

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI KONSENTRASI LIMBAH NASI SEBAGAI SUBSTRAT PADA SEL TUNAM MIKROBA TERHADAP PRODUKSI ENERGI LISTRIK

ANALYSIS OF EFFECT OF ADDING VARIATION CONCENTRATION OF WASTE RICE AS AN SUBSTRATE IN MICROBIAL FUEL CELL TO THE ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION

Musrinah¹, Mukhammad Ramdhan Kirom², Ahmad Qurthobi³

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

musrinah@student.telkomuniversity.ac.id¹, mramdankirom@telkomuniversity.ac.id², qurthobi@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Microbial Fuel Cell atau bisa disebut Sel Tunam Mikroba (STM) merupakan salah satu teknologi sel bahan bakar yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme secara langsung untuk mengkonversi dari senyawa biokimia menjadi energi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan limbah nasi dengan variasi konsentrasi 1M, 2M, 3M terhadap kinerja sistem STM. Penelitian ini menggunakan sistem STM bilik ganda dengan setiap biliknya mampu menampung volume 600 mL. Limbah nasi dicampur dengan lumpur sawah digunakan sebagai substrat dan tembaga sebagai elektroda pada bilik anoda, akuades dan elektroda seng pada bilik katoda, serta jembatan garam (KCL 1M) sebagai media transfer proton. Pada sistem STM bilik ganda, elektron hasil fermentasi bakteri dari substrat pada bilik anoda diterima elektroda seng dan ditransfer menuju elektroda tembaga pada bilik katoda, sedangkan proton ditransfer dari bilik anoda menuju bilik katoda melalui jembatan garam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah nasi 3M menghasilkan produksi listrik yang tertinggi dengan kuat arus mencapai 0.23 mA (hari ke-23), tegangan 0.98 V (hari ke-17), kerapatan daya 37,24 mW.m⁻² (hari ke-17), dan energi 360 J (hari ke-30).

Kata kunci: *Microbial Fuel Cell*, Sel Tunam Mikroba (STM), limbah nasi, lumpur sawah

Abstract

Microbial Fuel Cell (MFC) is technologies that utilize the activity of microorganisms directly to convert from biochemical compounds to electrical energy. The purpose of this research is to know the effect of rice waste addition with variation of concentration 1M, 2M, 3M to MFC system performance. This study uses a dual-chambers MFC system with each compartment able to accommodate 600 mL volume. The rice waste mixed with the sludge is used as the substrate and copper as the electrodes in the anode compartment, the aquades and the zinc electrodes in the cathode compartment, as well as the salt bridge (KCL 1M) as proton transfer media. In a dual-chamber MFC system, the electron result of fermentation bacterial from the substrate on the anode compartment are received by the zinc electrode and transferred to the copper electrode in the cathode compartment, while the proton is transferred from the anode compartment to the cathode compartment through the salt bridge. The results showed that the addition of 3M rice waste produced the highest electricity production with strong current reaching 0.23 mA (day 23), voltage 0.98 V (day 17), power density 37.24 mW.m⁻² (day 17), and energi 360 J (day 30).

Keywords: *Microbial Fuel Cell*, rice waste, mud.

1. Pendahuluan

Energi merupakan hal yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup terutama manusia. Kebutuhan energi di Asia Tenggara sudah mencapai 44% atau 12.000 *Ton of Energy* (TOE). Sumber energi yang sering digunakan adalah sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil (BPPT, 2014). Semakin banyak kita mengkonsumsi sumber energi dari bahan bakar fosil, semakin banyak dampak buruk disumbangkan bagi lingkungan kita. Melihat permasalahan tersebut, diperlukan adanya sumber energi alternative yang tentunya dapat memenuhi kebutuhan energi tetapi tidak memberikan dampak buruk bagi lingkungan.

Sel Tunam Mikroba (STM) merupakan salah satu teknologi sel bahan bakar yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme secara langsung untuk mengkonversi dari senyawa biokimia menjadi energi listrik [1]. Dalam proses pembuatan STM perlu diperhatikan beberapa faktor yaitu substrat sebagai molekul organik pembentuk mikroorganisme, membran sebagai media pemisah cairan anoda dan katoda, jenis material untuk elektroda, suplai oksigen untuk proses pembentukan hidrogen pada sistem STM [2]. Mikroorganisme pada STM digunakan untuk mengganti fungsi enzim sehingga didapatkan substrat yang lebih murah. Bahan organik yang dapat digunakan sebagai substrat pada STM diantaranya glukosa, karbohidrat, sukrosa, pati, asam amino, protein, limbah makanan, dan air limbah dari hewan maupun manusia [3]. Menurut Badan Ketahanan Pangan dan Penyuluhan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (2014) kandungan karbohidrat dalam satu gram nasi sekitar 40-80%, kandungan karbohidrat inilah yang akan dimetabolisme bakteri asam laktat menjadi glukosa

[4]. Pada penelitian sebelumnya sudah dilakukan pembuatan STM menggunakan substrat lumpur sawah dengan variasi elektroda [6].

Penelitian tersebut menghasilkan $32,62 \text{ mW.m}^{-2}$ dengan penggunaan Cu/Zn dan Zn/Cu sebagai elektrodanya, tetapi perlu dilakukan penelitian kembali agar dihasilkan produksi listrik yang lebih baik. Penelitian ini merupakan analisis eksperimental terhadap penambahan konsentrasi substrat nasi dari hasil limbah yang dicampur lumpur sawah terhadap kinerja STM. Dengan melakukan variasi konsentrasi substrat limbah nasi agar mendapatkan hasil kinerja STM yang lebih baik [5].

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip kerja STM

STM merupakan salah satu teknologi sel bahan bakar yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme secara langsung untuk mengkonversi dari senyawa biokimia menjadi energi listrik [1]. Komponen pada STM pada umumnya terdiri dari anoda, katoda, dan elektroda. Mikroorganisme pada STM digunakan untuk mengganti fungsi enzim sehingga didapatkan substrat yang lebih murah [3]. Bahan organik yang dapat digunakan sebagai substrat pada STM diantaranya glukosa, karbohidrat, sukrosa, pati, asam amino, protein, limbah makanan, dan air limbah dari hewan maupun manusia [3].

Umumnya bakteri pada sistem STM hidup pada bilik ganda anoda yang dapat mengubah substrat menjadi glukosa, monosakarida, asam asetat, hidrogen, proton dan elektron. Elektron hasil dari metabolisme mikroba pada anoda akan mengalir menuju katoda. Sedangkan unsur hidrogen akan dialirkan melalui jembatan garam pada katoda, penambahan oksigen sebagai aseptor elektron digunakan untuk menghasilkan air pada bilik ganda katoda. Beda potensial antara bilik ganda anoda dan katoda yang secara bersamaan dengan aliran elektron dapat menghasilkan listrik [6].

2.2 Substrat STM

Berbagai macam substrat yang dapat digunakan untuk memproduksi listrik pada STM diantaranya senyawa murni, dan bahan organik yang tercampur didalam limbah seperti glukosa, asetat, air limbah pengolahan makanan, selulosa, dan kitin. Glukosa adalah substrat yang paling umum digunakan pada STM [7]. Faktor yang dapat mempengaruhi kinerja STM diantaranya adalah komponen penyusun STM, seperti membran penukar proton, bilik ganda anoda dan katoda, kecepatan degradasi substrat, kecepatan transfer elektron dari bakteri ke anoda, maupun transfer proton pada larutan [8]. Kinerja STM dapat dipengaruhi oleh substrat yang digunakan dan aktivitas mikroba yang dihasilkan [9].

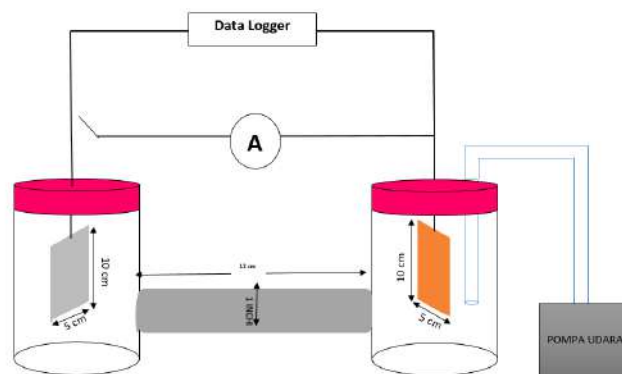
2.3 Jembatan garam

Jembatan garam adalah jembatan yang didalamnya berisi larutan garam pekat, yang memberikan jalan pada ion – ion untuk dapat bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya untuk menjaga larutan agar muatan ionnya tetap netral. Penggunaan jembatan garam untuk menghasilkan produksi listrik pada sistem STM dinilai lebih ekonomis dan praktis daripada membran penukar proton lainnya [10]. Jembatan garam pada sistem STM *dual-chamber* biasanya terbuat dari sumbu kompor yang sudah direndam dalam larutan KCl yang dicampur dalam agar - agar. Jembatan garam umumnya berbentuk horizontal yang dapat menghubungkan dua botol kaca [11].

3. Perancangan

3.1 Desain reaktor STM

Dalam penelitian ini, reaktor STM dirancang menggunakan sistem *dual chamber* yang terdiri dari bilik ganda anoda dan bilik ganda katoda, dengan kapasitas volume masing-masing bilik ganda yaitu 600 mL. Desain STM yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Reaktor STM bilik ganda



Gambar 2 sistem pengukuran STM

3.2 Preparasi penelitian

Sistem STM menggunakan substrat lumpur yang ditambah dengan limbah nasi basi yang divariasikan konsentrasinya. Konsentrasi yang digunakan ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$Mr \text{ glukosa} = (6 \text{ Ar C}) + (12 \text{ Ar H}) + (6 \text{ Ar O}) = 180 \quad (1)$$

$$\text{Molaritas} = \frac{m}{Mr. \text{ glukosa}} \times \frac{1000}{V} \quad (2)$$

Keterangan :

M = Molaritas

m = massa (gram)

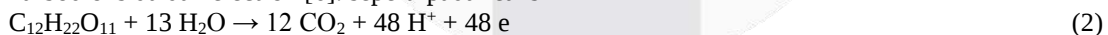
Mr = Massa molar (g.mol^{-1})

V = Volume larutan (mL)

Tabel 1 Variasi konsentrasi limbah nasi basi

Reaktor	Molaritas (M)	Nasi (g)	Lumpur (ml)
1	3	108	400
2	2	72	400
3	1	36	400

Bilik ganda anoda diisi 400 mL substrat lumpur dan digunakan elektroda seng dengan luas permukaan 50 cm^2 dan ketebalan 0,25 mm. Sementara di bilik ganda katoda diisi 400 mL akuades dan diberikan suplai oksigen, di bilik ganda ini menggunakan elektroda tembaga dengan luas permukaan yang sama dengan elektroda di anoda yaitu 50 cm^2 dan ketebalan 0,25 mm. Substrat pada bilik ganda anoda mengandung mikroorganisme yang memetabolisme substrat pada kondisi anaerob yang mampu memecah glukosa menjadi karbondioksida dan electron [6]. seperti pada reaksi 2



Sedangkan pada bilik ganda katoda berisi akuades dan diberi suplai oksigen dari pompa udara akuarium dengan keluaran 4000 ml/menit. Disini elektron, proton akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan H_2O seperti pada reaksi 3



Lumpur sawah mempunyai kultur bakteri *Lactobacillus bulgaricus*, bakteri ini membutuhkan glukosa sebagai sumber karbon. Oleh karena itu, dilakukan penambahan limbah nasi basi pada bilik ganda anoda. Pada kondisi anaerob bakteri akan mengkonsumsi glukosa dan dihasilkan karbondioksida, proton dan elektron [7].

Kedua bilik ganda ini dipisahkan oleh jembatan garam yang dibuat dari sumbu kompor dengan panjang 12 cm yang telah direndam dalam KCL 1 M. Jembatan garam dimasukkan ke dalam pipa pvc (1 inci). Jembatan garam digunakan untuk menjaga cairan pada setiap bilik ganda tetap terpisah dan menjadi tempat mengalirnya ion – ion yang dihasilkan dari bilik ganda anoda menuju bilik ganda katoda.

3.3 Pengukuran STM

Tegangan diukur menggunakan *Data logger*, sedangkan kuat arus diukur menggunakan multimeter. Pengukuran dilakukan setiap 2 jam dalam 30 hari pada setiap reaktor STM. Data hasil pengukuran ini akan diolah untuk mendapatkan nilai daya, kerapatan daya, dan energi listrik. Besarnya nilai tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P = I \times V \quad (4)$$

$$P_d = \frac{P}{A} \quad (5)$$

$$E = \sum P \cdot \Delta t \quad (6)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

P_d = Kerapatan daya ($W \cdot m^{-2}$)

A = Luas permukaan anoda (m^2)

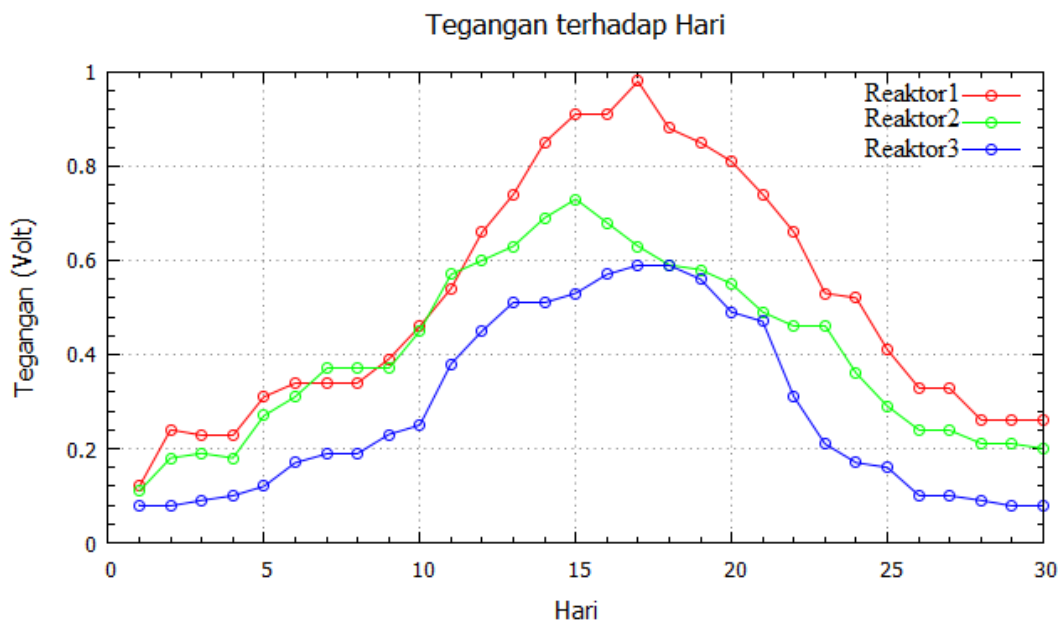
E = Energi listrik (Joule)

Δt = Waktu (detik)

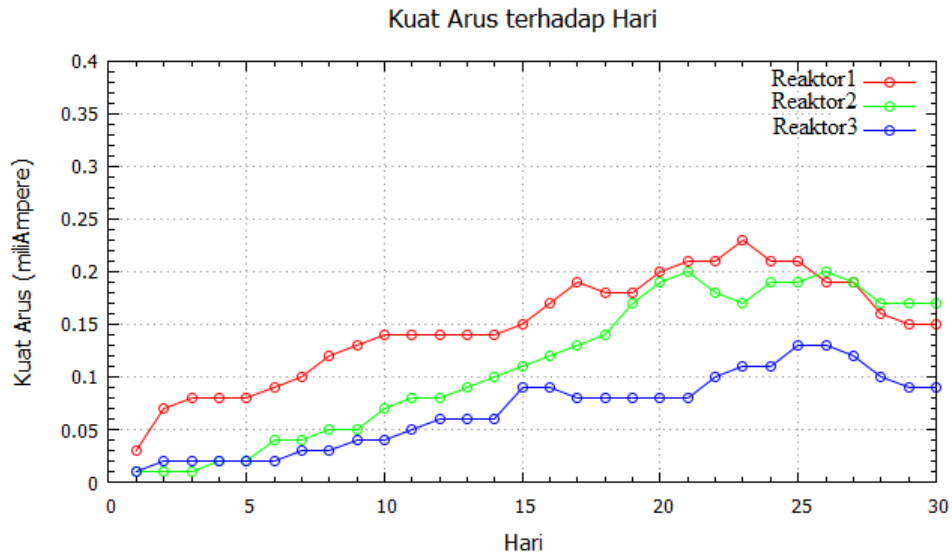
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Tegangan dan Kuat arus

Tegangan diukur menggunakan *Data logger* yang dihubungkan pada kedua elektroda. Dimana anoda STM dihubungkan pada ground dan katoda dihubungkan pada analog read *data logger*. Sedangkan kuat arus diukur menggunakan multimeter dengan kutub negatif dihubungkan dengan anoda dan kutub positif dihubungkan dengan katoda pada STM. Terdapat tiga reaktor yang divariasi konsentrasinya yaitu, reaktor satu 108 gram limbah nasi, reaktor dua 72 gram limbah nasi, dan reaktor tiga 36 gram limbah nasi. Pengukuran ini dilakukan yaitu setiap 2 jam dalam 30 hari pada setiap reaktor STM. Data hasil pengukuran tegangan dan kuat arus dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4



Gambar 3 Grafik tegangan pada sisem STM

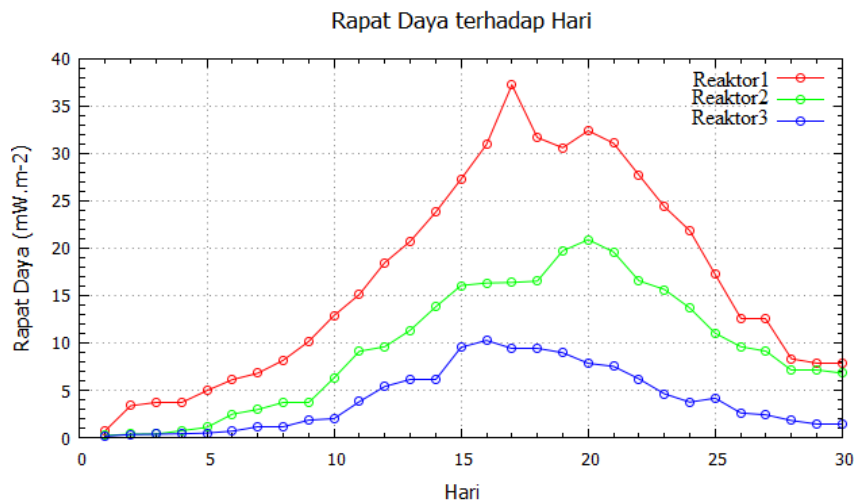


Gambar 4 Grafik kuat arus pada sisem STM

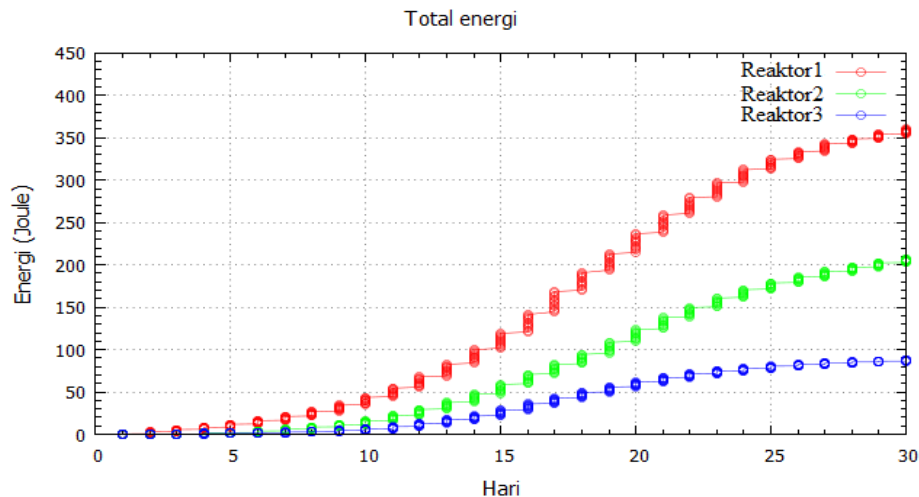
Gambar 3 dan Gambar 4 menampilkan nilai tegangan dan kuat arus maksimum setiap reaktor yaitu 0.98 volt pada hari ke-17 dan 0.23 miliampere pada hari ke-23 di Reaktor1, 0.73 volt pada hari ke-15 dan 0.20 miliampere pada hari ke-21 di Reaktor2, kemudian 0.59 volt pada hari ke-17 dan 0.13 miliampere pada hari ke-25 di Reaktor3. Reaktor1 menghasilkan nilai tegangan dan kuat arus yang paling tertinggi dari reaktor yang lainnya. Hal ini dikarenakan penambahan limbah nasi pada Reaktor1 lebih banyak dibanding dengan reaktor lainnya yaitu sebanyak 108 gram. Penambahan limbah nasi ini digunakan untuk menambahkan glukosa pada substrat yang berfungsi sebagai asupan makanan untuk bakteri sehingga proses metabolisme sel lebih tinggi [6]. Tegangan dan kuat arus disetiap reaktor mengalami kenaikan diawal pengukuran dan penurunan pada 15 hari terakhir. Kenaikan ini diakibatkan karena mikroba dalam tahap adaptasi dengan lingkungan dan banyaknya asupan makanan yang dapat meningkatkan pertumbuhan sel pada bakteri. Sedangkan penurunan yang terjadi karena habisnya asupan makanan untuk bakteri sehingga tidak adanya senyawa organik untuk dioksidasi kembali, dan cukup kentalnya substrat di anoda sehingga sulitnya mentransfer molekul menuju elektroda yang menyebabkan meningkatnya hambatan internal pada sistem STM. Hal ini sesuai dengan pernyataan Logan, bahwa produksi listrik pada STM akan mengalami penurunan apabila tidak ada lagi senyawa organik yang tersisa untuk dioksidasi [8]. Penelitian ini membuktikan pernyataan Nurhakim (2016) bahwa penambahan glukosa menjadi tambahan nutrisi untuk mikroba dalam mengoksidasi molekul *biodegradable* yang dapat meningkatkan produksi listrik pada sistem STM [9].

4.2 Kerapatan Daya dan Energi

Nilai kerapatan daya berbanding lurus dengan tegangan dan kuat arus per luas permukaan elektroda seperti pada persamaan 5. Pada penelitian ini menggunakan elektroda Zn/Cu dengan luas permukaan 50 cm^2 . Kerapatan daya menunjukkan kinerja anoda yang dapat mengalirkan electron menuju katoda [10]. Data hasil pengukuran kerapatan daya dan energi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik rapat daya sistem STM



Gambar 6 Grafik energi sistem STM

Gambar 5 menunjukkan nilai kerapatan daya tertinggi dari Reaktor1, Reaktor2, dan Reaktor3 adalah 37.24 mW.m^{-2} pada hari ke-17, 20.9 mW.m^{-2} pada hari ke-20, 10.62 mW.m^{-2} pada hari ke-16. Nilai energi pada sistem STM ini ditentukan oleh besarnya nilai daya listrik terhadap waktu yang dihasilkan setiap reaktor seperti pada persamaan 6. Pada gambar 6 dapat terlihat nilai energi terbesar pada setiap reaktor yaitu Reaktor1, Reaktor2, Reaktor3 yaitu 360 Joule, 207,33 Joule, dan 87,38 Joule pada hari ke-30. Nilai Kerapatan daya dan energi pada sistem STM yang ditambahkan limbah nasi basi lebih besar dibanding penelitian yang dilakukan Akbar (2017), hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan nasi basi berfungsi sebagai tambahan makanan untuk metabolisme bakteri yang dapat meningkatkan produksi listrik pada sistem STM.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kinerja *Microbial Fuel Cell* (STM) yang ditambahkan limbah nasi basi dengan konsentrasi 3M menghasilkan produksi listrik tertinggi dengan tegangan 0,98 V, kuat arus 0,23 mA, kerapatan daya $37,24 \text{ mW.m}^{-2}$, dan energi 360 J dibandingkan perlakuan lainnya. Dari hasil tersebut diketahui bahwa dengan adanya penambahan nasi yang cukup banyak dapat menjadi tambahan nutrisi bagi bakteri pengurai. Dalam waktu operasi 30 hari, terjadi kenaikan dan penurunan produksi listrik yang dihasilkan. Tegangan maksimum diperoleh dalam rentang waktu 12 – 18 hari pada setiap reaktor, sedangkan kuat arus maksimum diperoleh dari 20 – 25 hari.

6. Saran

Sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan produksi listrik dan performa dari sistem STM ini diantaranya dengan melakukan pengujian terhadap mikroorganisme yang ada dalam limbah, pengujian hambatan internal, pengujian terhadap pengaruh temperature, dan perlu dilakukan penambahan fungsi ukur *data logger* agar dapat mengukur kuat arus untuk selang waktu yang cukup lama pada sistem STM ini.

Daftar pustaka

- [1] Shipway. A., Willner. I., E. Katz, (2003), "Biochemical Fuel Cell," *In Handbook of Fuel Cells-Fundamental, Technology and Applications*, vol. I.
- [2] Bhat, P, Ashoka, H.R.S. (2012) "Comparative Studies On Electrodes For The Construction Of Microbial Fuel Cell," *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, no. 3, pp. 785-789.
- [3] Halimi S, Latifah. S, Idham, F. (2009) "Alternatif Baru Sumber Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Microbial Fuel Cell," *Teknologi Hasil Perairan Institut Pertanian Bogor*, pp. 11-14.
- [4] Timotius, K. H. (2017), "Pengolahan Air Limbah dan Produksi Listrik secara Stimultan oleh Microbial Fuel Cell," *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, vol. VI, no. 2, pp. 113-114.
- [5] Nuzul, A. (2017). Analisis Pengaruh Material Logam sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell terhadap Produksi Energi Listrik.
- [6] Anand P. (2015), "Impact of Salt Bridge on Electricity Generation from Hostel Sewage Sludge using Double Chamber Microbial Fuel Cell," *Journal of Engineering and Technology*, no. ISSN:2319-9873, pp. 13-15.
- [7] Deepak. P., dkk. (2000), "Effect of initial carbon source on the performance of microbial fuel cells containing *Proteus vulgaris*," *Biotechnol*, vol. 70, pp. 109-114.
- [8] Liu. J., Zhang S. Z. Liu, S. Z. (2009), "Study of operational performance and electrical response on mediator-less microbial fuel cells fed with carbon- and protein-rich substrates," *Biochem*, no. 45, pp. 185-191.
- [9] Chadhuri SK, L. D. (2003), "Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cell.," *J. Nat. Biotechnol*, no. 21, pp. 1229-1232.
- [10] Harahap, M. R. (2016), "Karakteristik dan Aplikasi Sel Elektrokimia," *ISSN 2460-5476*, vol. II, no. 1, pp. 177-179.
- [11] Nyoman, S. dkk, (2011), "Memanfaatkan Air Bilasan Bagas untuk Menghasilkan Listrik dengan Teknologi Microbial Fuel Cells. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*," vol. 5, no. 1, pp. 57-63.
- [12] Deni, N. (2011), "Optimasi Kinerja Mikrobial Fuel Cell (STM) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*," *Fakultas Teknik Universitas Indonesia Teknik Kimia, Depok.*
- [13] Barua,. P. (2010). "Electricity Generation from Biowaste Based Microbial Fuel Cell. *International Journal of Energy, Information, and Communications*", I.
- [14] Logan, B. E. (2008) *Microbial Fuel Cell*, University Park, PA: The Pennsylvania State University.
- [15] Nurhakim, M. A. (2016), "Penggunaan Substrat Glukosa Berbagai Konsentrasisebagai Sumber Karbon Microbial Fuel Cell *Saccharomyces serevisiae* untuk Menghasilkan Energi Listrik," vol. II, no. ISSN: 1410-8801, pp. 131-136.
- [16] Dani, P. dkk, (2013), "Evaluasi Penggunaan Metilen Biru Sebagai Mediator Elektron," *Molekul*, vol. 8, no. 1, pp. 78-88.
- [17] B. E. Saleh and M. C. Teich,. (1991), *Fundamentals of Photonics*, New York: John Wiley dan Sons, Inc.,
- [18] L. Salhi and A. Cherif , (2013). "Robustness of Auditory Teager Energy Cepstrum Coefficients for Classification of Pathological and Normal Voices in Noisy Environments," *The Scientific World Journal*.

