

ANALISIS PRODUKSI ENERGI LISTRIK DARI MICROBIAL FUEL CELL DENGAN PENGOLAHAN LIMBAH AIR

ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION ANALYSIS OF MICROBIAL FUEL CELL WITH WASTE WATER TREATMENT

Fajri Amenda Putra¹, M. Ramdhan Kirom S.Si., M.Si², Reza Fauzi Iskandar, S.Pd, M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

fajriamenda1@gmail.com¹, jakasantang@gmail.com², rezafauzi@gmail.com³

Abstrak

Microbial fuel cell (MFC) dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. MFC dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik dengan bantuan mikroorganisme. Selain permasalahan energi, Indonesia juga dihadapkan dengan permasalahan pengolahan limbah. Zat organik yang terdapat pada limbah dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan mikroba pada sistem MFC. Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan limbah air *inlet* dan *outlet*. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu operasi, diameter elektroda dan volume reaktor terhadap kinerja MFC. Reaktor dirancang berdasarkan pada prinsip kerja reaktor sel elektrokimia dimana terdapat dua kompartemen yaitu kompartemen anoda dan katoda. Kedua kompartemen tersebut dipisahkan oleh jembatan garam dan pada masing-masing kompartemen diberikan elektroda. Kemudian dilakukan preparasi berupa substrat, dan alat elektrolisis. Kompartemen anoda akan diisi dengan substrat air limbah *inlet* dan *outlet* dari Instalasi Pengolahan Limbah Air di Cikoneng. Pemilihan air limbah ini sebagai substrat karena banyak terdapat biokatalisator yang merupakan elemen penting dalam sistem ini. Pada hasil penelitian, kuat arus maksimum yang mampu dihasilkan oleh sistem MFC ini sebesar 0,9201 mA dengan substrat air limbah *inlet* dengan elektroda Zn/Cu pada pengukuran pertama, dan sebesar 0,91824 mA pada pengukuran kedua dengan elektroda Zn/Cu dan substrat air limbah *inlet*. Tembaga dan seng sebagai elektroda, mampu mengkonversi substrat tersebut menjadi energi listrik dengan nilai antara 1,508733646 mJ sampai 155,3877914 mJ. Nilai daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem MFC untuk dua kali pengukuran mencapai 1,255529949 mW dengan menggunakan pelat elektroda Cu dan Zn.

Kata Kunci: *Microbial Fuel Cell*, limbah air, elektroda, kuat arus, tegangan, energi listrik, daya maksimum.

Abstract

Microbial fuel cell (MFC) can be used as an alternative energy source that is environmentally friendly and sustainable. MFC can convert chemical energy into electrical energy through catalytic reactions with the help of microorganisms. In addition to energy problems, Indonesia is also faced with waste processing problems. Organic substances present in waste can be used as carbon sources for microbial growth in MFC systems. Waste used in this research is inlet waste water treatment and outlet. This research has purpose to know the influence of operation time, electrode diameter and reactor volume to MFC performance. The reactor is designed based on the working principle of an electrochemical cell reactor in which there are two compartments ie anode and cathode compartments. Both compartments are separated by salt bridges and in each compartment are given electrodes. Then do the preparation of substrate, and electrolysis tool. The anode compartment will be filled with inlet and outlet wastewater substrates from the Wastewater Treatment Plant in Cikoneng. The selection of this waste water as a substrate because there are many biocatalisator which is an important element in this system. In the experiments, the maximum current strength produced by this MFC system is 0.9201 mA with an inlet wastewater substrate with Zn / Cu electrodes at first measurement, and 0.91824 mA in the second measurement with Zn / Cu electrode and water substrate waste inlet. Copper and zinc as electrodes, capable of converting the substrate into electrical energy with a value between 1.508733646 mJ to 155.3877914 mJ. The maximum power value that can be generated from the MFC system for two measurements reaches 1.255529949 mW by using Cu and Zn electrode plates.

Keywords: *Microbial Fuel Cell, waste water, electrode, strong current, voltage, electrical energy, maximum power.*

1. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu persoalan terbesar yang dihadapi manusia diseluruh dunia, termasuk Indonesia yang merupakan negara dengan konsumsi energi tinggi. Peningkatan kebutuhan energi terus bertambah namun tidak diimbangi dengan ketersediaan sumber energi yang memadai (Muchlis, 2003). Indonesia masih mengandalkan minyak bumi sebagai bahan bakar fosil, sedangkan cadangan minyak bumi terus berkurang (Pusdatin ESDM, 2010). Oleh sebab itu, perlu sumber energi alternatif yang berkelanjutan untuk menghindari terjadinya krisis energi [1]. *Microbial Fuel Cell (MFC)* dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. MFC dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik dengan bantuan mikroorganisme. Selain permasalahan energi, Indonesia juga dihadapkan dengan permasalahan pengolahan limbah. Zat organik yang terdapat pada limbah dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan mikroba pada sistem MFC. Sehingga banyak keuntungan yang didapatkan dalam proses MFC [Lovley, 2006; Yang, 2008] [1]. Menyadari potensi MFC di masa mendatang sebagai salah satu penyedia energi yang 'hijau', penelitian ini akan mengeksplorasi pemanfaatan microbial fuel cell untuk pembangkitan listrik dan pengolahan limbah cair. Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan limbah air. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu operasi, diameter elektroda dan volume reaktor terhadap kinerja MFC [1]. Prinsip kerja sistem MFC adalah bakteri pada reaktor memproduksi elektron kemudian dipindah ke anoda dan dialirkan ke katoda yang disambungkan oleh perangkat konduktivitas untuk menghasilkan listrik yang dapat menjalankan alat [Logan dkk dalam Ibrahim, 2014]. Sistem MFC ini akan memanfaatkan hasil dari proses metabolisme mikroorganisme. Mikroorganisme akan melakukan metabolisme dengan mengurai substrat 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 dkk dalam nurhakim, 2016]. Elektron yang dihasilkan ditransfer melalui sirkuit eksternal dari anoda menuju katoda yang didalamnya terdapat larutan elektrolit sebagai asektor elektron sehingga menimbulkan tegangan listrik [Nurhakim, dkk., 2016]. Secara garis besarnya mekanisme prosesnya adalah substrat dioksidasi oleh bakteri, kemudian menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron ditransfer melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton didifusikan melalui membran penukar proton (PEM) menuju katoda. Proton dan elektron pada katoda selanjutnya akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan air (H_2O) [1]. Salah satu dampak dari pembangunan dan pertambahan jumlah penduduk adalah pertambahan air limbah (*waste water*) yang semakin melimpah. Air limbah dapat dihasilkan oleh aktivitas rumah tangga, pertanian, atau industri. Air limbah seharusnya tidak dibuang begitu saja tetapi perlu diolah atau didaur ulang agar dapat digunakan kembali. Alam sesungguhnya dapat mengolah air limbah. Tetapi banyaknya air limbah membuat alam tidak mampu sepenuhnya mengolah air limbah yang dihasilkan oleh manusia. Pengolahan limbah yang dikembangkan selama ini melibatkan proses kimia, fisikawi, dan mikrobiologis. Saat ini, diupayakan pengolahan air limbah dengan menggunakan teknologi *Microbial Fuel Cells* (MFCs) yang dimodifikasi sesuai dengan kondisi proses pengolahan air limbah. Penerapan MFCs tidak hanya membantu proses pengolahan air limbah tetapi juga menghasilkan energi listrik sejalan atau simultan dengan proses pengolahan limbah [2]. Air limbah merupakan salah satu limbah yang banyak menimbulkan masalah terhadap lingkungan sekitarnya. Limbah cair industri yang dapat menimbulkan masalah lingkungan karena menimbulkan bau yang tidak sedap serta merupakan polusi berat pada perairan bila pembuangannya tidak diberi perlakuan yang tepat [3]. Kurangnya penanganan limbah cair pada lingkungan perusahaan, menyebabkan masih banyak kandungan bakteri yang terbawa dalam aliran limbah. Hal ini dapat terjadi karena dalam pengelolaan limbah cair dibutuhkan dana yang cukup banyak terutama untuk energi yang dibutuhkan pada instalasi limbah, sehingga perusahaan yang berorientasi profit semata banyak yang mengabaikan pengelolaan limbah cair [4].

2. Dasar Teori

2.1 *Microbial Fuel Cell*

Microbial Fuel Cell atau lebih dikenal dengan singkatan MFC adalah sistem pembangkit energy listrik dengan memanfaatkan interaksi bakteri yang terdapat di alam. Bakteri yang terdapat dalam medium organik mengubah bahan organik menjadi energy listrik [5]. Sifat bakteri yang dapat mendegradasi medium organik (*enchirment media*) pada MFC menghasilkan ion electron dan proton. Ion-ion inilah yang menghasilkan perbedaan potensial listrik sehingga dapat dihasilkan energi. Pada umumnya sistem konvensional MFC terdiri dari dua ruang yang terdiri atas ruang katoda dan anoda. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh sebuah membrane tempat teradinya pertukaran proton (*proton exchange membrane*). Sistem ini belum sepenuhnya bekerja dengan kerja bakteri karena hanya isi anoda saja yang mengandung bakteri, sedangkan pada sisi katoda masih bekerja dengan menggunakan senyawa kimia seperti *Polialuminium Chloride (PAC)*. Namun baru-baru ini telah

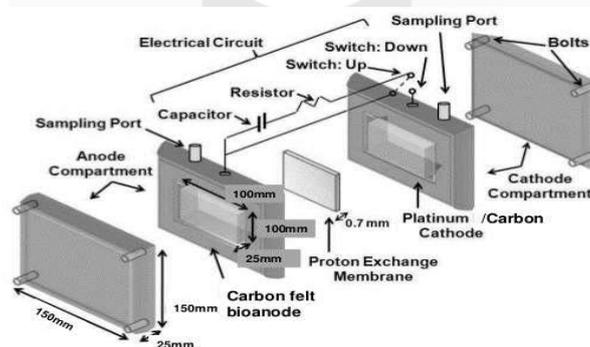
dikembangkan MFC dengan menggunakan bakteri pada katoda atau lebih dikenal dengan biokatoda. Bakteri pada ruang katoda memiliki fungsi yang sama sebagai mediator electron yang sebelumnya dilakukan oleh senyawa kimia [7]. Dalam penelitian tentang MFC, asetat umum digunakan sebagai substrat untuk bakteri agar dapat menghasilkan listrik. Senyawa kimia ini lebih mudah diproses oleh bakteri ketimbang memproses air limbah. Asetat tergolong senyawa kimia sederhana yang berfungsi sebagai sumber karbon untuk bakteri. Kelebihan lain dari asetat adalah senyawa ini tidak menimbulkan reaksi lain terhadap bakteri seperti fermentasi dan methanogenesis pada temperature ruang [6].

2.2 Pengolahan Limbah Air Menjadi Energi Listrik

Penggunaan bahan bakar minyak atau bahan bakar fosil (*fossil fuels*) yang telah berlangsung lama telah menimbulkan kekhawatiran bagi banyak pihak. Penggunaan bahan bakar minyak yang sangat intensif telah mengakibatkan cadangan atau persediaan bahan bakar fosil menipis dan suatu saat pasti tidak dapat memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Tidak hanya persediaannya yang menipis, penggunaan bahan bakar fosil oleh manusia dengan segala aktivitasnya juga menimbulkan atau mengakibatkan adanya gas rumah kaca (*greenhouse gasses*, GHGs), seperti metan, karbondioksida, *nitrous oxide*, dan *halocarbon*. Pada umumnya air limbah hanya dibuang dan dibiarkan begitu saja oleh masyarakat. Air limbah lebih bermanfaat ketika bisa mengolahnya yakni dengan cara mengolah air limbah tersebut menjadi energi listrik. Percobaan air limbah ini bisa diterapkan dalam sistem *Microbial Fuel Cell*, air limbah tersebut dijadikan sebagai substrat utama pada kompartemen anoda *Microbial Fuel Cell*. Teknologi *Microbial Fuel Cells* merupakan salah teknologi energi alternatif yang mampu menghasilkan gas hidrogen dari biomassa atau materi limbah organik. MFCs juga dinamakan *Microbial Electrolysis Cell* karena adanya proses *microbial electrolysis*. Proses tersebut berlangsung dalam suatu reaktor yang dinamakan *Microbial Electrolysis Cells* (MECs). Dalam MFCs, dihasilkan elektron-elektron dari biomassa oleh mikroorganisme, terutama bakteri. Konsep MFCs sangat menarik dan menjadi topik penting saat ini karena adanya kesadaran terhadap perlunya peningkatan penggunaan sumber energi alternatif. Dalam MFCs, energi kimia ditransformasi menjadi energi listrik secara efisien dengan bantuan mikroorganisme sebagai katalisator. MFCs tidak menghasilkan produk akhir yang bermasalah [15].

2.3 *Microbial Fuel Cells (MFC)* dan *Sediment Microbia Fuel Cell (SMFCs)*

MFC adalah suatu bioreaktor yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Hal ini dapat terjadi karena adanya peruraian ikatan kimia tertentu di suatu senyawa organik sehingga dihasilkan elektron dan proton, serta hidrogen melalui reaksi-reaksi katalitik yang dimiliki oleh mikroorganisme terutama bakteri dalam keadaan anaerob [16]. Dari peruraian materi organik tersebut dapat dihasilkan energi listrik melalui sistem MFCs. MFCs adalah peralatan yang menggunakan bakteri sebagai katalisator untuk mengoksidasi materi organik dan anorganik, serta menghasilkan aliran listrik [6]. Elektron dihasilkan oleh bakteri dari senyawa tersebut dan ditransfer ke anoda (terminal negatif), kemudian mengalirkannya ke katoda (terminal positif) melalui materi konduktor yang dinamakan resistor. Elektron yang dihasilkan oleh bakteri dapat ditransfer ke anoda melalui mediator elektron, dan dengan bantuan membran tertentu atau *nanowire*.

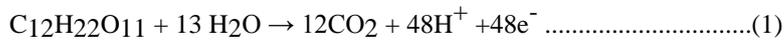


Gambar 2. 1. Skema dan komponen atau bagian-bagian dari MFCs

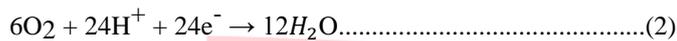
2.4 Pengolahan Air Limbah Dengan Menggunakan Teknologi SMFCs Untuk Produksi Energi Listrik

Air limbah adalah air yang dibuang dari rumah tangga, pertanian, atau industri setelah digunakan untuk kegiatan atau proses tertentu. Air limbah tersebut perlu diolah dengan metode tertentu sebelum dilepas ke alam bebas agar dapat digunakan kembali. Kualitas air limbah sering diukur dari kandungan *Chemically Oxygen Demand* (COD), *Biologically Oxygen Demand* (BOD), *Total Soluble Solid* (TSS), dan pH. Air limbah dari berbagai sumber, misalnya air limbah dari perusahaan air minum, pabrik gula, pengolahan susu, rumah tangga-kota, industri kertas, memiliki ciri-ciri yang berbeda [9]. Kandungan bahan pencemar juga berbeda-beda

tergantung dari sumbernya [11]. Efisiensi dan efektifitas pengolahan limbah secara umum diukur dari parameter tersebut. MFCs juga sudah diteliti kemampuannya tidak hanya untuk air limbah, tetapi juga untuk menghilangkan kontaminan atau bahan pencemar tertentu, misalnya logam berat dan juga untuk limbah padat organik [18]. Limbah rumah tangga, seperti urin dan tinja, juga telah diteliti untuk dapat digunakan sebagai substrat MFCs. Peralatan MFC terdiri atas dua kompartmen utama yang terpisah atau dipisahkan secara elektrokimia, yaitu kompartmen anoda dan kompartmen katoda (Gambar 4). Telah dikembangkan terrestrial MFCs yang menggunakan anoda terpisah dari katoda karena adanya lapisan sedimen atau tanah (Gambar 5). Kompartmen anoda mengandung mikroorganisme yang memetabolisme substrat tanpa oksigen, misalnya glukosa, yang menghasilkan karbondioksida dan elektron seperti dalam reaksi no 1 berikut ini.



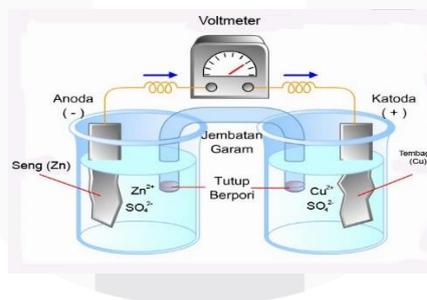
Jika terdapat persediaan oksigen dari udara, maka reaksinya sebagai berikut:



MFCs dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe tertutup yang umumnya menggunakan membran pertukaran kation (CEM, *Cation Exchange Membrane*) yang juga disebut PEM (*Proton Exchange Membrane*), dan SMFCs (*Sediment MFCs*) yang merupakan sistem terbuka, suatu sistem tanpa membrane [7], [13]. Sediment MFCs menggunakan karbon organik yang tersedia di sedimen sebagai sumber energi. SMFCs sangat bermanfaat untuk memperoleh energi dari sedimen (bagian bawah yang mengendap), dan dapat berfungsi dalam waktu yang sangat lama (Gambar 8). Untuk pengolahan air limbah dimana materi organik-tanah telah diuji sebagai peralatan *membrane-less single chamber microbial fuel cells* (SMFC) yang menghasilkan bioelektrisitas simultan dengan biotransformasi limbah organik. Hasil yang diperoleh masih relatif rendah, yaitu dapat mencapai 330 mV [13].

2.5 Sel Volta

Sel Volta merupakan jenis sel elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik dari reaksi redoks yang berlangsung spontan. Sel Volta juga disebut dengan sel Galvani. Penamaan sel Volta dan sel Galvani diberikan untuk menghargai jasa penemu kedua sel ini, yaitu Alexander Volta dan Luigi Galvani. Pada sel Volta, anoda adalah kutub negatif dan katoda adalah kutub positif. Anoda dan katoda yang berupa logam dicelupkan kedalam larutan elektrolit yang mengandung masing-masing ion logamnya. Kedua larutan dihubungkan dengan jembatan garam, sedangkan kedua elektroda dihubungkan dengan kawat. Listrik yang dihasilkan diukur dengan Voltmeter yang dipasang pada kawat.

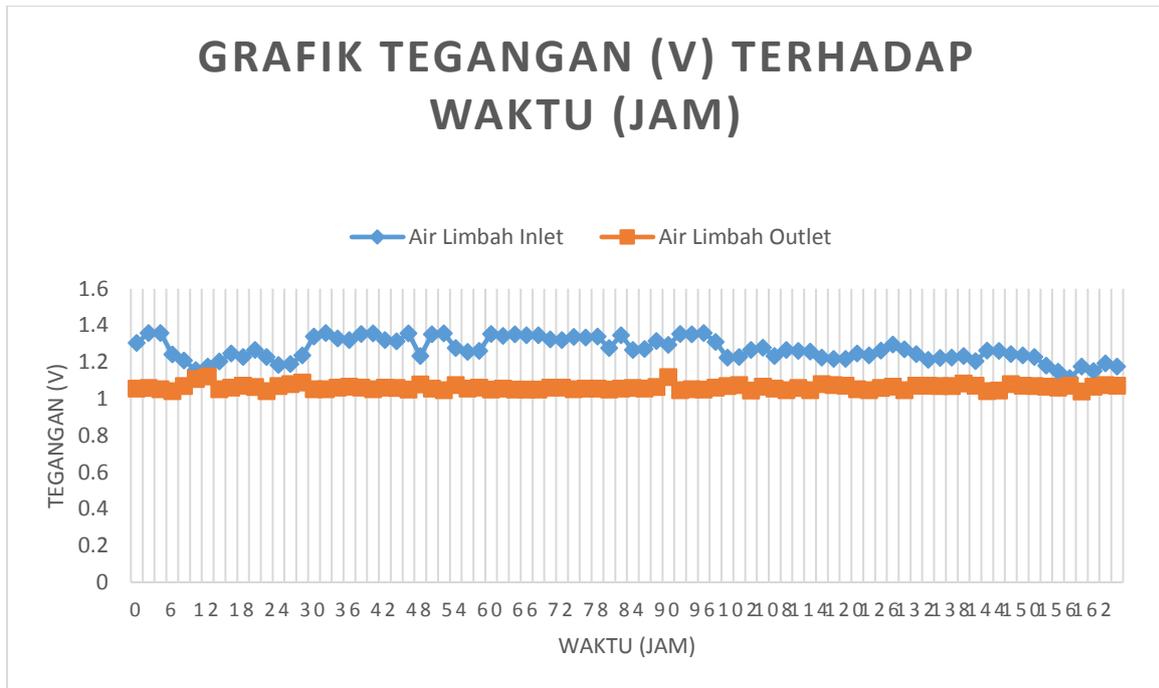


Gambar 2. 3. Sel Volta

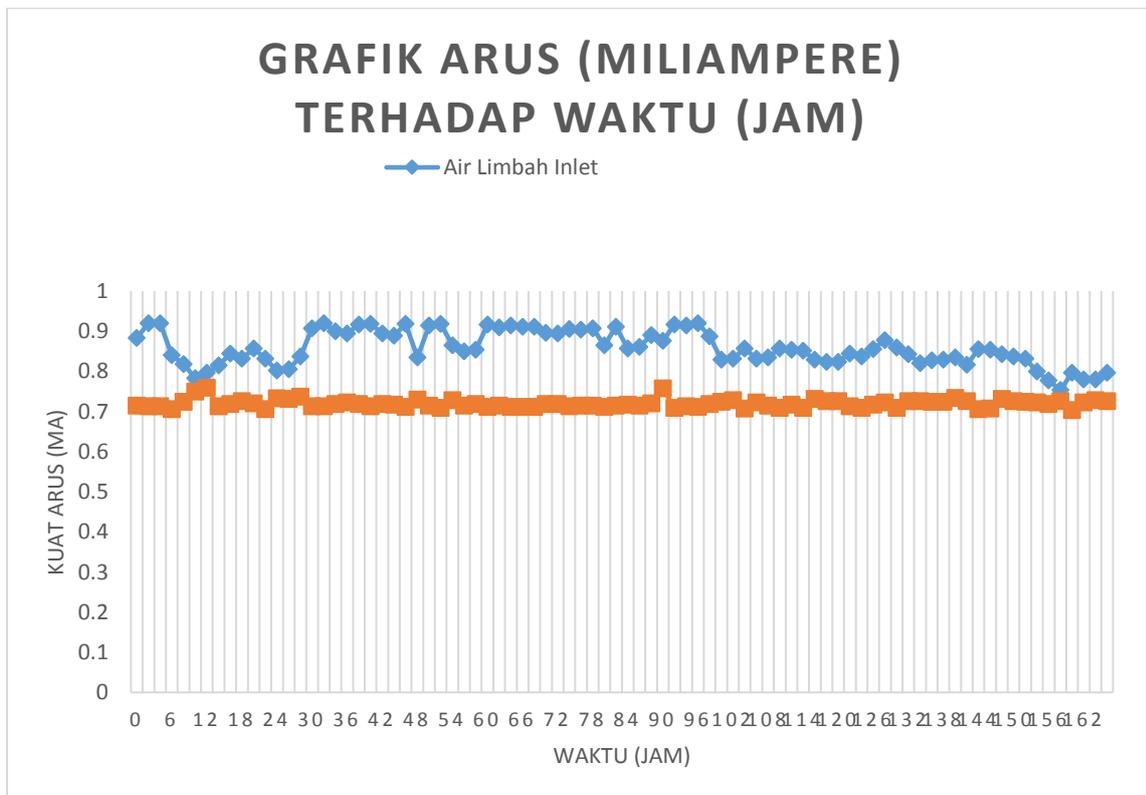
3. Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Kuat Arus Listrik pada Substrat Air Limbah

Tegangan dan kuat arus diukur menggunakan data logger yang dihubungkan dengan kedua elektroda (anoda dan katoda) pada sistem MFC, dimana kutub negatif pada *data logger* dihubungkan dengan anoda dan kutub positif dengan katoda. Kuat arus yang terukur 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.

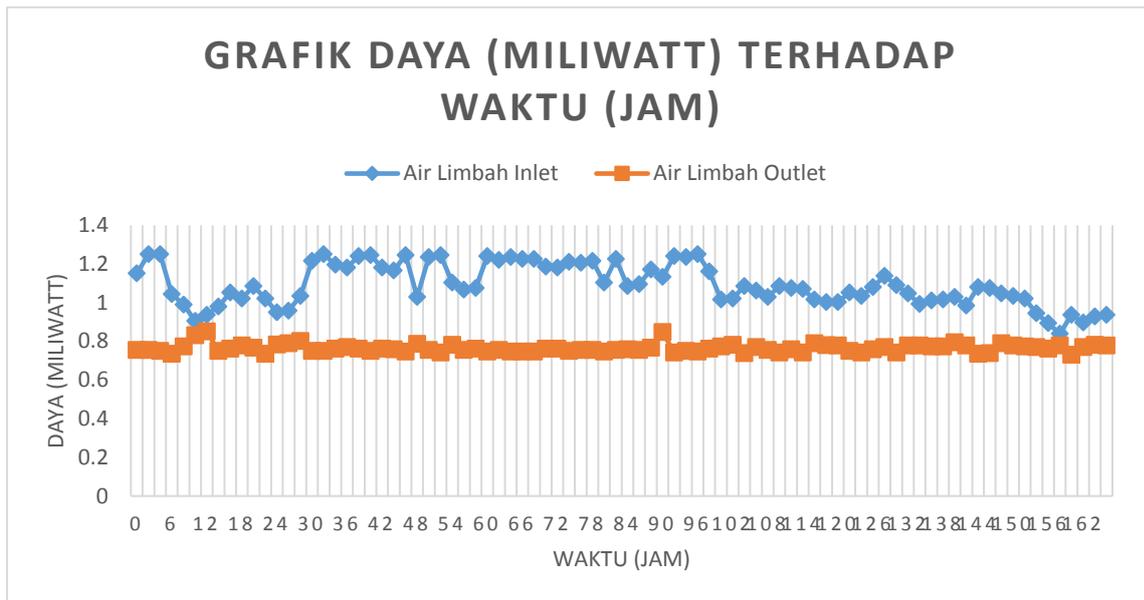


Gambar 4. 1. Grafik Pengukuran Tegangan pada Sistem MFC Tanggal 21-27 April 2018



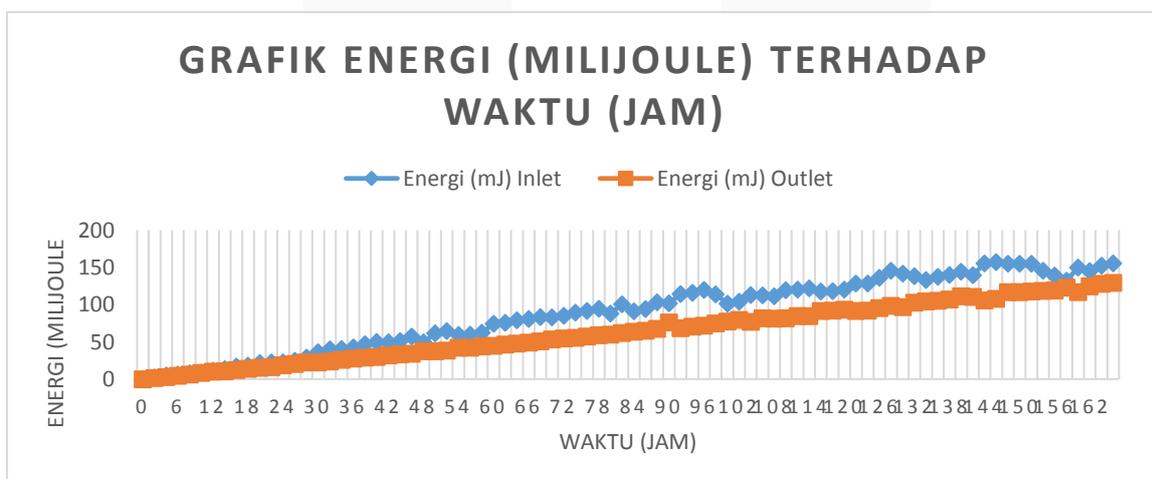
Gambar 4. 2. Hasil Pengukuran Kuat Arus pada Sistem MFC Tanggal 28 April – 4 Mei 2018

3.2 Hasil Pengukuran Daya dan Energi pada Substrat Air Limbah

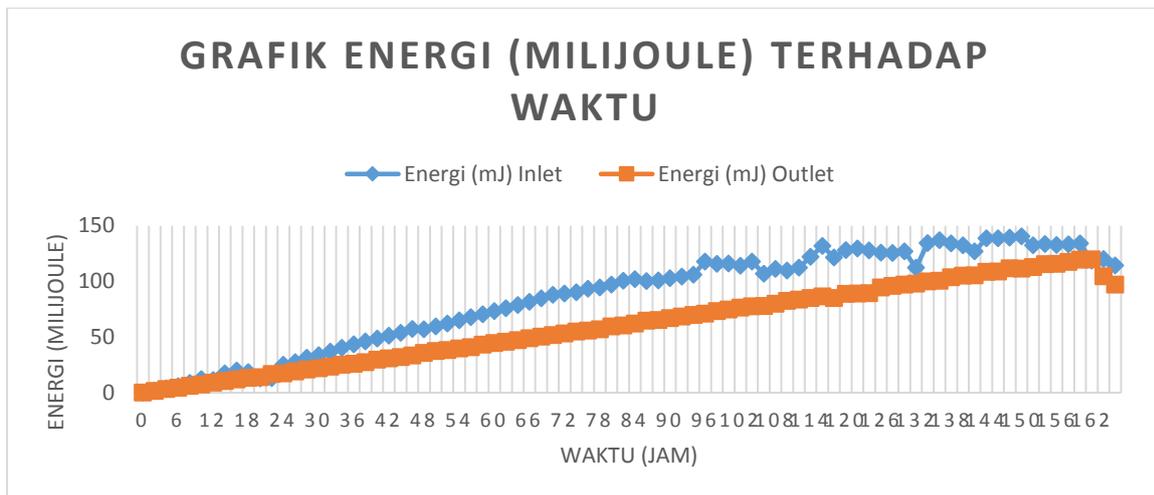


Gambar 4. 3. Hasil Pengukuran Daya pada Sistem MFC Tanggal 21-27 April 2018

Hasil pengukuran daya berbanding lurus dengan besarnya nilai tegangan dan kuat arus yang dihasilkan. Elektroda yang digunakan dalam sistem MFC ini berbentuk pelat dengan luas permukaan 10 cm² untuk tiap-tiap sisinya. Daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem MFC ini untuk pengukuran pertama mencapai 1,250489508 mW pada jam ke-96 untuk substrat air limbah *inlet* dan 0,851084117 mW pada jam ke-12 untuk substrat air limbah *outlet* dengan elektroda Zn/Cu, sedangkan untuk pengukuran kedua mencapai 1,255529949 mW pada jam ke-70 untuk substrat air limbah *inlet* dengan elektroda Zn/Cu dan 0,789957238 mW pada jam ke-4 untuk substrat air limbah *outlet*. Selanjutnya data hasil pengukuran berupa tegangan dan kuat arus diolah menggunakan Persamaan 3.2 untuk mendapatkan nilai energi. Besarnya energi dari sistem MFC tertera pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4. 4. Hasil Pengukuran Energi pada sistem MFC Tanggal 21-27 April 2018



Gambar 4. 5. Hasil Pengukuran Energi pada sistem MFC Tanggal 28 April – 4 Mei 2018

Pada energi yang dihasilkan, mikroba pada substrat air limbah melepaskan energi selama proses metabolisme dan pertumbuhan. Energi yang dihasilkan sistem MFC dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.5, dimana nilai energi tersebut ditentukan oleh besarnya daya listrik terhadap waktu. Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 menunjukkan grafik energi yang dihasilkan oleh sistem MFC, dimana seiring dengan lamanya waktu pengukuran pada sistem yang berlangsung, energi yang dihasilkan pada sistem juga semakin tinggi. Selama 166 jam atau 7 hari pengukuran berlangsung, energi terbesar yang dihasilkan oleh mikroba pada pengukuran pertama sebesar 155,6019236 mJ untuk substrat air limbah *inlet* dengan elektroda Zn/Cu dan 129,1486087 untuk substrat air limbah *outlet* dengan elektroda Zn/Cu. Pada pengukuran kedua mencapai 140,4106549 mJ untuk substrat air limbah *inlet* dan 119,6896522 untuk substrat air limbah *outlet* dengan elektroda Zn/Cu. Besarnya energi yang diperoleh pada sistem juga dipengaruhi oleh pertumbuhan sel mikroorganisme.

4. Kesimpulan

Sistem MFC menghasilkan kuat arus maksimum sebesar 0,9201 mA dengan substrat air limbah *inlet* dengan elektroda Zn/Cu pada pengukuran pertama, dan sebesar 0,91824 mA pada pengukuran kedua dengan elektroda Zn/Cu dan substrat air limbah *inlet*. Sistem MFC dengan menggunakan substrat air limbah inlet dan outlet pada kompartemen anoda dan aquades pada kompartemen katoda. Tembaga dan seng sebagai elektroda, mampu mengkonversi substrat tersebut menjadi energi listrik dengan nilai antara 1,508733646 mJ sampai 155,3877914 mJ. Sistem MFC dengan menggunakan pelat Cu dan Zn sebagai elektroda menghasilkan produksi energi listrik yang lebih besar dibandingkan pada pelat elektroda lainnya. Nilai daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem MFC untuk dua kali pengukuran mencapai 1,255529949 mW dengan menggunakan pelat elektroda Cu dan Zn.

5. Referensi

- [1] Introduction, 2015, Respository UGM, [pdf], (etd.respository.ugm.ac.id/./D3-2012-327894-introduction)
- [2] Mohan, S.V enkata, R.Saravanan, S.V eer Reghavulu. Mohanakrisha, G., Sarma, P.N. 2008. "Bioelectricity production from wastewater treatment in dual chambered microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched mixed microflora: Effect of catholyte". Bioresour Tech 99(3) 596-603.
- [3] Achmad, Rukaesih, 2004. Kimia Lingkungan. Yogyakarta: Penerbit Andi
- [4] Anonim, 2010. Air Bersih Bebas Bakteri dan Kuman. (<http://www.mediaindo.co.id/>)
- [5] <https://www.itb.ac.id/news/read/3130/home/microbial-fuel-cell-energi-listrik-alternatif-dari-bakteri>
- [6] Logan, B.E. 2006. "Simultaneous wastewater treatment and biological electricity generation". Water Sci Tech 52(1-2) 31-37.
- [7] Logan, B.E., M. Regan, John. 2006. "Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells". Trends Microbiol 14(12) 512-518.

- [8] Chisti, Y. 2007. *Biodiesel from Microalgae*. Biotechnology Advances 25: 294 – 306.
- [9] Samsudeen, N., Radhakrishnan, T.K., Matheswaran, M. 2015. “Bioelectricity production from microbial fuel cell using mixed bacterial culture isolated from distillery wastewater”. *Bioresour Technol* 195:242-
- [10] Marthuriya, Abhilasha, V.N.Sharma. 2009. “Bioelectricity production from various wastewaters through microbial fuel cell technology”. *J Biochem Tech* 291, 133- 137.
- [11] Zhang, Q., J.Hu, DJ Lee, 2016. “Microbial fuel cells as pollutant treatment units: Research updates”. *Bioresour Technol* 217:121-8. DOI 10.1016/j.biotech.2016.02.006.Epub 2016 Feb 6.
- [12] Aelterman, P., Rabaey, K., Clauwaert, P. Verstraete, W. 2006. “Microbial Fuel Cells for wastewater treatment”. *Water Sci Tech* 54(8) 9-15.
- [13] Logroño, Washington, Geovany Ramírez, Celso Recaldea, Magdy Echeverría, Ana Cunachib, 2015. Bioelectricity generation from vegetables and fruits wastes by using single chamber microbial fuel cells with high Andean soils. *Energy Procedia* 75, 2009 – 2014
- [14] Singh, Shweta, Pandey, Anjana., Dwivedi, C.K., 2016. “Bioelectricity Production from Various Feedstocks Using Pure Strain of *Bacillus firmus*”. *Int. J Renew Energy Dev (IJRED)* 5(2) 119-127.
- [15] Gude, Gnaneswar, Veera. 2016. “Wastewater treatment in microbial fuel cells – an overview”. *J Cleaner Prod* 122: 287-307.
- [16] Du, Zhuwei., Haoran, Li., Tingyue, Gu. 2016. “A state of art review on microbial cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy”. *Biotech Adv* 25: 464-482.
- [17] Borole, Abhijet P., 2015. “Microbial Fuel Cells and Microbial electrolyzers”. *The Electrochem. Society Interface* Fall 2015, 55-59.
- [18] Logan, Bruce E., Hamelers, Bert., Rozendal, Rene., Schröder, Uwe., Keller, Jurg., Freguia, Stefano., Aelterman, Peter., Verstrate, Willy., Rabaey, Kornell. 2006. “Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology”. *Environ Sci Tech* 40(17) 5181-5190.
- [19] Mohan, S.V enkata, R.Saravanan, S.V eer Reghavulu. Mohanakrishna, G., Sarma, P.N. 2008. “Bioelectricity production from wastewater treatment in dual chambered microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched mixed microflora: Effect of catholyte”. *Bioresour Tech* 99(3) 596-603.
- [20] Xu, Bojun, Ge, Zheng., He, Zhen. 2015. “Sediment microbial fuel cells for wastewater treatment: challenges and opportunities”. *Environmental Science: Water Res Tech* 1: 279-284.
- [21] Hou, Y.; Zhang R.; Luo H.; Liu G.; Kim, Y.; Yu, S.; Zeng, J.; Microbial electrolysis cell with spiral wound electrode for wastewater treatment and methane production, *Process Biochemistry*, Elsevier, 2015.
- [22] 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*.