

ANALISIS PRODUKSI ENERGI LISTRIK SISTEM SEL TUNAM MIKROBA (STM) MENGUNAKAN LUMPUR SAWAH DAN LIMBAH TEBU

ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION ANALYSIS OF MICROBIAL FUEL CELL (MFC) USING MUD FARMLAND AND SUGARCANE WASTE

Muhammad Farhan Nur Islam¹, M. Ramdhan Kirom², Ahmad Qurthobi³

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

¹farhannurislam@student.telkomuniversity.ac.id, ²mramdhanikirom@telkomuniversity.ac.id,

³qurthobi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sel Tunam Mikroba (STM) adalah salah satu energi terbarukan yang merupakan sistem bio-elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan metabolisme bakteri dari berbagai substrat organik sebagai katalis untuk mengoksidasi zat organik dan anorganik sehingga dapat menghasilkan arus listrik. Penelitian bertujuan untuk menyelidiki kaitan pengaruh dari variasi substrat lumpur sawah dan limbah tebu terhadap besarnya potensi energi listrik yang dihasilkan. Reaktor STM yaitu *dual-chambers* dengan ukuran kompartemen 5×10×10 cm. Elektroda yang digunakan tembaga sebagai katoda, dan seng sebagai anoda. Elektron yang dihasilkan oleh bakteri pada substrat di kompartemen anoda ditransfer ke elektroda anoda, sedangkan proton ditransfer ke kompartemen katoda melewati jembatan garam. Pada kompartemen katoda terisi aquades, dan jembatan garam (NaCl 1 M) sebagai media transfer proton. Hasil penelitian menunjukkan perolehan tegangan dan kuat arus listrik pada keempat variasi substrat tidak berbeda secara signifikan kecuali dengan menggunakan tetes tebu. Sedangkan rata-rata kerapatan daya yang dihasilkan yaitu dengan menggunakan ampas tebu 8.97 mW/m², tetes tebu 57.41 mW/m², abu ampas tebu 6.27 mW/m², dan blotong 14.33 mW/m². Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa produksi listrik tertinggi dihasilkan oleh kombinasi substrat lumpur sawah dan tetes tebu.

Kata kunci : Sel Tunam Mikroba, limbah tebu, substrat

Abstract

Microbial Fuel Cell (MFC) is one of renewable energy which is bio-electrochemical system which can generate electrical energy by utilizing the metabolism of bacteria from various organic substrate as a catalyst to oxidize organic and inorganic substances to produces electric current. The study aimed to investigate the relationship of the effects of variations in mud farmland and sugarcane waste on the magnitude of the potential electrical energy produced. MFC reactor is dual-chambers with compartment size 5×10×10 cm. Electrodes are used copper as cathode, and zinc as anode. The electrons produced by bacteria on the substrate in the anode compartment are transferred to the anode electrode, while the protons are transferred to the cathode compartment across the salt bridge. The cathode compartment is filled with aquades, and a salt bridge (NaCl 1 M) as a proton transfer medium. The acquisition of electric current and voltage on the four substrate variations are not different significantly, except using molasses. While the average of power density produced is by using bagasse 8.97 mW/m², molasses 57.41 mW/m², bagasse ash 6.27 mW/m², and filter mud 14.33 mW/m². Based on the result of this research, it can be concluded that the highest production of electric is produced by the combination of mud farmland and molasses.

Keywords : Sel Tunam Mikroba, sugarcane waste, substrate

1. Pendahuluan

Konsumsi energi di Indonesia selama tahun 2000-2014 masih didominasi oleh jenis energi bahan bakar minyak (BBM) yaitu diantaranya bensin, minyak solar, minyak diesel, minyak tanah, minyak bakar, avtur, dan avgas. Indonesia mempunyai potensi sumber daya energi fosil yaitu minyak bumi, gas bumi dan batubara. Tetapi berdasarkan rasio R/P (*Reserve/Production*) tahun 2014, minyak bumi akan habis dalam 12 tahun, gas bumi 37

tahun dan batubara 70 tahun. Cadangan tersebut akan cepat habis karena terus meningkatnya produksi energi fosil [1]. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi alternatif yaitu salah satunya adalah Sel Tunam Mikroba (STM).

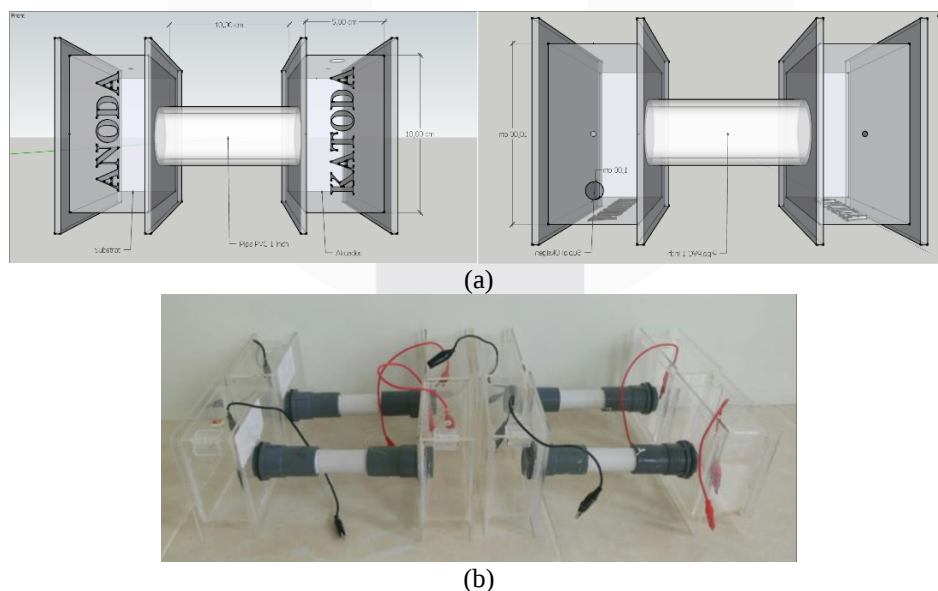
STM adalah salah satu energi alternatif yang dapat menggantikan energi bahan bakar minyak. STM merupakan sistem bio-elektromia yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan metabolisme bakteri dari berbagai substrat organik untuk produksi *bioelectricity* [2]. Lumpur sawah adalah salah satu media yang dapat dimanfaatkan sebagai substrat di anoda dalam STM karena mengandung senyawa organik dan sumber bakteri. Selain dari substrat, material organik yang dapat digunakan dalam kebutuhan STM adalah limbah tebu, seperti pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh I Nyoman Suprpta, dan kawan-kawan pada April 2011, yang berjudul Memanfaatkan Air Bilasan Bagas Untuk Menghasilkan Listrik Dengan Teknologi *Microbial Fuel Cell*. Dalam penelitiannya menggunakan salah satu limbah tebu yaitu air bilasan ampas tebu (*bagasse*) sebagai material organik dalam sistem STM, dan menghasilkan *power density* sebesar 550 mW/m^2 [4]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Luthfiana Mifta Syafitri dan kawan-kawan pada tahun 2017, yang berjudul Produksi Bioelektrik Dari Sedimen Tambak Dan Molase Berbasis Teknologi *Microbial Fuel Cell*. Dalam penelitiannya juga menggunakan salah satu limbah tebu yaitu tetes tebu (*molasses*) sebagai material organik dan menggunakan sedimen tambak sebagai substrat, dari penelitiannya menghasilkan nilai rata-rata densitas daya sebesar 813.191 mW/m^2 dengan perbandingan antara sedimen dan molase yaitu 1:3 (v/v) [5]. Dari limbah tebu kemungkinan masih mengandung karbohidrat, gula (glukosa) dan lemak. Dengan adanya kandungan nutrisi tersebut maka limbah tebu sangat berpotensi digunakan sebagai sumber makanan bakteri pada STM [4]. Berdasarkan Rabaey, penggunaan glukosa sebagai sumber karbon juga dapat meningkatkan elektrisitas hingga 89% [6].

Pada penelitian tugas akhir ini yang ingin dilakukan yaitu penyelidikan eksperimental yang berkaitan dengan pemilihan substrat terhadap produksi energi listrik dari STM *dual-chambers*. Sistem STM *dual-chamber* termasuk sistem STM yang sering digunakan untuk menguji pengaruh dari kondisi operasi yang divariasikan [7]. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis pengaruh variasi penggunaan lumpur sawah dan limbah tebu sebagai substrat dengan menggunakan material logam seng dan tembaga sebagai elektroda dan jembatan garam sebagai media transfer proton terhadap produksi listrik yang dihasilkan.

2. Material dan Metodologi

2.1. Kontruksi Reaktor Sel Tunam Mikroba (STM)

Desain reaktor STM pada penelitian ini seperti sel elektrokimia dengan sistem *dual-chamber* yang artinya mempunyai 2 kompartemen yang terpisah yaitu kompartemen anoda dan kompartemen katoda, dengan masing-masing kompartemen berukuran $5 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ yang mampu menampung volume yang sama yaitu 500 mL. Kedua kompartemen dipisahkan dengan sebuah jembatan garam sepanjang 15 cm yang memiliki diameter 1.5 inci. Desain reaktor STM dapat dilihat Gambar 1.



Gambar 1. (a) Skematik reaktor STM, (b) Reaktor yang digunakan pada penelitian ini.

2.2. Jembatan Garam

Dalam penelitian ini jembatan garam dibuat dengan menggunakan sumbu kompor kemudian dipilin agar lebih tebal kemudian dipotong sepanjang 15 cm, setelah itu direndam ke dalam larutan garam yang dibuat dengan

memanaskan campuran air dan senyawa NaCl. Setelah larutan garam sudah terserap oleh sumbu kompor, kemudian dijemur dan dimasukkan ke dalam pipa PVC agar mencegah terjadinya kebocoran, dengan ujung dari pipa PVC dibiarkan terbuka untuk penghubung antar dua kompartemen. Larutan NaCl yang digunakan yaitu dengan konsentrasi 1 M. Molaritas didefinisikan oleh persamaan 1.

$$M = \text{molaritas} = \frac{\text{mol zat terlarut (mol)}}{\text{volume larutan (L)}} \quad (1)$$

$$n = \text{jumlah mol} = \frac{\text{massa (gr)}}{\text{massa molar } \left(\frac{\text{gr}}{\text{mol}}\right)} \quad (2)$$

2.3. Elektroda

Material anoda yang digunakan pada STM yang baik dan efisien harus bersifat konduktif, *biocompatible* (sesuai dengan makhluk hidup), dan stabil secara kimiawi terhadap korosi dalam larutan bioreaktor [15]. Logam seperti seng dapat dimanfaatkan sebagai anoda karena sifatnya yang non-korosif, sedangkan tembaga tidak dapat digunakan sebagai anoda karena memiliki toksisitas ion tembaga terhadap bakteri.

Material yang digunakan sebagai katoda dapat berupa karbon seperti lempeng atau batang grafit dan bisa dilengkapi dengan katalis seperti platina, tetapi yang menjadi masalah adalah biaya dari material ini tinggi dan ketersediaan logam mulia, oleh karena itu perlu diganti dengan bahan material seperti tembaga.

Dalam penelitian ini elektroda yang digunakan yaitu seng dan tembaga. Di kompartemen anoda, elektroda yang digunakan yaitu logam seng. Sedangkan di kompartemen katoda, elektroda yang digunakan yaitu logam tembaga. Kedua elektroda yang digunakan berbentuk pelat dengan panjang 5 cm dan lebar 2 cm. Sedangkan tebal untuk seng yaitu 0,5 mm dan tembaga 1 mm. Elektroda dipreparasi sebelum pemakaian dengan cara diampelas permukaannya untuk membersihkan dari pengotor (*fouling*) maupun biofilm yang terbentuk.

2.4. Limbah Tebu

Dalam penelitian ini limbah tebu digunakan sebagai campuran substrat dari lumpur sawah, limbah tebu yang digunakan yaitu ampas tebu (*bagasse*), tetes tebu (*molasses*), abu ampas tebu, dan blotong.



Gambar 2. (a) Tetes tebu, (b) Ampas Tebu, (c) Blotong, dan (d) Abu ampas Tebu.

Tetes tebu atau *molasses* merupakan produk samping dari pabrik gula. Tetes diperoleh dari hasil pemisahan sirup *low grade* terhadap gulanya melalui kristalisasi berulang kali sehingga tidak mungkin lagi menghasilkan gula. Ampas tebu atau *bagasse* merupakan produk samping yang dihasilkan ketika proses pengolahan produksi gula dari tebu, ampas tebu merupakan residu dari proses penggilingan tebu setelah diekstrak atau dikeluarkan niranya. Blotong merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pabrik gula yang berasal dari stasiun pemurnian, seperti tanah berpasir hitam dan memiliki bau yang tidak sedap ketika basah. Abu ampas tebu adalah hasil perubahan secara kimiawi pembakaran ampas tebu sebagai bahan bakar untuk boiler pada pabrik gula.

2.5. Eksperimen STM

Eksperimen dilakukan sebanyak 4 kali, setiap eksperimen menggunakan satu substrat dan satu material organik yang dikombinasikan. Sebelum pemakaian, reaktor STM terlebih dahulu disterilkan menggunakan alkohol

70% dan pada jembatan garam, elektroda, substrat yang digunakan dalam sistem akan selalu diganti dengan yang baru untuk setiap eksperimen.

Tabel 1. Kombinasi substrat dan material organik dalam sistem STM

No.	Substrat	Material Organik	Anoda	Katoda
1.	Lumpur sawah	Ampas tebu (bagasse)	Zn	Cu
2.		Tetes tebu (molasses)		
3.		Abu ampas tebu		
4.		Blotong		

Kompartemen anoda diisi dengan 400 mL substrat lumpur sawah yang mengandung molekul *biodegradable* dan mikroorganisme, dan ditambah material organik sebagai variasi dalam eksperimen ini, yang berupa ampas tebu, tetes tebu, abu ampas tebu dan blotong, dengan perbandingan antara substrat dan material organik yaitu 1:1 (v/v). Pada kompartemen anoda, terjadi proses transfer elektron dari mikroba ke elektroda, elektron yang dihasilkan dari mikroba tentunya dari hasil metabolisme.

2.6. Daya, Kerapatan Daya dan Energi

Tegangan listrik yang dihasilkan sistem diukur dengan menggunakan data logger dari Arduino Mega 2560 yang prinsipnya yaitu membaca data analog input Arduino dengan range 0-5 Vdc. Sedangkan, untuk kuat arus listrik yang dihasilkan sistem diukur dengan manual menggunakan multimeter. Pengambilan data tegangan dan kuat arus listrik dilakukan setiap 2 jam selama 30 hari. Data ini nantinya juga akan diolah untuk mendapatkan nilai daya listrik, kerapatan daya, dan energi listrik. Besarnya nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [15] :

$$P = \frac{V^2}{R_L} \text{ atau } P = I^2 R_L \quad (3)$$

$$R_L = \frac{V}{I} \quad (4)$$

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

$$E = \Sigma P \times t \quad (6)$$

Keterangan :

P : Daya listrik (watt)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

P_d : Kerapatan daya (watt/m²)

A : Luas permukaan (m²)

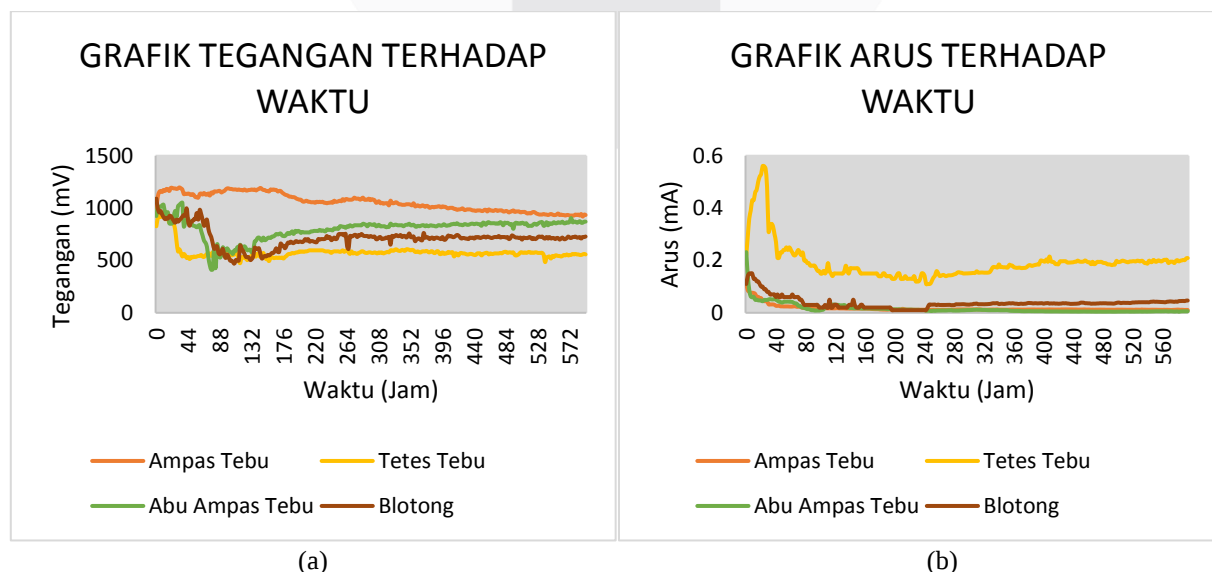
E : Energi listrik (Wh)

t : Waktu (jam)

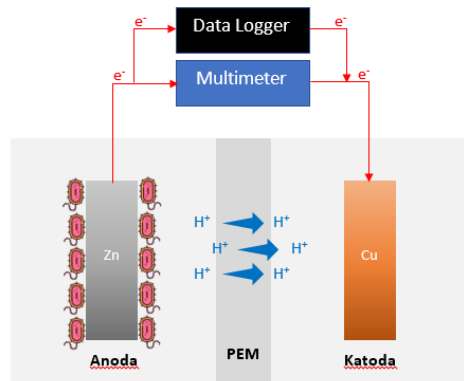
R_L : Hambatan dalam (ohm)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tegangan dan Kuat Arus



Gambar 3. (a) Grafik tegangan terhadap waktu, (b) Grafik arus terhadap waktu



Gambar 4. Skema pengukuran tegangan dan arus

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sistem STM diukur menggunakan *Data Logger* dengan pin analog input Arduino dihubungkan ke katoda dan *ground* Arduino dihubungkan ke anoda. Sedangkan, kuat arus listrik yang dihasilkan oleh sistem STM diukur menggunakan *Digital Multimeter* Dekko DM-148C dengan kutub positif pada multimeter dihubungkan ke katoda dan kutub negatif multimeter ke anoda seperti pada Gambar 4. Kuat arus dan tegangan yang terukur dihasilkan akibat adanya perbedaan potensial redoks pada anoda dan katoda, pergerakan ion-ion dalam sistem, serta reaksi kimia yang terjadi pada kompartemen anoda dan katoda. Tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan sistem STM pada variasi substrat tersaji dalam Gambar 3.

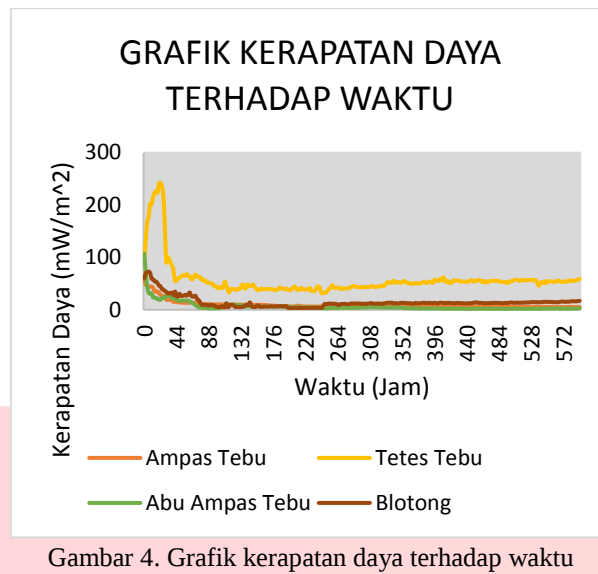
Pada Gambar 3, diperlihatkan hasil pengukuran tegangan dan kuat arus listrik dari sistem STM selama 594 jam atau sama dengan 24 hari lebih 18 jam, pengambilan data dilakukan pada tanggal 26 juni 2018 jam 18.00 sampai tanggal 21 juli 2018 jam 12.00. Pengukuran pada sistem STM ini tidak menggunakan hambatan atau beban listrik eksternal seperti resistor, tetapi yang menjadi beban pada pengukuran adalah beban pada multimeter seperti pada Gambar 4.

Dari data yang didapatkan, dapat dilihat dari Gambar 3 (a), tegangan listrik yang diperoleh dari sistem STM dari variasi substrat menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Pada pengukuran awal tegangan yang dihasilkan sebesar ± 1.1 V, hal itu dapat dipengaruhi karena potensial sel standar dari elektroda yang digunakan yaitu berupa tembaga dan seng. Secara keseluruhan, dilihat dari data tegangan yang dihasilkan mengalami penurunan atau kenaikan dari pengukuran pertama kali selama ± 6 hari kemudian setelah itu nilai tegangan yang dihasilkan konstan. Hal ini dapat terjadi karena kandungan senyawa organik berkurang akibat proses degradasi oleh mikroba, maka produksi listrik akan mengalami penurunan apabila tidak ada senyawa organik yang tersisa untuk dioksidasi [12]. Rata-rata tertinggi tegangan yang dihasilkan oleh sistem STM selama 594 jam yaitu pada substrat ampas tebu sekitar 1056.34 mV kemudian diikuti substrat abu ampas tebu 803.54 mV, blotong 713.58 mV, dan tetes tebu 580.31 mV.

Kemudian untuk kuat arus listrik yang dihasilkan dari sistem STM dapat dilihat dari Gambar 3 (b), kuat arus listrik yang diperoleh dari sistem STM dari variasi substrat tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara penggunaan material organik ampas tebu, abu ampas tebu dan blotong, kecuali dengan penggunaan tetes tebu, rata-rata arus yang dihasilkan penggunaan tetes tebu jauh lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan ampas tebu, abu ampas tebu dan blotong. Rata-rata kuat arus yang dihasilkan dari masing-masing variasi substrat yaitu dengan penggunaan ampas tebu mencapai 0.0165 mA, tetes tebu 0.1911 mA, abu ampas tebu 0.0153 mA dan blotong 0.0378 mA.

Hambatan internal pada sistem STM sangat berpengaruh terhadap produksi energi listrik. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kenaikan nilai hambatan internal yaitu adanya lapisan sel bakteri yang terbentuk pada permukaan anoda sehingga menutupi luas permukaan anoda aktif, hal itu akan menyebabkan menghambatnya proses transfer elektron menuju katoda dan menyebabkan penurunan nilai kerapatan daya [31]. Selain itu, penyebab dari rendahnya produksi energi listrik yang dihasilkan sistem STM karena kandungan nitrat didalam substrat lumpur sawah dapat menjadi akseptor elektron sebagai akibat dari proses denitrifikasi, yang umumnya terjadi pada sawah yang tergenang, bakteri denitrifikasi menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron terakhir pada respirasi anaerob [32].

3.2. Kerapatan Daya dan Energi



Dapat dilihat dari Gambar 4. Bentuk grafik kerapatan daya sama dengan grafik daya. Nilai kerapatan daya berbanding lurus dengan besarnya nilai tegangan dan kuat arus listrik per luas permukaan elektroda. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini ukurannya sama dengan berbentuk plat dan memiliki luas permukaan 10 cm^2 untuk tiap sisinya, jadi untuk luas permukaan total pada elektroda yaitu 20 cm^2 . Kerapatan daya merupakan untuk menunjukkan kinerja anoda dalam mengalirkan elektron menuju katoda. Rata-rata kerapatan daya yang diperoleh dari masing-masing variasi yaitu untuk penggunaan ampas tebu sebesar $8.97 \text{ mW}/\text{m}^2$, tetes tebu $57.41 \text{ mW}/\text{m}^2$, abu ampas tebu $6.27 \text{ mW}/\text{m}^2$, dan untuk abu ampas tebu $14.33 \text{ mW}/\text{m}^2$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan penggunaan substrat lumpur sawah dengan penambahan tetes tebu pada sistem STM menghasilkan listrik yang lebih banyak dibandingkan dengan penambahan limbah tebu lainnya, yaitu dengan nilai rata-rata kerapatan daya $57.41 \text{ mW}/\text{m}^2$. Sedangkan untuk penambahan limbah tebu lainnya untuk ampas tebu $8.97 \text{ mW}/\text{m}^2$, abu ampas tebu $6.27 \text{ mW}/\text{m}^2$, dan blotong $14.33 \text{ mW}/\text{m}^2$. Hambatan internal pada sistem STM sangat berpengaruh terhadap produksi listrik yaitu diantaranya adanya lapisan sel bakteri yang terbentuk pada permukaan anoda yang akan menghambat proses transfer elektron. Selain itu, adanya kandungan nitrat didalam substrat lumpur sawah dapat menjadi akseptor elektron terakhir dari bakteri sebagai akibat dari proses denitrifikasi.

Daftar Pustaka:

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Outlook Energi Indonesia 2016, Jakarta: Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia BPPT, 2016.
- [2] B. E. Logan, B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schroder, J. Keller, S. Freguia, P. Aelterman, W. Verstraete dan K. Rabaey, dalam *Microbial Fuel Cell : Methodology and Technology*, Enviromental Science and Technology, 2006, pp. 5181 - 5184.
- [3] M. Rahimnejad, A. Adhami, S. Darvari, A. Zirepour dan S. Oh, dalam *Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation : A review*, Alexandria Engineering Journal, 2015, pp. 745 - 756.
- [4] I. N. S. Winaya, M. Sucipta dan A. K. W. Putra, "Memanfaatkan Air Bilasan Bagas Untuk Menghasilkan Listrik Dengan Teknologi Microbial Fuel Cell," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M*, vol. V, no. 1, pp. 57-63, 2011.
- [5] L. M. S., P. N. H., D. Hardiani, Y. A. S. dan B. Raharjo, Produksi Bioelektrik Dari Sedimen Tambak dan Molase Berbasis Teknologi Microbial Fuel Cell, Semarang: Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, 2017.
- [6] K. Rabaey, G. Lissens, S. D. Siciliano dan W. Verstraete, dalam *A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high*, Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 1531 - 1535.

- [7] L. A., L. L.J., K. K.P., H. I., S. K. dan G. C., "Fuel," *On the repeatability and reproducibility of experimental two-chambered microbial fuel cells*, vol. 88, no. 10, pp. 1852-1857, 2009.
- [8] R. Chang, *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti*, Jakarta: Erlangga, 2005.
- [9] R. Chang, *Chemistry*, New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.
- [10] Wikipedia, "Fuel Cell," Wikipedia : The Free Encyclopedia, 19 Desember 2017. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell. [Diakses 21 Desember 2017].
- [11] R. S. Khurmi dan R. S. Sedha, dalam *Materials Science*, S. Chand & Company Ltd., 2014.
- [12] D. Novitasari, *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus bulgaricus*, Depok, 2011.
- [13] B. E. Logan, *Microbial Fuel Cells*, New Jersey: John & Wiley Inc., 2008.
- [14] M. Rahimnejad dan G. D. Najafpour, *Microbial Fuel Cells : A New Source of Power*, Babol: Elsevier and typesetter TNQ Books and Journals Pvt Ltd., 2015.
- [15] L. V. Reddy, S. P. Kumar dan Y. J. Wee, "Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology," *Microbial Fuel Cells (MFCs) - a novel source of energy for new millennium*, pp. 956-964, 2010.
- [16] E. Kristin, *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*, Depok: FT UI, 2012.
- [17] I. F., H. S. dan L. S., *Alternatif baru Sumber Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell*, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [18] L. H., C. S. dan L. B.E., "Power generation in fed-batch microbial fuel cell as a function of ionic strength, temperature, and reactor configuration.," *Environ. Sci. Technol*, vol. 39, pp. 5488-5493, 2005.
- [19] C. S.K. dan L. D.R., "Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cell.," *Nat. Biotechnol*, vol. 21, pp. 1229-1232, 2003.
- [20] S. Roy, S. Marzorati, A. Schievano dan D. Pant, "Microbial Fuel Cells," *Abraham, M.A. (Ed.), Encyclopedia of Sustainable Technologies. Elsevier*, pp., pp. 245-259, 2017.
- [21] D. Singh, D. Pratap, Y. Baranwal, B. Kumar dan R. K. Chaudhary, "Microbial fuel cells : A green technology for power generation," dalam *Annals of Biological Research*, Lucknow, Scholars Research Library, 2010, pp. 128 - 138.
- [22] N. G. Rangel, J. R. Garza, Y. G. Garcia dan L. R. Gonzalez, "Comparative Study of Three Cathodic Electron Acceptors on the Performance of Mediatorless Microbial Fuel Cell," *International Journal of Electrical and Power Engineering*, pp. 27-31, 2010.
- [23] Wikipedia, "Molasses," Wikipedia : The Free Encyclopedia, 17 Desember 2017. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Molasses>. [Diakses 21 Desember 2017].
- [24] M. Erni, "Jurnal Teknologi Proses," *Industri Tebu Menuju Zero Waste Industry*, pp. 6-10, 2005.
- [25] R. M. Afriyanto, *Pengaruh Jenis dan Kadar Bahan Perekat pada Pembuatan Briket Blotong sebagai Bahan Bakar Alternatif*, Bogor: Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, 2011.
- [26] M. Christiyanto dan A. Subrata, "Perlakuan Fisik dan Biologis pada Limbah Industri Pertanian terhadap Komposisi Serat," *Lembaga Penelitian Pusat Studi Agribisnis dan Agroindustri, Universitas Diponegoro*, Semarang, 2005.
- [27] N. Siregar, "Pemanfaatan Abu Pembakaran Ampas Tebu dan Tanah Liat pada Pembuatan Batu Bata," *Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara*, Medan, 2010.
- [28] R. Kuswuri, "Blotong dan Pemanfaatannya," 25 Januari 2012. [Online]. Available: <http://www.risvank.com>.
- [29] D. Permana, H. R. Haryadi, H. E. Putra, W. Juniaty, S. D. Rachman dan S. Ishmayana, "Evaluasi Penggunaan Metilen Blue Sebagai Mediator Elektron Pada Microbial Fuel Cell Dengan Biokatalis Acetobacter Aceti," pp. 8, 78-8, 2013.
- [30] Nirliani, *Aktivitas Bakteri Denitrifikasi Asal Sawah di Bogor, Jawa Barat*, Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Institut Pertanian Bogor, 2007.