

ANALISIS PRODUKSI ENERGI LISTRIK SISTEM SEDIMEN SEL TUNAM MIKROBA MENGGUNAKAN LIMBAH CAIR TAHU SEBAGAI SUBSTRAT

ANALYSIS OF ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION OF SEDIMENT MICROBIAL FUEL CELL USING TOFU WASTEWATER AS SUBSTRATE

Elza Anggia Putri¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si.,M.Si.², Dra. Endang Rosdiana, M.Si.³

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

¹elzanggia@student.telkomuniversity.ac.id, ²mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id,

³endangr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Energi fosil membutuhkan alternatif berupa energi yang dapat diperbarui. Saat ini energi terbarukan yang sedang dikembangkan yaitu sel tunam mikroba (STM) yang merupakan sistem yang dapat menghasilkan listrik dari substrat dengan kandungan bahan organik yang dioksidasi oleh mikroorganisme sebagai katalis. Di Indonesia banyak tersebar industri kecil pembuatan tahu yang tidak memiliki saluran pembuangan limbah yang memenuhi standar baku mutu, sehingga pembuangan limbah secara langsung ke sungai atau badan air dapat menimbulkan pencemaran. Penggunaan limbah cair tahu selain untuk mengurangi pembuangan limbah yang dapat menjadi polutan dipilih karena masih mengandung bahan organik berupa protein, karbohidrat, dan lemak yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk metabolisme bakteri. Penelitian kali ini menggunakan tipe reaktor *single chamber* yang berjenis sedimen sel tunam mikroba. Sedimen terdiri dari lumpur sawah disekitar Telkom University yang dicampur dengan bahan organik berupa limbah cair tahu dari Pabrik Tahu Jl. Nyalindung di daerah Dago, Bandung. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa reaktor I yang berisi lumpur sawah sebanyak 800 ml memiliki rata rata tegangan, arus, dan rapat daya yang paling besar selama 15 hari penelitian yaitu dengan nilai masing masing 0,573 V, 0,306 mA, dan 745,762 mW/m². Pada penelitian ini adaptasi mikroorganisme pada lumpur sawah sebagai sumber bakteri akan lebih lama apabila volume limbah cair tahu yang ditambahkan lebih banyak dibandingkan volume lumpur sawah, karena penambahan limbah cair tahu memiliki pH rendah sehingga mikroorganisme membutuhkan waktu beradaptasi dengan kondisi baru agar didapatkan kondisi optimum untuk aktivitas metabolisme berlangsung sehingga dapat menghasilkan elektron.

Kata kunci: sel tunam mikroba, sedimen, lumpur sawah, limbah cair tahu.

Abstract

Fossil energy needs an alternative which can be renewable. Currently, the renewable energy that is being developed is the microbial fuel cell (MFC), which is a system that can generate electricity from a substrate containing organic material which is oxidized by microorganisms as a catalyst. In Indonesia, a lot of small industries of tofu factory do not have sewage drains which meet quality standards, so their direct disposal of waste into rivers or water bodies can cause pollution. The use of tofu wastewater in addition to reduce the disposal of waste which can become pollutants was chosen because tofu wastewater still contains organic materials which are protein, carbohydrates and fats which can be used as an energy source for bacterial metabolism. This research used a single chamber reactor type, which is a type of sediment microbial fuel cell. The sediment consists of paddy mud around Telkom University mixed with organic material in the form of tofu wastewater from the Tofu Factory Jl. Nyalindung in Dago, Bandung. The results of the study showed that reactor I containing 800 ml of paddy mud had the greatest average voltage, current, and power density during the 15 days of the research, with respective values of 0.573 V, 0.306 mA, and 745.762 mW/m². In this research, the adaptation of microorganisms in paddy mud as the source of bacteria will take longer time if the added volume of tofu wastewater is more than the volume of paddy mud, because the addition of tofu liquid waste has a low pH, so microorganisms need time to adapt to new conditions in order to obtain the optimum conditions for metabolism activity so that it can produce electrons.

Keywords: microbial fuel cell, sediment, paddy mud, tofu wastewater.

1. Pendahuluan

Pada saat ini hampir semua kegiatan manusia didukung dengan adanya energi listrik. Dengan kebutuhan konsumsi energi listrik yang semakin meningkat, akan terjadi krisis energi fosil yang disebabkan oleh menipisnya

sumber cadangan. Selain itu energi fosil juga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang dapat memperburuk lingkungan dan menyebabkan pemanasan global. Untuk menangani masalah cadangan energi dan lingkungan yaitu dengan menghasilkan energi alternatif dan lebih ramah lingkungan. Salah satu sistem penghasil energi listrik yang ramah lingkungan adalah energi biomassa. Sekarang ini tengah dikembangkan sel tunam mikroba atau dapat disingkat STM yang memiliki keistimewaan yaitu dapat mengubah energi biokimia dari bahan baku organik yang dianggap tidak terpakai, yang kemudian dioksidasi dengan bantuan mikroorganisme sebagai biokatalis agar dihasilkan elektron yang dapat memproduksi energi listrik [1, 2].

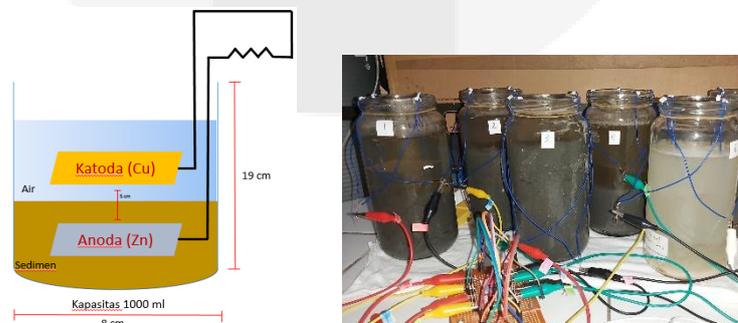
Bahan organik bisa didapat dari sisa limbah pengolahan makanan, salah satunya yaitu sisa industri pembuatan tahu. Di Indonesia banyak tersebar industri kecil pembuatan tahu yang tidak memiliki saluran pembuangan limbah yang memenuhi standar baku mutu, sehingga pembuangan limbah secara langsung ke sungai atau badan air dapat menimbulkan bau tidak sedap, menjadi polutan bagi lingkungan terutama pada ekosistem air, dan dapat menurunkan kualitas air [3, 4]. Industri tahu menghasilkan dua macam limbah yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat atau ampas tahu dapat dimanfaatkan kembali menjadi bahan makanan seperti tempe gembus dan kecap, serta dapat diolah sebagai pakan ternak. Sementara itu, limbah cair tahu hasil dari proses pencucian, perebusan, penyaringan, dan pencetakan sulit untuk dimanfaatkan kembali dan karakteristik limbah cair tahu memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dapat mencemari lingkungan. Untuk dapat mendegradasi kandungan organik, limbah cair tahu dapat melalui proses anaerobik yang juga mampu menghasilkan listrik. Produksi listrik dihasilkan dari pemanfaatan kandungan organik seperti karbohidrat, lemak, dan protein sebagai sumber energi untuk aktivitas metabolisme mikroorganisme yang kemudian menghasilkan elektron [5, 6]. Pemanfaatan limbah cair industri tahu sebagai substrat pada sistem STM diharapkan dapat menjadi langkah untuk menghasilkan energi yang ramah lingkungan dan juga mengurangi dampak buruk limbah terhadap lingkungan yang dapat merusak ekosistem.

Pada penelitian kali ini, rancangan sistem yang dibangun adalah tipe reaktor *single chamber* yang berjenis sedimen sel tunam mikroba dengan menggunakan lumpur sawah sebagai sedimen sumber mikroorganisme dan penambahan substrat limbah cair tahu sebagai bahan organik untuk sumber energi bagi mikroorganisme untuk melakukan metabolisme. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya oleh Annisa pada tahun 2018 yang menggunakan reaktor dual chamber dengan substrat lumpur danau Telkom University dan limbah cair tahu yang menghasilkan daya sebesar 0,2262 mW [7]. Akan dilakukan pula variasi perbandingan volume substrat limbah cair tahu dan lumpur sawah. Diharapkan dari penelitian ini dengan perubahan tipe reaktor menjadi *single chamber* dan sedimen menjadi lumpur sawah akan lebih ringkas, efisien, serta dapat menambah informasi mengenai potensi energi listrik dari pemanfaatan limbah cair tahu. Tujuan dari penelitian tugas akhir yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan volume substrat limbah cair tahu dan lumpur sawah pada sistem sedimen sel tunam mikroba terhadap produksi listrik yang dihasilkan.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Reaktor Sedimen Sel Tunam Mikroba

Pada penelitian ini, reaktor sedimen sel tunam mikroba yang digunakan ialah ruang tunggal atau *single chamber* yang hanya memiliki satu kompartemen dimana anoda dan katoda berada dalam satu ruang. Reaktor terbuat dari stoples berbahan kaca berbentuk silinder dengan diameter 8 cm dan tinggi 19 cm yang berkapasitas 1000 ml. Bagian anoda diisi oleh mikroorganisme dari substrat berupa endapan lumpur sawah dan limbah cair tahu dan pada bagian katoda berisi fasa cair yang terbentuk dari reaksi pengendapan. Reaktor dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Reaktor Sedimen Sel Tunam Mikroba

Elektroda yang dipakai pada penelitian kali ini yaitu lempengan seng (Zn) yang akan digunakan sebagai elektroda anoda yang akan dibenamkan pada sedimen lumpur dan lempengan tembaga (Cu) sebagai elektroda katoda yang berada pada fasa cair di atasnya. Penggunaan Zn dan Cu dipilih karena menurut penelitian sebelumnya

elektroda tersebut lebih cocok dan murah dibandingkan dengan grafit, besi, dan karbon [8] dan menghasilkan listrik lebih besar dibandingkan dengan Cu/Al dan Zn/Al [9]. Lempengan elektroda Zn dan Cu yang digunakan berukuran 5 cm × 5 cm. Sebelum digunakan, elektroda terlebih dahulu dibersihkan menggunakan larutan HCl, NaOH, dan aquades untuk membersihkan lapisan pengotor.

Prinsip kerja sistem sel tunam mikroba yaitu reaksi reduksi dan oksidasi. Substrat bahan organik pada bagian anoda akan melalui proses oksidasi dari aktivitas metabolisme mikroorganisme agar dihasilkan proton dan elektron. Kemudian elektron yang dihasilkan dari reaksi oksidasi tersebut ditransfer melalui sirkuit eksternal dari anoda menuju bagian katoda sehingga terjadi beda potensial. Sementara proton akan berpindah melalui membran agar dapat sampai ke bagian katoda. Di bagian katoda, oksigen, ion positif hidrogen dan elektron akan berreaksi dan berkombinasi membentuk air. Sel tunam mikroba membutuhkan substrat yang memiliki banyak mikroorganisme dan bahan organik agar dihasilkan banyak elektron.

2.2 Eksperimen Sedimen Sel Tunam Mikroba

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan substrat berupa limbah cair tahu yang diperoleh dari pabrik tahu Jl. Nyalindung di daerah Dago, Bandung dan lumpur sawah yang terdapat disekitar Telkom University. Dilakukan dengan menggunakan lima reaktor yang masing-masing berisi 800 ml substrat dengan variasi persentase perbandingan antara limbah cair tahu dan lumpur sawah seperti ditampilkan pada Tabel 1. berikut ini.

Tabel 1. Variasi volume substrat

Reaktor	Limbah Cair Tahu (%)	Lumpur Sawah (%)
1	0	100
2	50	50
3	25	75
4	75	25
5	100	0

Sebagai substrat pada STM, lumpur sawah dan limbah cair tahu dicampur agar dihasilkan substrat yang homogen, kemudian diendapkan agar sedimen dan fasa cair terpisah. Bagian anoda akan berisi sedimen yang terbentuk dari endapan substrat dan bagian katoda berisi fasa cair dari reaksi pengendapan. Kemudian setelah reaktor siap, selanjutnya dilakukan proses pengambilan data arus (I) dan tegangan (V) setiap dua jam sekali dengan rentang waktu 12 jam selama 15 hari waktu penelitian. Pengukuran dimulai dari pukul 7 pagi hingga 7 malam dikarenakan untuk menghindari suhu yang lebih rendah pada malam hari yang dapat memperlambat reaksi biokimia dan degradasi [10]. Selain itu pengukuran juga dilakukan terhadap pH pada masing masing reaktor dengan menggunakan pH meter setiap harinya setelah pengukuran tegangan dan arus selesai. Pada pengukuran nilai tegangan dan arus menggunakan multimeter, kedua elektroda pada reaktor akan dihubungkan dengan menggunakan kabel dan capit buaya. Probe positif multimeter akan dihubungkan dengan kabel katoda dan probe negatif multimeter akan dihubungkan dengan kabel anoda. Pada pengukuran kuat arus digunakan beban eksternal berupa resistor dengan nilai 10 Ω. Untuk mendapatkan nilai rapat daya maka dari nilai data arus dan tegangan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P_d = \frac{V \times I}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

V = tegangan (V)

I = arus (A)

P_d = rapat daya (W/m²)

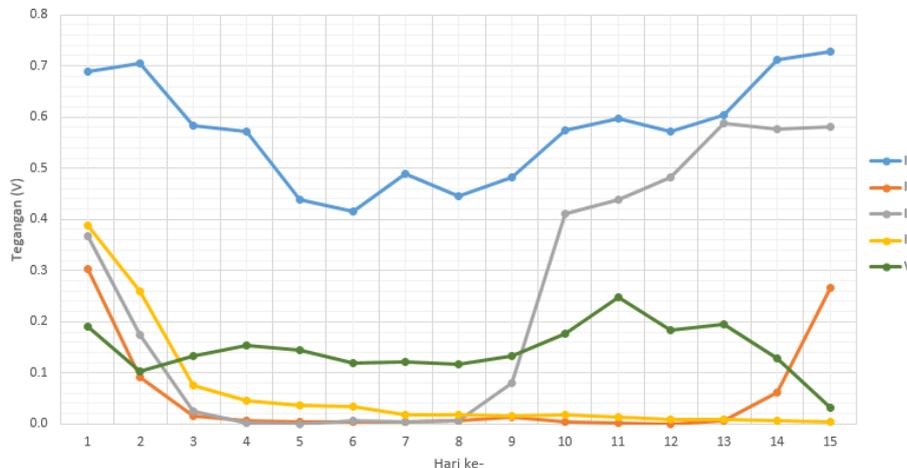
A = luas permukaan elektroda (m²)

3. Pembahasan

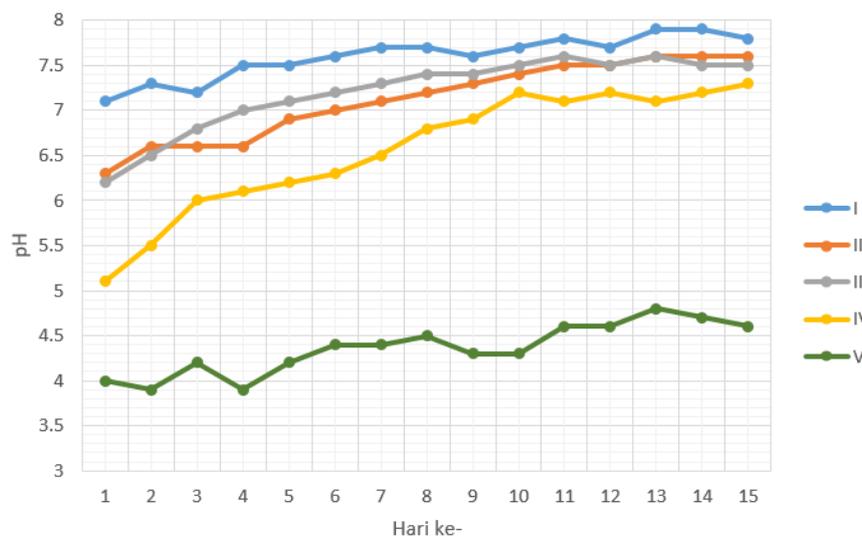
3.1 Hasil Pengukuran Tegangan

Berikut ini pada Gambar 1 menunjukkan grafik hasil pengukuran tegangan yang dihasilkan dari kelima reaktor sedimen STM dengan variasi persentase volume substrat yang berbeda-beda. Untuk reaktor I dengan substrat lumpur sawah 100% menghasilkan tegangan yang paling besar dibandingkan dengan reaktor lainnya. Pada hari pertama hingga hari ke tujuh grafik tegangan cenderung menurun dan setelah hari ke-7 grafik tegangan terlihat naik, hal ini dikarenakan bakteri melewati empat fase pertumbuhan yaitu fase lag dimana bakteri melakukan penyesuaian terhadap lingkungan dan kondisi baru sehingga laju pertumbuhan melambat,

lalu fase log atau eksponensial yaitu fase dimana populasi bakteri menjadi semakin banyak karena pertumbuhan yang pesat, selanjutnya fase stasioner dimana pertumbuhan bakteri sama dengan jumlah kematian bakteri, dan fase kematian yaitu fase dimana bakteri mulai mengalami kematian sehingga jumlah bakteri semakin sedikit dan keberadaannya semakin tidak ada [11]. Maka dari grafik tegangan yang ditampilkan diasumsikan pada hari ke-1 hingga hari ke-6 bakteri berada di fase lag dan pada hari ke-7 mulai berada di fase eksponensial sehingga bakteri semakin bertambah dan menyebabkan produksi tegangan mulai terlihat naik. Selama 15 hari waktu penelitian rata-rata tegangan untuk reaktor I adalah sebesar 0,5734 V.



Gambar 2 Grafik tegangan terhadap waktu

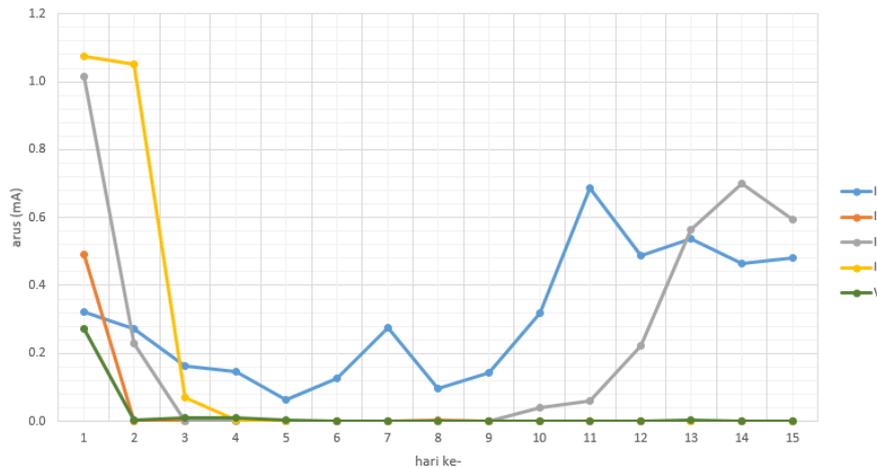


Gambar 3 Grafik pH terhadap waktu

Tegangan pada reaktor II (50% limbah cair tahu + 50% lumpur sawah) dan reaktor III (25% limbah cair tahu + 75% lumpur sawah) terlihat dari grafik mengalami kenaikan yang cukup signifikan masing-masing pada hari ke-14 dan hari ke-9, diindikasikan karena pada hari-hari awal penelitian, bakteri yang terdapat pada lumpur menyesuaikan diri atau beradaptasi terlebih dahulu dengan adanya tambahan substrat limbah tahu dimana pH limbah tahu tersebut cenderung asam. Umumnya bakteri hanya bisa mentoleransi rentang pH 4,0 sampai 9,5, dan akan melakukan pertumbuhan pada pH optimal yaitu pada rentang 6,5 sampai 7,5 [12], semakin banyak persentase volume limbah tahu dibandingkan dengan persentase volume lumpur yang ada pada reaktor maka kenaikan nilai tegangan akan terjadi pada waktu yang semakin mundur. Dapat dilihat pada Gambar 3, pH pada semua reaktor grafiknya naik hingga mendekati pH netral yang menunjukkan bahwa bakteri menyesuaikan diri untuk berada pada kondisi optimum. Rata-rata tegangan untuk reaktor II sebesar 0,0527 V dan untuk reaktor III sebesar 0,2497 V. Untuk reaktor IV (75% limbah cair tahu + 25% lumpur sawah) terlihat selama waktu penelitian semakin hari nilai tegangan semakin menurun dengan rata-rata nilai tegangan sebesar 0,0636. Kemudian untuk reaktor V (100% limbah cair tahu) nilai tegangan turun pada hari ke-2 lalu terus naik hingga puncaknya dihari ke-11 sebesar 0,2477 V kemudian turun kembali hingga hari ke-15.

3.2 Hasil Pengukuran Arus

Pengukuran arus masih menggunakan multimeter namun pengukurannya menggunakan resistor dengan nilai 10Ω . Berikut ini adalah grafik hasil rata-rata arus setiap reaktor per hari ditunjukkan oleh Gambar 4. Sedikit berbeda dengan grafik tegangan, grafik arus terlihat lebih fluktuatif dan cenderung kecil dikarenakan adanya hambatan internal. Menurut hukum Ohm, apabila hambatan semakin besar maka nilai kuat arus akan semakin kecil.

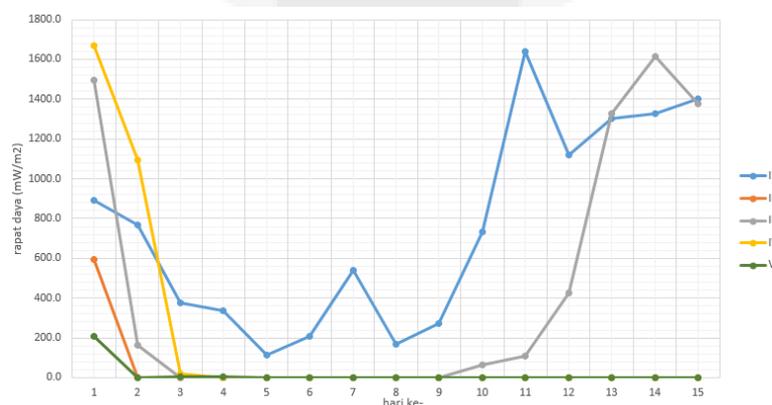


Gambar 4 Grafik arus terhadap waktu

Pada sel tunam mikroba, terdapat beberapa sebab seperti konfigurasi reaktor, material pemisah dan elektroda, jenis substrat, konsentrasi substrat, katalis anoda dan katoda, akseptor elektron, pH umpan, HRT, dan temperatur yang dapat memperbesar nilai hambatan dalam [13]. Produksi arus paling besar dihasilkan oleh reaktor I dengan nilai yang cukup fluktuatif. Puncak nilai arus pada reaktor I yaitu pada hari ke-11 dengan nilai 0,6871 mA. Aliran arus listrik dari anoda ke katoda terjadi karena ada perbedaan potensial energi listrik antar elektroda [14]. Tinggi rendahnya nilai arus disebabkan oleh banyaknya muatan elektron dari hasil metabolisme bakteri yang mampu melewati akseptor elektron dan rangkaian listrik. Dapat diindikasikan nilai puncak arus menandakan lebih cepatnya laju perpindahan banyaknya elektron yang berhasil mengalir ke ruang katoda. Untuk reaktor II dan IV nilai arus semakin kecil seiring waktu penelitian. Untuk reaktor III produksi arus listrik mengalami penurunan kemudian terlihat naik hingga mencapai nilai 0,700 mA pada hari ke-14. Kenaikan nilai diindikasikan dari banyaknya bakteri yang bermetabolisme dan membentuk biofilm yang terdiri dari protein ekstraseluler kompleks, gula, dan sel bakteri yang memungkinkan bakteri membawa elektron menempel pada anoda [15]. Untuk reaktor V nilai arus terjadi penurunan hingga hari ke-11 dan naik pada hari ke-12 dikarenakan dengan adanya penambahan limbah tahu yang memiliki pH asam masa adaptasi menjadi semakin lama sehingga waktu aktivitas metabolisme bakteri semakin mundur.

3.3 Hasil Perhitungan Rapat Daya

Rapat daya didapatkan dari perkalian tegangan dan kuat arus dibagi luas elektroda atau ditunjukkan pada persamaan (1). Berikut ini adalah gambar grafik rapat daya yang didapat selama penelitian dalam waktu 15 hari.



Gambar 5 Grafik rapat daya terhadap waktu

Dapat diamati berdasarkan Gambar 5 untuk reaktor I (100% lumpur sawah) rapat daya menghasilkan nilai yang fluktuatif dan puncaknya berada dihari ke-11 dengan rata-rata nilai sebesar 745,762 mW/m². Untuk reaktor II (50% limbah cair tahu + 50% lumpur sawah) konstan mengalami penurunan dengan nilai rata-rata 39,741 mW/m². Reaktor III (25% limbah cair tahu + 75% lumpur sawah) terlihat naik signifikan dengan puncak pada hari ke 14 dengan rata rata nilai 438,343 mW/m². Reaktor IV (75% limbah cair tahu + 25% ml lumpur sawah) hampir sama seperti reaktor II nilai rapat daya turun hingga akhir masa penelitian dengan nilai rata-rata sebesar 185,800 mW/m². Dan untuk reaktor V (100% limbah cair tahu) menghasilkan rata-rata nilai rapat daya sebesar 15,098 mW/m². Dari kelima nilai rata-rata rapat daya yang dihasilkan selama 15 hari penelitian, nilai yang paling besar ialah reaktor I diikuti dengan reaktor III dimana volume lumpur yang berperan sebagai sumber bakteri untuk bermetabolisme menghasilkan elektron dominan lebih banyak dibandingkan dengan limbah tahu maka rapat daya yang dihasilkan akan semakin besar.

4. Kesimpulan

Hasil nilai rata rata tegangan, arus, dan rapat daya yang paling tinggi dihasilkan oleh reaktor I yang berisi 800 ml lumpur dengan nilai 0,573 V, 0,306 mA, dan 745,762 mW/m². Pada penelitian ini adaptasi mikroorganisme pada lumpur sawah sebagai sumber bakteri akan lebih lama apabila volume limbah cair tahu yang ditambahkan lebih banyak dibandingkan volume lumpur sawah, karena penambahan limbah cair tahu memiliki pH rendah sehingga mikroorganisme membutuhkan waktu beradaptasi dengan kondisi baru agar didapatkan kondisi optimum untuk aktivitas metabolisme berlangsung sehingga dapat menghasilkan elektron.

Daftar Pustaka:

- [1] A. Kothapalli, "Sediment Microbial Fuel Cell as Sustainable Power Resource," 2013.
- [2] B. E. Logan, *Microbial Fuel Cell*, America: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [3] H. Arie, "Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu," in *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*, Jakarta, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan BPPT dan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Samarinda, 2002.
- [4] D. D Permana, "Performance of Single Chamber Microbial Fuel Cell (SCMFC) for biological treatment of tofu wastewater," *IOP Confrence Series: Earth and Environmental Science*, no. 277, 2019.
- [5] Nurhasan and B. Pramudyanto, *Pengolahan Air Buangan Industri Tahu*, Semarang: Yayasan Bina Lestari dan WALHI, 1987.
- [6] F. Li, Y. Sharma, Y. Lei, B. Li and Q. Zhou, *Appl Biochem Biotechnol*, no. 160, pp. 168-181, 2010.
- [7] A. Kalzoum, A. Qurthobi and M. R. Kirom, *Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Sistem Microbial Fuel Cell*, Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2018.
- [8] J. Prasad and R. K. Tripathi, "Maximum Electricity Generation from Low Cost Sediment Microbial Fuel Cell using Copper and Zinc Electrodes," in *IEEE, International Confrence on Information, Communication, Instrumentation, and Control*, 2017.
- [9] T. N. Akbar, "Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik," *e-Proceeding of Engineering*, vol. IV, no. 2, p. 2123, 2017.
- [10] V. Nguyen and R. Nitorisavut, "Bioelectricity Generation in Plant Microbial Fuel Cell Using Forage Grass under Variations of Circadian Rhythm, Ambient Temperature, and Soil Water Contents," *The Asia Power and Energy Engineering Conference*, pp. 240-244, 2019.
- [11] R. M. Maier, "Bacterial Growth," Elsevier Inc., 2009, pp. 37-54.
- [12] F. Kaswinarni, "Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu," *Universitas Diponegoro, Semarang*, 2007.
- [13] D. Das, *Microbial Fuel Cell A Bioelectrochemical System that Converts Waste to Watts*, New Delhi, India: Capital, 2018.
- [14] R. Chang, *Chemistry 10th Edition*, New York: The McGraw-Hill Companies, 2010.
- [15] E. Baranitharan, M. R. Khan, D. M. R. Prasad, W. F. A. Teo, G. Y. A. Tan and R. Jose, "Effect of biofilm formation on the performance of microbial fuel cell for the treatment of palm oil mill effluent," *Bioprocess Biosyst Eng*, no. 38, pp. 15-24, 2015.