

STUDI POTENSI PENGARUH PENAMBAHAN NASI BASI PADA SEDIMEN KOLAM IKAN UNIVERSITAS TELKOM SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK MELALUI SISTEM SEL TUNAM MIKROBA (STM)

STUDY OF INFLUENCE ADDITIONAL WASTE RICE IN TELKOM UNIVERSITY FISH POND SEDIMENT AS POTENTIAL SOURCE OF ELECTRICAL ENERGY THROUGH A MICROBIAL FUEL CELL (MFC) SYSTEM

Tagrid Ruwaida¹, M. Ramdhan Kirom², Ahmad Qurthobi³

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

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

³qurthobi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sel Tunam Mikroba (STM) merupakan suatu teknologi yang dapat mengkonversi proses biokimia menjadi energi listrik melalui aktivitas katalis mikroorganisme anaerob. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem STM pada substrat sedimen kolam ikan yang ada di kawasan Universitas Telkom dan substrat sedimen kolam ikan yang sudah ditambahkan nasi basi dengan rasio volume 1:1. Konstruksi reaktor STM yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem *dual chamber* yang dipisahkan oleh jembatan garam (NaCl 1M) dan dilengkapi dengan elektroda grafit yang berasal dari baterai bekas disetiap kompartemennya. Dari hasil pengukuran yang dilakukan selama 30 hari, dapat disimpulkan bahwa sistem STM dengan substrat sedimen kolam ikan Universitas Telkom mampu memproduksi listrik dengan puncak tegangan sebesar 0.712 V, rapat arus $102.74 \times 10^{-3} \text{ A. m}^{-2}$ dan *power density* $73,15 \times 10^{-3} \text{ W. m}^{-2}$ pada hari ke-19 penelitian untuk sampel sedimen disalurkan *outlet* kolam. Sedangkan pada substrat sedimen kolam ikan yang sudah ditambahkan nasi basi dengan rasio volume 1:1 mampu memproduksi listrik yang lebih tinggi dengan puncak tegangan sebesar 0.955 V, rapat arus $164.38 \times 10^{-3} \text{ A. m}^{-2}$, dan *power density* $156.99 \times 10^{-3} \text{ W. m}^{-2}$ pada hari ke-20 penelitian.

Kata kunci: Sel Tunam Mikroba, sedimen kolam ikan, nasi basi.

Abstract

Microbial Fuel Cell (MFC) is a technology that could convert biochemical processes into electrical energy through anaerobic microorganism catalyst activity. This study is conducted to know the performance of MFC system on fish pond sediment in Telkom University area and fish pond sediment substrate which has added waste rice with 1:1 volume ratio. The MFC reactor construction used is a dual chamber system separated by salt bridges (NaCl 1M) and equipped with graphite electrodes derived from the used batteries in each compartment. From the results of measurements conducted for 30 days, it can be concluded that the MFC system with the Telkom University fish pond sediment substrate is able to produce electricity with a voltage peak of 0.712 V, a current density of $102.74 \times 10^{-3} \text{ A. m}^{-2}$ and a power density of $73,15 \times 10^{-3} \text{ W. m}^{-2}$ on the 19th day of the study for sediment samples from the fish pond outlets. While in the fish pond sediment that has been added to the waste rice with a ratio of 1: 1, it is able to produce higher electricity with a voltage peak of 0.955 V, current density of $164.38 \times 10^{-3} \text{ A. m}^{-2}$, and power density of $156.99 \times 10^{-3} \text{ W. m}^{-2}$ on the 20th day of the study.

Keywords: Microbial Fuel Cell, fish pond sediment, waste rice.

1. Pendahuluan

Kinerja dari sistem STM sangat dipengaruhi oleh substrat yang berfungsi sebagai sumber nutrisi mikroba dalam melakukan metabolisme. Pada umumnya semua bahan organik dapat dijadikan sebagai substrat STM seperti halnya sedimen, baik sedimen air asin maupun air tawar. Berbagai studi mengenai penggunaan sedimen sebagai substrat STM telah dilakukan sebelumnya seperti pada sedimen laut mampu menghasilkan rapat arus listrik

maksimum sebesar $30 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ [4], sedimen tambak udang mampu menghasilkan rapat arus listrik maksimum sebesar $161,99 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ pada hari ke-24 penelitian [3], dan sedimen hutan bakau mampu menghasilkan rapat arus listrik maksimum sebesar $3235,32 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ [12]. Pada penelitian ini substrat yang digunakan berasal dari sedimen kolam ikan Universitas Telkom. Kawasan Universitas Telkom memiliki kolam ikan yang berlokasi di depan gedung Tokong Nanas. Kolam ikan tersebut diduga memiliki laju sedimentasi yang cukup tinggi di dasar kolam karena secara fisik terlihat dari keruhnya warna air kolam serta bau air kolam yang kurang sedap. Sedimen kolam ikan berpotensi besar untuk dijadikan sebagai substrat STM. Hal ini karena pada sedimen kolam ikan terkandung banyak bahan organik yang terbentuk akibat endapan sisa pakan, feses, dan koloni bakteri di dasar kolam selama berbudidaya. Bahan organik yang terkandung dalam sedimen kolam ikan inilah yang kemudian dioksidasi oleh bakteri pada kompartemen anoda untuk menghasilkan elektron dan proton.

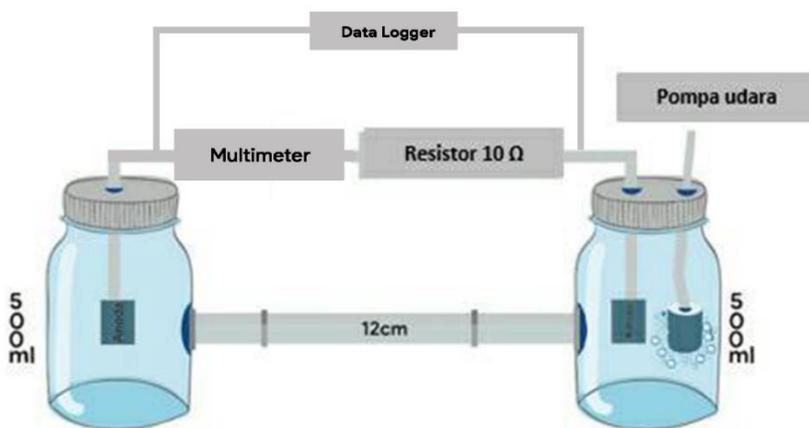
Akan tetapi, pada umumnya listrik yang diproduksi dari satu substrat STM masih cukup terbatas. Sehingga untuk meningkatkan produksi listrik yang dihasilkan perlu dilakukan variasi jenis substrat. Pada penelitian ini dilakukan variasi jenis substrat yaitu penambahan substrat pada sedimen kolam ikan berupa nasi basi. Kandungan karbohidrat yang terkandung pada nasi basi dapat dimanfaatkan sebagai pembentuk glukosa yang dioksidasi oleh bakteri pada kompartemen anoda untuk menghasilkan elektron dan proton yang digunakan untuk memproduksi energi listrik.

Maka dari itu, berdasarkan permasalahan tersebut penulis mengembangkan sebuah penelitian tugas akhir berupa teknologi STM menggunakan kombinasi bakteri anaerob yang berasal dari sedimen kolam ikan Universitas Telkom dan nasi basi sebagai substrat STM dengan metode kompartemen ganda [1] dan menggunakan elektroda grafit dari baterai bekas [6]. Penggunaan substrat sedimen kolam ikan Universitas Telkom dan nasi basi pada sistem STM diharapkan mampu menghasilkan tegangan, rapat arus listrik, *power density*, dan energi listrik yang maksimum.

2. Metode Penelitian

2.1 Tahap Kontruksi Reaktor STM

Proses kontruksi rangkaian STM kompartemen ganda yang mengacu pada penelitian T.Nuzul Akbar (2017) seperti pada Gambar 1. Rangkaian STM terdiri dari kompartemen anoda dan katoda yang dipisahkan oleh jembatan garam [1]. Ruang anoda merupakan ruang yang menampung substrat sedangkan ruang katoda diisi dengan larutan akuades yang dilengkapi dengan *air pump akuarium* sebagai penyuplai oksigen. Ruang katoda dan anoda dirancang dengan menggunakan wadah toples yang dapat menampung volume hingga 500mL.



Gambar 1 Kontruksi Rangkaian STM

2.2 Tahap Preparasi Alat Elektrolisis

• Preparasi Elektroda

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini merupakan elektroda karbon grafit yang berasal dari baterai bekas. Preparasi elektroda grafit menurut Ester Kristin (2012) dimulai dengan mengambil grafit dari baterai bekas. Tahap kedua adalah elektroda direndam dalam larutan HCL 1M selama satu hari dan setelah itu elektroda tersebut dibilas dengan menggunakan larutan akuades. Tahap ketiga yaitu elektroda direndam kembali di dalam larutan NaOH 1M selama satu hari dan kemudian elektroda dibilas dan direndam dalam larutan akuades hingga saat digunakan [6].

- **Preparasi Jembatan Garam**

Proses preparasi jembatan garam mengacu pada penelitian T.Nuzul Akbar (2017). Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan merendam pilinan sumbu kompor berukuran 12 cm kedalam larutan garam. Larutan garam dibuat dengan melarutkan senyawa NaCl 1M ke dalam air yang mendidih selama 15 menit [1].

2.3 Tahap Preparasi Substrat

- **Sedimen Kolam Ikan**

Proses pengambilan sampel sedimen dilakukan ditiga titik yang mewakili kolam ikan Universitas Telkom secara keseluruhan yaitu di bagian saluran tengah kolam, bagian saluran *inlet* kolam, dan bagian saluran *outlet* kolam. Proses pengambilan sedimen diusahakan minimum 1 meter di bawah permukaan air kolam.

- **Nasi Basi**

Nasi basi yang dicampur dengan sedimen kolam ikan Universitas Telkom merupakan nasi yang sudah mengalami pembusukan selama 3 hari. Pada penelitian ini, substrat nasi basi dibuat dengan konsentrasi sebesar 1M.

2.4 Tahap Eksperimen Sistem STM

Pada tahap uji coba sistem STM ini dilakukan variasi jenis substrat yaitu sedimen kolam ikan Universitas Telkom dan sedimen kolam ikan Universitas Telkom yang ditambahkan nasi basi dengan rasio volume 1:1.

Tabel 1 Variasi substrat pada sistem STM

Reaktor	Anoda				Katoda
	S1 (mL)	S2 (mL)	S3 (mL)	S4 (mL)	akuades (mL)
I	400	-	-	-	400
II	-	400	-	-	400
III	-	-	400	-	400
IV	-	-	200	200	400
V	200	-	-	200	400
VI	-	200	-	200	400

Keterangan :

- S1 = Sedimen kolam ikan di saluran *outlet*
- S2 = Sedimen kolam ikan di saluran *inlet*
- S3 = Sedimen kolam ikan di saluran tengah
- S4 = Nasi basi

2.5 Tahap Pengambilan Data Pengukuran Berupa Tegangan (v) dan Kuat Arus (I)

Pengukuran tegangan pada sistem STM dilakukan dengan menggunakan *data logger* sedangkan untuk pengukuran arus listrik pada sistem STM digunakan multimeter digital. Pengambilan data dilakukan setiap dua jam sekali selama 30 hari. Dari nilai tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan pada sistem STM tersebut diperoleh nilai daya listrik, *power density*, dan energi listrik dengan menggunakan persamaan (1), (2), dan (3).

$$P = I.V \tag{1}$$

$$P_d = \frac{P}{A} \tag{2}$$

$$E = \sum P.\Delta t \tag{3}$$

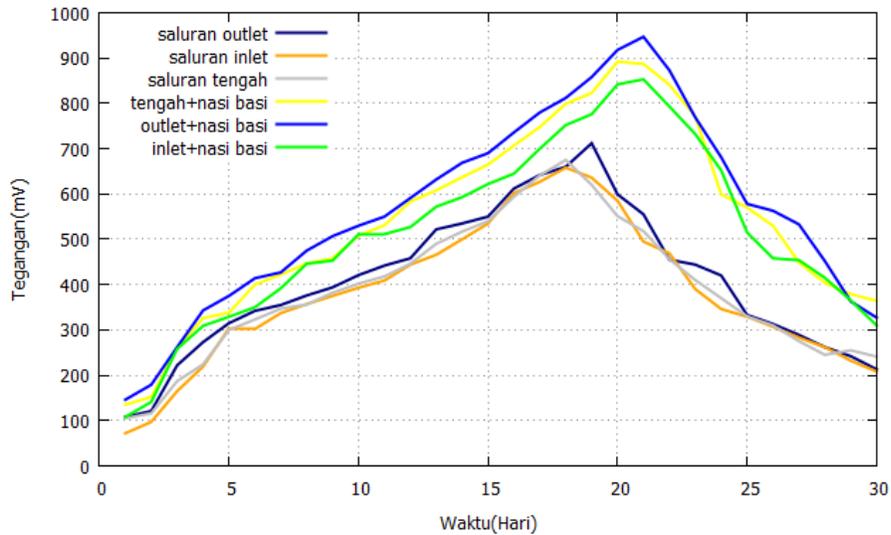
Keterangan:

- P= Daya listrik (watt)
- I = Kuat arus listrik (ampere)
- V= Tegangan (volt)
- Pd = Power density (watt.m⁻²)
- E = Energi listrik (joule)
- Δt = Waktu (sekon)

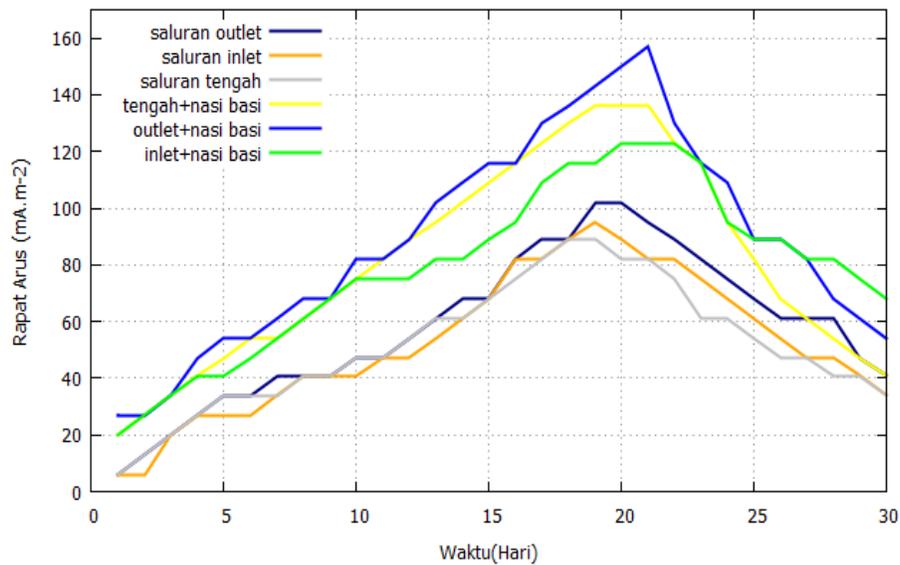
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada Variasi Substrat

Pengukuran tegangan pada sistem STM dilakukan dengan menggunakan *data logger* dan untuk pengukuran arus listrik pada sistem STM menggunakan multimeter digital *Sanwa CD770*. Kutub positif *data logger* dan multimeter dihubungkan pada kompartemen katoda yang berisi larutan akuades sedangkan kutub negatif dari *data logger* dan multimeter dihubungkan dengan kompartemen anoda yang berisi substrat. Pada penelitian ini, sistem STM yang digunakan diberikan beban eksternal berupa resistor 10Ω. Tegangan dan arus diukur setiap dua jam selama 30 hari. Adapun hasil pengukuran tegangan dan rapat arus sistem STM yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



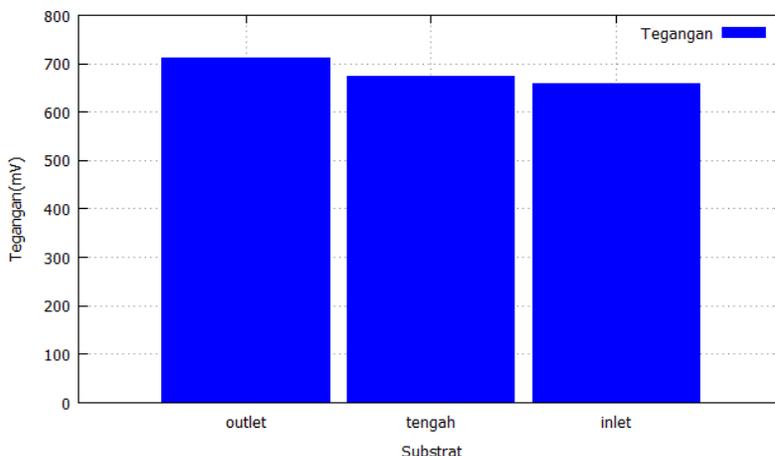
Gambar 2 Pengukuran tegangan STM pada variasi substrat



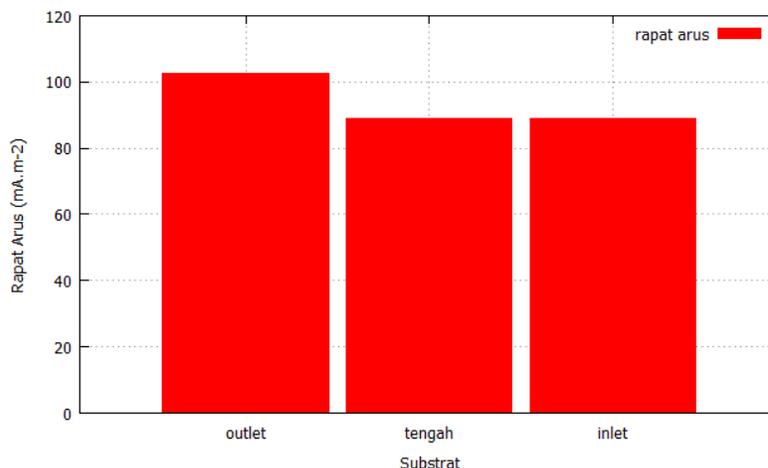
Gambar 3 Pengukuran rapat arus STM pada variasi substrat

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan tegangan dan rapat arus listrik yang dihasilkan dari beberapa variasi substrat. Pada hari pertama pengukuran diperoleh tegangan sebesar 0.108 V dan rapat arus $6.85 \times 10^{-3} \text{ A.m}^{-2}$ (saluran *outlet*), 0.072 V dan $6.85 \times 10^{-3} \text{ A.m}^{-2}$ (saluran *inlet*), 0.105 V dan $6.85 \times 10^{-3} \text{ A.m}^{-2}$ (saluran *tengah*), 0.134 V dan $20.55 \times 10^{-3} \text{ A.m}^{-2}$ (saluran *tengah + nasi basi*), 0.146 V dan $27.40 \times 10^{-3} \text{ A.m}^{-2}$ (saluran *outlet + nasi basi*), 0.107 V dan $20.55 \times 10^{-3} \text{ A.m}^{-2}$ (saluran *inlet + nasi basi*). Kondisi tegangan dan rapat arus listrik yang dihasilkan terus

mengalami kenaikan secara fluktuasi untuk semua variasi substrat. Fluktuasi listrik terjadi karena pada kondisi tersebut fase pertumbuhan mikroba berada pada fase *lag* yaitu fase adaptasi bakteri dengan lingkungan [2]. Dari grafik dapat diketahui bahwa nilai tegangan tertinggi dihasilkan oleh substrat sedimen kolam ikan di saluran *outlet* dengan penambahan nasi basi sebesar 0,955 V dengan rapat arus sebesar $164.38 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ pada hari ke-20 penelitian. Kondisi ini terjadi karena mikroba berada pada fase *log* atau ekponensial yaitu meningkatkannya jumlah mikroba secara eksponensial akibat adanya pembelahan biner pada mikroba hingga menjadi dua sel dan pembelahan terus terjadi pada setiap sel lainnya [2]. Akan tetapi pada hari selanjutnya, tegangan dan rapat arus listrik yang dihasilkan mengalami penurunan akibat tidak adanya nutrisi tambahan didalam substrat sehingga menyebabkan mikroba berada pada fase kematian.

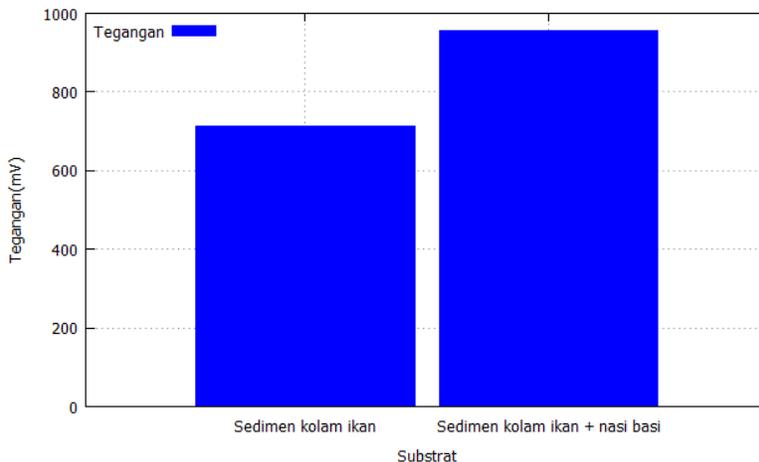


Gambar 4 Perbandingan tegangan sedimen kolam ikan disaluran *outlet*, tengah dan *inlet*

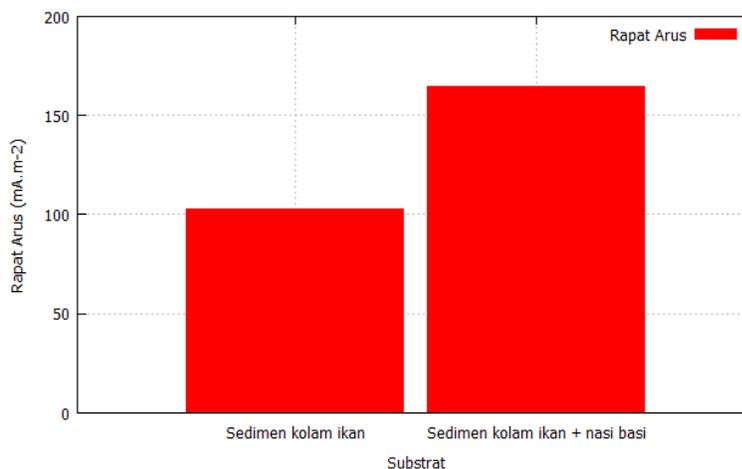


Gambar 5 Perbandingan rapat arus listrik sedimen kolam ikan disaluran *outlet*, tengah dan *inlet*

Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 sedimen kolam ikan di saluran *outlet* mampu menghasilkan tegangan dan rapat arus listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen di saluran *inlet* dan saluran tengah. Saluran *outlet* menghasilkan puncak tegangan dan rapat arus maksimal yaitu sebesar 0.712 V dan $102.74 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$, saluran *inlet* menghasilkan puncak tegangan dan rapat arus maksimal yaitu sebesar 0.659 V dan $89.04 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ dan saluran tengah menghasilkan puncak tegangan dan rapat arus maksimal yaitu sebesar 0.674 V dan $89.04 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$. Hal ini diduga karena di saluran *outlet* terdapat bahan organik yang jumlahnya lebih banyak. Bahan organik yang berasal dari sisa pakan, feses ikan, maupun koloni bakteri dikolam ikan tersebut terbawa aliran air menuju saluran *outlet*. Akibatnya lama kelamaan bahan organik tersebut mengendap didasar kolam membentuk sedimen di sekitar saluran *outlet*.



Gambar 6 Perbandingan tegangan sedimen kolam ikan dan sedimen kolam ikan+nasi basi



Gambar 7 Perbandingan rapat arus pada sedimen kolam ikan dan sedimen kolam ikan+nasi basi

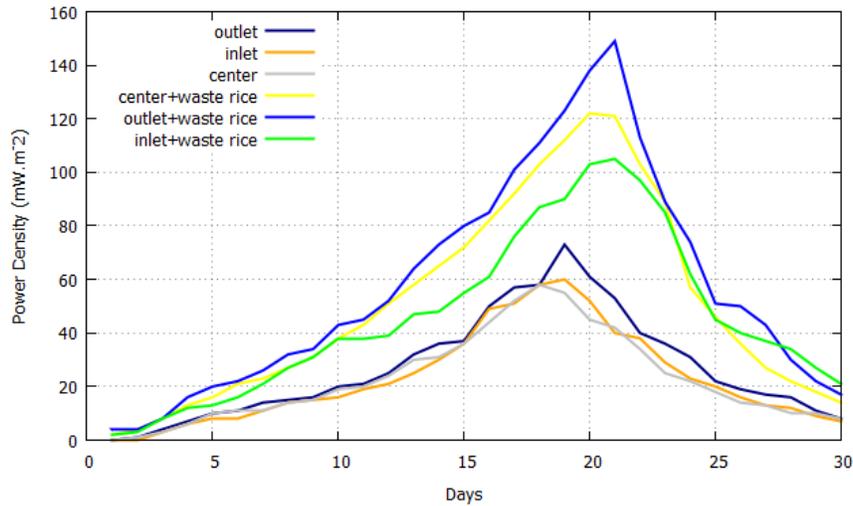
Dari data yang tersaji pada Gambar 6 dan Gambar 7 juga dapat kita ketahui bahwa substrat sedimen kolam ikan yang ditambahkan nasi basi mampu menghasilkan tegangan dan rapat arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan substrat sedimen kolam ikan saja. Dimana untuk substrat sedimen kolam ikan mampu menghasilkan tegangan dan rapat arus maksimal yaitu sebesar 0.712 V dan $102.74 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ pada hari ke-19 penelitian. Sedangkan untuk substrat sedimen kolam ikan yang sudah ditambahkan nasi basi dengan rasio 1:1 (v/v) mampu menghasilkan tegangan dan rapat arus listrik maksimal sebesar 0,955 V dan $164.38 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ pada hari ke-20 penelitian. Adanya perbedaan waktu dalam mencapai puncak tegangan dan rapat arus listrik maksimal terjadi karena pengaruh dari penambahan substrat. Menurut Unung (2012) penambahan substrat dapat memperpanjang kurva pertumbuhan dari mikroba sehingga diperoleh fase *log* yang lebih panjang [7]. Disisi lain, Lambatnya laju kenaikan tegangan dan rapat arus pada sistem STM juga diakibatkan karena mikroba membutuhkan waktu untuk mendegradasi senyawa yang kompleks [8]. Selain itu, tingginya tegangan dan rapat arus listrik yang dihasilkan oleh substrat sedimen kolam ikan yang diberi penambahan nasi basi disebabkan karena kandungan glukosa pada nasi basi dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi tambahan untuk mikroba pada sedimen kolam ikan dalam melakukan metabolisme. Menurut Kim dkk (2000) glukosa merupakan substrat yang dapat digunakan dalam eksperimen MFC karena mudah dioksidasi oleh mikroba sehingga produksi listrik yang dihasilkan dapat meningkat [6]. Dengan adanya tambahan nutrisi maka aktivitas mikroba dalam mengoksidasi molekul *biodegradable* juga semakin meningkat. Bertambahnya jumlah sel mikroba memungkinkan semakin banyaknya elektron dan proton dari proses metabolisme sehingga arus listrik yang dihasilkan juga semakin besar [9].

Penelitian yang telah dilakukan ini terbukti sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh sekelompok mahasiswa Universitas Diponegoro (Undip) yaitu Lutfiana Mifta Syafitri, Yanuar Aji Saputro, Dwi

Hardiani dan Puji Nur Hana. Dalam penelitiannya dapat diketahui bahwa komposisi dari campuran 25% sedimen tambak udang dan 75% tetesan tebu (molase) pada sistem STM mampu menghasilkan tegangan dan *power density* yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan molase dan sedimen tambak secara terpisah [10].

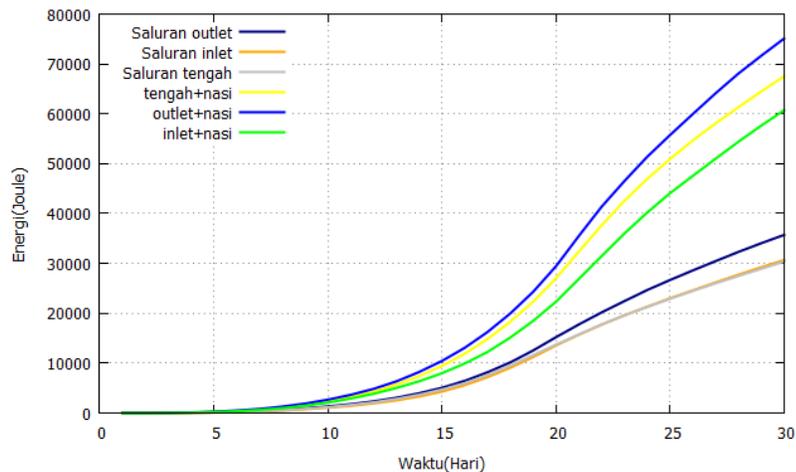
3.2 Hasil Pengukuran *Power Density* dan Energi pada Variasi Substrat

Power density merupakan perbandingan tegangan dan arus listrik perluas permukaan elektroda. Pada penelitian ini, elektroda yang digunakan adalah elektroda grafit berbentuk batang dengan luas permukaan sebesar $1.46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Besarnya *power density* pada sistem STM dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2). Adapun perbandingan *power density* terhadap waktu untuk setiap variasi substrat dapat kita lihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pengukuran *power density* pada variasi substrat

Berdasarkan Gambar 8 dapat diketahui bahwa *power density* yang dihasilkan oleh sistem STM dengan penambahan nasi basi terus mengalami kenaikan dari hari ke-1 hingga mencapai puncak pada hari ke- 20 penelitian, sedangkan *power density* pada sistem STM tanpa penambahan nasi basi mencapai puncak di hari ke-19 penelitian. Hal ini karena pada kondisi tersebut tegangan dan rapat arus listrik yang dihasilkan juga mengalami kenaikan. Kemudian pada hari selanjutnya, *power density* mengalami penurunan akibat dari produksi tegangan dan rapat arus yang semakin kecil. Puncak *power density* tertinggi dihasilkan oleh sistem STM dengan penambahan nasi basi yaitu sebesar $156.99 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$ sedangkan sistem STM tanpa penambahan nasi basi hanya menghasilkan *power density* sebesar $73.15 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$. Sehingga berdasarkan hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa variasi substrat sangat berpengaruh terhadap tegangan, rapat arus listrik dan juga nilai *power density* yang dihasilkan pada sistem STM.



Gambar 9 Pengukuran energi pada variasi substrat

Gambar 9 menunjukkan bahwa selama 30 hari pengukuran, energi yang dihasilkan dari semua variasi jenis substrat semakin meningkat setiap harinya. Untuk mengetahui besarnya nilai energi listrik pada sistem STM dapat digunakan persamaan (3). Total energi yang dihasilkan oleh sistem STM dengan penambahan nasi basi selama 30 hari penelitian yaitu sebesar 78151.179 J. Sedangkan untuk sistem STM tanpa penambahan nasi basi hanya menghasilkan total energi sebesar 37213.590 J. Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem STM sebanding dengan metabolisme mikroba [11]. Sedangkan metabolisme mikroba sebanding dengan jumlah substrat yang ada. Substrat yang tersedia dalam jumlah yang mencukupi mampu menunjang terjadinya peningkatan energi listrik [5]. Maka dari itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini dapat diketahui bahwa untuk meningkatkan produksi listrik dari sistem STM bisa dilakukan dengan penambahan jenis substrat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kinerja Sel Tunam Mikroba (STM) dengan variasi substrat selama 30 hari penelitian dapat disimpulkan bahwa sistem STM dengan substrat sedimen kolam ikan Universitas Telkom mampu memproduksi listrik dengan puncak tegangan sebesar 0.712 V, rapat arus $102.74 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ dan *power density* $73,15 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ pada hari ke-19 penelitian untuk sampel sedimen disalurkan *outlet* kolam. Sedangkan pada substrat sedimen kolam ikan yang sudah ditambahkan nasi basi dengan rasio volume 1:1 mampu memproduksi listrik yang lebih tinggi dengan puncak tegangan sebesar 0.955 V, rapat arus $164.38 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ dan *power density* $156.99 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ pada hari ke-20 penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Akbar, T. Nuzul., 2017, *Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik*, Skripsi, FTE Universitas Telkom, Bandung.
- [2] B. W. Lay dan H. Sugyo, *Mikrobiologi*, Rajawali Press, Jakarta, 1992.
- [3] Firmansyah, Y., 2011, *Degradasi Bahan Organik dan Pemanfaatannya Sebagai Penghasil Energi Listrik Pada Sedimen Tambak Udang Melalui Sediment Microbial Fuel Cell*, Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [4] Holmes DE, Bond DR, O'Neil RA, Reimers CE, Tender LM, Lovley DR. 2004. Microbial community associates with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments. *Microb. Ecol.* 48: 178-190.
- [5] Korneel Rabaey, Geert Lissens, Steven D Siciliano, Willy Verstraete, (2003), A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency, *Biotechnology Letters*, 25 (18), 1531-1535 10.1023/a:1025484009367.
- [6] Kristin, Ester., 2012, *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*, Skripsi, FT UI, Depok.
- [7] Leoanggraini, Unung. (2012). Proses fermentasi fed batch *Lactobacillus acidophilus* untuk produksi probiotik. *Journal of Refrigerator, Air conditioning and Energy*, 6, 678-683.
- [8] M. J. E. C. Van der Maarel, B. Van der Veen, J. C. M. Uitdehaag, H. Leemhuis, L. Dijkhuizen. *Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family*. *J. Biotechnol.* 94 : 137-155. (2002).
- [9] Novitasari, Deni. (2011), Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*, Skripsi, Universitas Indonesia.
- [10] Setiawan HK. (2017, 11 Juni). Molase dan Sedimen Tambak Disulap Jadi Penghasil Listrik [online]. <http://bbl.web.id/molase-dan-sedimen-tambak-disulap-jadi-penghasil-listrik/>
- [11] SeungWon Lee, BoYoung Jeon, DooHyun Park, (2010), Effect of bacterial cell size on electricity generation in a single-compartmented microbial fuel cell, *Biotechnology Letters*, 32 (4), 483-487 10.1007/s10529-009-0184-1.
- [12] Wiryawan, Bagus Ngurah Alit Putra, dkk, 2014, *Analisis Potensi Sedimen Hutan Bakau Sebagai Sumber Energi Listrik Dengan Menggunakan Metode Sediment Microbial Fuel Cell*, FMIPA Universitas Pendidikan Ganesha, Bali.