redoks yang tinggi, maka perbedaan potensial di anoda dan katoda akan semakin besar sehingga energi listrik yang dihasilkan akan meningkat.
2. Sistem MFC menggunakan limbah tempe dengan volume 450 mL menghasilkan kuat arus dan tegangan maksima sebesar 3.12 mA dan 1,093 V pada saat menggunakan variasi elektrolit  $\text{KMnO}_4$ .
3. Untuk energi maksimum yang dihasilkan oleh sistem MFC menggunakan substrat limbah tempe adalah 125335,872 mJ pada jam-12 dengan lama inkubasi substrat selama hari ke-7.
4. Saat proses pengambilan data tegangan dan arus setiap jam pada setiap harinya, terdapat ketidak stabilan nilai yang terukur oleh alat pengukur karena pengaruh hambatan dalam oleh alat ukur.

#### Daftar Pustaka

- [1] Logan, B. E. (2008). *Microbial Fuel Cells*. New Jersey: John & Wiley Inc.
- [2] Singh, D. (2010). *Microbial Fuel Cells: A Green Technology for Power Generation*. *Scholars Research Library*, 3, 128-138.
- [3] Monier, J. M. (2008). *Microbial Fuel Cell: From Biomass (waste) to Electricity*. *ResearchGate*.
- [4] Cheng, Liu. 2006. *Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure*. *Electrochemistry Communications* 8: 489-494.
- [5] Kim, MH. 2009. *An Analysis of Anaerobic Dual-Anode Chambered Microbial Fuel Cell (MFC) Performance*. Master's Thesis, University of Tennessee.
- [6] Zahara, Nova Chisilia. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces cerevisiae dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [7] Liu, H. 2008. *Microbial Fuel Cell: Novel Anaerobic Biotechnology for Energy Generation from Wastewater*. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production : Principles and Applications*. S. K. Khanal. Iowa, Blackwell Publishing: 221-243.



- [8] Logan and Regan. 2006. *Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells*. *TRENDS in Microbiology* 14: 512-518.
- [9] Rangel, G. N. et al. (2010). Comparative Study of Three Cathodic Electron Acceptors on the Performance of Mediatorless Microbial Fuel Cell. *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 4, 27-31.
- [10] Chang, R. (2010). *Chemistry* (10th ed.). New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [11] Zhang, Y. (2012). Energy recovery from waste streams with Microbial Fuel Cell (MFC)-based technologies.
- [12] Anonim, 1989, *Materia Medika Indonesia*, Jilid V, 399-401, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- [13] Nurhasan dan B. Pramudyanto. 1987. Pengolahan Air Buangan Industri Tahu. Yayasan Bina Lestari dan WALHI, Semarang. 37 p.
- [14] Wardoyo, S.t.H. 1975 Pengelolaan Kualitas Air. Institute Pertanian Bogor. Bogor. 1-40p.
- [15] Said, N. I. and H. D. Wahjono. 1999. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Tahu- Tempe dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob*. Diakses 4 Maret 2011.
- [16] Sudaryati, N. L. G., I. W. Kasa. 2007. *Pemanfaatan sedimen perairan tercemar sebagai bahan lumpur aktif dalam pengolahan limbah cair industri tahu*. *Ecotrophic*.
- [17] Momoh, Yusuf OL, Naeyor B. 2010. *A novel electron acceptor for microbial fuel cells: Nature of circuit connection on internal resistance*. *J Biochem Tech* 2(4):216-220
- [18] 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*.
- [19] Chang, R. (2005). *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti* (3rd ed.). Jakarta: Erlangga.
- [20] Smith Rd. Houston, Texas. *Material safety data sheet potassium ferricyanide MSDS*.
- [21] Ester Kristin (2012). *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Universitas Indonesia : 31-33
- [22] Liu, H., Cheng, S., Logan B. 2005. *Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell*. *Environ. Sci. Technol.* : 39, 658-662.
- [23] 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.
- [24] You, S., Zhao, Q., Zhang, J., Junqiu, J., & Shiqi, Z. (2006). A Microbial Fuel Cell Using Permanganate as The Cathodic Electron Acceptor. *Journal of Power Source*, 162, 1409-1415.
- [25] Guerrero-Rangel IN, 2010. Comparative Study of Three Cathodic Electron Acceptors on the Performance of Mediatorless Microbial Fuel Cell. *Result and discussion*, 28-29