

## Potensi perolehan energi listrik dari limbah cair industri tahu dengan metode *salt bridge microbial fuel cell*

(The potency of obtaining electrical energy from tofu industry liquid waste using salt bridge microbial fuel cell method)

Agustin Hermayanti dan Irwan Nugraha

Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

diterima 25 Oktober 2014, disetujui 17 November 2014

---

### Abstrak

Penelitian mengenai perolehan energi listrik dari limbah cair industri tahu dengan metode *salt bridge microbial fuel cell* (SBMFC) telah dilakukan. Sistem MFC (*Microbial Fuel Cell*) diterapkan pada pengelolaan limbah cair industri tahu dengan menghasilkan dua manfaat yaitu mengurangi cemaran bahan organik dan menghasilkan listrik. Penelitian ini difokuskan pada sistem MFC *dual-chamber* yang dilengkapi jembatan garam sebagai penukar proton. Variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  sebagai larutan elektrolit dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap perolehan listrik. Perubahan nilai pH, COD, dan BOD juga dilakukan untuk mengetahui efektivitas MFC dalam mendegradasi limbah cair tahu. Hasilnya diperoleh energi listrik maksimum berupa *power density* sebesar 11,941  $\text{mW/cm}^2$  pada variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,10 M. Kenaikan nilai pH terjadi dari 3,5 menjadi 4,0 pada variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,05 M. Sementara itu, penurunan nilai COD dan BOD paling besar masing-masing 42,86% dan 71,27% pada variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,10 M.

Kata Kunci: *microbial fuel cell*, *dual-chamber*, *power density*, parameter uji limbah

### Abstract

Research on the acquisition of electric energy from waste water industry has been known using the so called salt bridge microbial fuel cell (SBMFC) method. MFC system (microbial fuel cell) is applied to tofu liquid waste management industry which generates two benefits that is reducing contamination of organic material and producing electricity. This study focused on the dual-chamber MFC system that comes as a salt bridge proton exchanger. Variation of the concentration of  $\text{KMnO}_4$  as an electrolyte solution is done to observe the effects on the acquisition of electrical energy. Changes in pH, COD, and BOD were also conducted to determine the effectiveness of the MFC in degrading wastewater of tofu. The results obtained in the form of electrical energy with a maximum power density of 11,941  $\text{mW/cm}^2$  at concentration of 0.10 M. The pH value increase of  $\text{KMnO}_4$  occurred from 3.5 to 4.0 at concentration of 0.05 M  $\text{KMnO}_4$ . Meanwhile the greatest decreases in COD values are 42.86% and 71.27%, respectively, at  $\text{KMnO}_4$  concentration of 0.10 M.

Key words: microbial fuel cell, dual-chamber, power density, electrical energy

---

### Pendahuluan

Listrik merupakan sumber energi yang penting bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan industri, komersil maupun kehidupan sehari-hari rumah tangga. Kebutuhan listrik semakin meningkat terlihat dari catatan PT. PLN

(persero) yang menyatakan bahwa pemakaian listrik pada Mei 2013 sebesar 16,07 Terra Watt hour (TWh) tumbuh 9,96% bila dibanding dengan pemakaian listrik pada Mei 2012 yang sebesar 14,61 TWh. Sementara pertumbuhan pemakaian

listrik bulan Mei 2012 bila dibandingkan pemakaian Mei 2011 sebesar 9,68% [1].

Kebutuhan listrik yang sangat vital tersebut tidak diimbangi dengan sumber energi pembangkit yang tidak dapat diperbaharui seperti batubara sebagai komoditas yang paling besar digunakan. Sumber energi listrik yang tidak dapat diperbaharui ini dapat menyebabkan krisis energi. Krisis energi dapat dicegah dengan mengimbangi produksi energi listrik dari batubara tersebut dengan produksi energi listrik dari sumber yang dapat diperbaharui. Hal ini menjadi dasar berbagai penelitian dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif yang lebih efisien serta ramah lingkungan. Salah satu penelitian yang telah dilakukan ialah *microbial fuel cell* (MFC) sebagai metode konversi energi alternatif.

*Microbial fuel cell*, atau selanjutnya disebut MFC merupakan salah satu tipe *biofuel cells*. Beberapa tipe *biofuel cells* yang ada antara lain *microbial fuel cells* dan *enzymatic fuel cells* [2]. MFC merupakan sistem atau alat yang menggunakan bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik. Elektron diproduksi oleh bakteri dari substrat yang kemudian ditransfer ke anoda (kutub negatif) dan dialirkan ke katoda (kutub positif) yang disambungkan oleh perangkat konduktivitas termasuk resistor atau dioperasikan di bawah muatan untuk menghasilkan listrik yang dapat menjalankan alat. Aliran positif pengukur arus mengalir dari kutub positif ke negatif, arah yang berlawanan dengan aliran elektron [3].

Reaksi yang terjadi pada MFC dengan contoh substrat glukosa diberikan pada persamaan (1) dan (2), yakni:

Reaksi pada anoda [4]:



Reaksi pada katoda:



Berdasarkan kompartemennya terdapat tiga jenis MFC, yaitu *dual chamber MFC*, *single chamber MFC*, dan *stack MFC*. *Dual chamber MFC* pada intinya memiliki dua ruang yang dipisahkan dengan *proton exchange membrane* (PEM) atau jembatan garam. Ruang anoda merupakan ruangan yang berisi substrat dan bakteri, sementara ruang katoda berisi larutan elektrolit [5].

Bahan yang digunakan sebagai anoda pada sistem MFC harus bersifat konduktif dan

*biocompatible* (sesuai dengan makhluk hidup). Material anoda yang paling sesuai ialah karbon dalam bentuk lempeng grafit (padat, batang, atau granula), dalam bentuk material berserat/fiber, dan dalam bentuk *glass carbon*.

Pada ruang katoda, bahan yang dapat digunakan sebagai elektroda dapat berupa karbon biasa. Karbon yang digunakan dapat berupa plat grafit namun dapat juga dilengkapi dengan katalis seperti platinum [6]. Kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) digunakan sebagai larutan elektrolit karena memiliki potensial reduksi standar yang besar. Di antara ruang anoda dan katoda terdapat jembatan garam. Dengan adanya jembatan garam terjadi aliran elektron yang kontinu melalui kawat pada rangkaian luar dan aliran ion-ion melalui larutan sebagai akibat dari redoks yang spontan dan terjadi pada kedua elektroda. Syarat jembatan garam adalah transfer anion dan kation hampir sama dan tidak mengganggu larutan analit [7].

Dalam sistem MFC, material organik dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk metabolisme bakteri. Material organik yang digunakan dapat berasal dari limbah cair organik. Penggunaan limbah cair organik ini sekaligus dapat mendegradasi senyawa organik di dalamnya sehingga penerapan sistem MFC ini lebih ramah lingkungan [8].

Limbah cair industri tahu merupakan salah satu limbah organik yang banyak menimbulkan permasalahan lingkungan karena kandungan bahan organik yang tinggi dan mudah membusuk sehingga menimbulkan bau yang tidak sedap [9]. Maka sebagai upaya pemanfaatan limbah cair industri tahu ini dapat digunakan sebagai substrat dalam sistem MFC untuk produksi listrik. Untuk mengetahui kemampuan sistem MFC dalam mendegradasi limbah cair industri tahu dilakukan pengujian parameter limbah cair seperti, pH, *chemical oxygen demand* (COD), dan *biological oxygen demand* (BOD).

## Metode Penelitian

### 1. Preparasi Jembatan Garam

Jembatan garam dibuat dari campuran agar dengan garam NaCl. Sebanyak 2,5 gram *Nutrien Agar* (NA) ditambahkan ke dalam larutan NaCl 0,1 M kemudian dididihkan. Setelah homogen, larutan dituang ke dalam

pipa yang telah disiapkan dan dидiamkan hingga agar mengeras.

## 2. Preparasi Elektroda

Elektroda grafit direndam dalam larutan HCl 1 M selama 24 Jam kemudian dibilas menggunakan akuades. Setelah itu elektroda dibilas menggunakan akuades dan direndam dalam larutan NaOH 1 M selama 24 Jam. Selanjutnya elektroda dibilas dengan akuades hingga pH netral. Elektroda disimpan dalam larutan akuades hingga saat akan digunakan.

## 3. Preparasi Reaktor SBMFC

Dua bejana dari toples masing-masing dirangkai dengan sambungan pipa. Jembatan garam yang telah disiapkan, dihubungkan dengan 2 sambungan pipa tersebut. Kemudian elektroda yang siap digunakan dirangkai dengan kabel dan 2 bejana. Kabel dihubungkan juga pada multimeter digital untuk pengukuran tegangan listrik dan kuat arus listrik.

## 4. Eksperimen SBMFC

Sampel limbah cair dimasukkan kedalam ruang anoda, sedangkan larutan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  0,05 M dimasukkan ke dalam ruang katoda. Besar kuat arus listrik dan tegangan listrik diukur selama waktu pengoperasian 48 jam. Data yang diperoleh kemudian diplotkan membentuk kurva dengan sumbu X ialah waktu (jam) dan sumbu Y ialah kuat arus (mA) atau voltase (mV). Pengukuran pH, COD dan BOD dilakukan pada limbah cair tahu sebelum dan sesudah pengoperasian. Prosedur ini diulangi dengan menggunakan larutan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  0,1, 0,15 dan 0,2 M.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Desain SBMFC

Sistem *Microbial Fuel Cell* yang digunakan dalam penelitian ini ialah MFC *dual chamber* yang terdiri dari 2 ruang, yaitu ruang anoda dan katoda. Ruang anoda dan katoda dibuat dari toples sama-sama berkapasitas 1500 mL. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh jembatan garam sepanjang 10 cm dan berdiameter  $\frac{1}{2}$  inch. Jembatan garam berfungsi untuk menjaga kenetralan muatan listrik antara ruang anoda dan katoda. Kation pada ruang katoda ( $\text{H}^+$ )

yang berlebihan akan berdifusi ke jembatan garam, sementara itu secara otomatis elektron pada jembatan garam akan keluar ke ruang anoda MFC. Mekanisme ini terus berlangsung selama muatan listrik diantara kedua ruang tersebut tidak seimbang.

Elektroda yang digunakan pada sistem MFC ini ialah elektroda grafit. Baik anoda maupun katoda digunakan elektroda grafit dengan luas permukaan yang sama. Elektroda grafit memiliki panjang 5cm, lebar 4cm dan tebal 3cm. Sebelum pengoperasian MFC dilakukan, elektroda grafit dipreparasi terlebih dahulu untuk netralisasi.

### 2. Reaksi pada Anoda dan Katoda

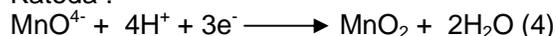
Proses metabolisme bakteri pada ruang anoda menghasilkan proton berupa  $\text{H}^+$ , elektron dan  $\text{CO}_2$ . Proton menuju katoda dengan cara berdifusi melalui jembatan garam. Sementara itu, elektron dibawa oleh mediator berupa riboflavin menuju elektroda untuk selanjutnya mengalir menuju melalui sirkuit. Aliran elektron dari anoda menuju katoda ini menghasilkan daya listrik. Pada anoda reaksi yang terjadi secara umum berikut [10].

Anoda:



Pada ruang katoda, elektron ditangkap oleh permanganat dan bereaksi dengan  $\text{H}^+$  menghasilkan  $\text{H}_2\text{O}$ . Reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut.

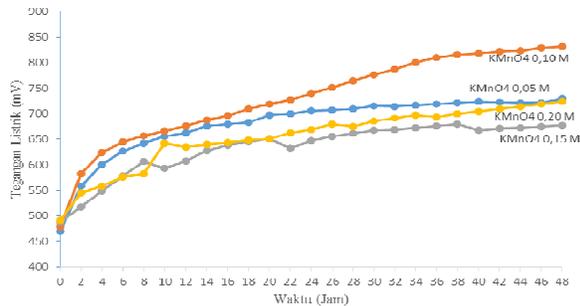
Katoda :



### 3. Hasil Pengukuran Energi Listrik pada Variasi Konsentrasi

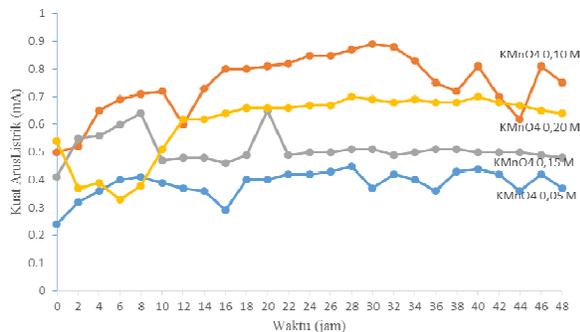
Pengoperasian sistem MFC dilakukan dengan menggunakan larutan kalium permanganat sebagai larutan elektrolit pada ruang katoda. Larutan ini dibuat empat variasi konsentrasi antara lain; 0,05 M, 0,10 M, 0,15 M dan 0,20 M. Pengoperasian dilakukan dua kali yaitu yang pertama untuk variasi 0,05 M dan 0,10 M sedangkan yang kedua untuk variasi 0,15 M dan 0,20 M. Pengoperasian juga dilakukan tanpa penambahan mediator pada kompartemen anoda. Elektron yang dihasilkan dari

metabolisme bakteri menuju elektroda dengan mediator alami yang dilepaskan oleh bakteri itu sendiri, yaitu Riboflavin.



**Gambar 1.** Hasil Tegangan Listrik selama Waktu Pengoperasian 48 Jam pada Variasi Konsentrasi KMnO<sub>4</sub>.

Pengukuran tegangan listrik dan kuat arus listrik pada sistem MFC ini dilakukan secara *Open Circuit Voltage* (OCV) yaitu, tanpa adanya penambahan hambatan eksternal seperti lampu atau resistor. Tegangan listrik dan kuat arus listrik yang dihasilkan dari pengukuran selama 48 jam dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



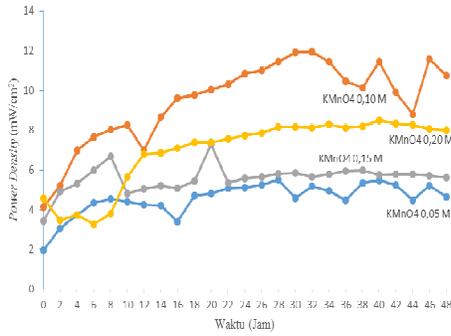
**Gambar 3.2** Hasil Kuat Arus Listrik selama Waktu Pengoperasian 48 Jam pada Variasi Konsentrasi KMnO<sub>4</sub>.

Dari Gambar 1 dan 2, secara umum tegangan listrik dan kuat arus yang diperoleh melonjak naik pada jam ke 0-6. Sementara itu, tegangan listrik dan kuat arus listrik yang dihasilkan pada jam ke 8-48 cenderung stabil. Hal ini sangat berkaitan dengan fase pertumbuhan bakteri pada limbah cair tahu tersebut. Menurut [11], bakteri secara umum memiliki empat fase pertumbuhan yaitu, fase *lag*, fase *log* atau eksponensial, fase stasioner dan fase kematian. Fase *lag* merupakan fase adaptasi bakteri terhadap lingkungan. Fase *log*

atau eksponensial ialah fase meningkatnya jumlah bakteri secara eksponensial. Meningkatnya jumlah bakteri ini terjadi karena adanya pembelahan biner pada bakteri hingga menjadi dua sel. Kemudian pembelahan terjadi lagi pada tiap sel dan seterusnya. Melonjaknya tegangan listrik dan kuat arus listrik secara umum pada jam ke 0-6 inilah yang terjadi akibat dari fase *log* bakteri. Kemudian pada jam ke 8-48 menunjukkan bahwa bakteri mengalami fase stasioner yaitu, fase di mana kecepatan tumbuh sama dengan kecepatan mati sehingga jumlah sel konstan.

Tegangan listrik yang dihasilkan selama waktu pengoperasian 48 jam terus mengalami kenaikan di semua variasi kalium permanganat serta belum terlihat penurunan yang berarti, sehingga belum titik optimum atau puncak. Begitu pula dengan kuat arus listrik, meskipun perolehan kuat arus listrik mengalami sedikit fluktuatif, namun belum mengalami penurunan yang konsisten. Hal ini terjadi karena pada limbah cair tahu masih tersedia substrat yang cukup untuk suplai makanan bakteri. Sementara itu, selama pengoperasian berlangsung tegangan listrik maksimum yang dapat dihasilkan oleh masing-masing konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,05 M, 0,10 M, 0,15 M, dan 0,20 M secara berurutan ialah 730 mV, 832 mV, 680 mV, dan 724 mV. Sedangkan kuat arus maksimum yang dihasilkan dari tiap-tiap konsentrasi secara berurutan ialah 0,45 mA, 0,89 mA, 0,65 mA, dan 0,70 mA.

Hasil di atas menunjukkan adanya perolehan yang sedikit fluktuatif pada kuat arus listrik maupun tegangan listrik. Hal ini diduga disebabkan karena adanya interaksi atau persaingan antar bakteri. Penurunan maupun peningkatan elektrisitas (kuat arus dan tegangan listrik) memiliki keterkaitan dengan TEA (*Terminal Electron Acceptor*) seperti oksigen, nitrit, nitrat, sulfat, dan sebagainya yang berdifusi melalui sel lalu elektron tersebut ditangkap oleh anoda dan proton menuju katoda sehingga menghasilkan biolistrik [3]. Hasil yang hampir sama diperoleh setelah data tegangan listrik dan kuat arus listrik diolah menjadi nilai *power density*.



**Gambar 3.3** Hasil *Power Density* selama Waktu Pengoperasian 48 Jam pada Variasi Konsentrasi KMnO<sub>4</sub>

Dari grafik *power density* terhadap waktu tersebut, pola yang hampir sama diperoleh pada semua variasi kalium permanganat. Akan tetapi yang menjadi perhatian di sini ialah besar *power density* yang dihasilkan antar variasi kalium permanganat. Pada pengoperasian pertama yaitu pada konsentrasi kalium permanganat 0,05 M dan 0,10 M diperoleh nilai *power density* maksimum masing-masing 5,509 mW/cm<sup>2</sup> dan 11,941 mW/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada pengoperasian kedua yaitu dengan konsentrasi kalium permanganat 0,15 M dan 0,20 M diperoleh nilai *power density* maksimum masing-masing 7,296 mW/cm<sup>2</sup> dan 8,509 mW/cm<sup>2</sup>. Sementara itu Rata-rata *power density* yang dihasilkan pada pengoperasian pertama, yaitu pada variasi 0,05 M dan 0,10 M masing-masing sebesar 4,556 dan 9,500 mW/cm<sup>2</sup>. Sementara itu, rata-rata *power density* yang dihasilkan pada pengoperasian kedua, yaitu pada variasi 0,15 M dan 0,20 M masing-masing sebesar 5,578 dan 6,937 mW/cm<sup>2</sup>. Secara umum dari setiap pengoperasian *power density* yang dihasilkan berbanding lurus dengan konsentrasi kalium permanganat. Semakin tinggi konsentrasi kalium permanganat, semakin banyak akseptor elektron yang terkontak dengan elektroda sehingga transfer elektron berjalan lebih cepat. Adapun potensi maksimum berupa *power density* yang dapat dicapai yaitu sebesar 11,941 mW/cm<sup>2</sup> dengan tegangan listrik sebesar 787 mV dan kuat arus listrik sebesar 0,88 mA.

4. Hasil Uji Parameter Limbah Cair

Banyaknya senyawa organik pada limbah cair yang terdegradasi dapat diketahui dari penurunan nilai COD dan BOD serta perubahan nilai pH ke arah netral. Walaupun demikian,

pengaruh COD dan BOD sulit ditentukan pada MFC, karena tidak dapat dipastikan COD dan BOD dihasilkan dari biomassa atau dari senyawa organik dalam reaktor [3]. Hasil uji pH, COD dan BOD pada pengoperasian (*running*) pertama dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 1.** Hasil Uji Parameter Limbah Cair Sebelum dan Sesudah Pengoperasian Pertama

Parameter	Unit	Sebelum Running	Setelah Running	
			KMnO <sub>4</sub> 0,05 M	KMnO <sub>4</sub> 0,10 M
pH	-	3,5	4,0	3,5
COD	mg/L	14179,2	9115,2	8102,4
BOD	mg/L	12980,0	4412,5	3729,9

Dari Tabel 1, nilai pH pada limbah sebelum masuk dalam sistem MFC dan setelah pengoperasian meningkat untuk variasi konsentrasi kalium permanganat 0,05 M. Sementara itu, untuk variasi konsentrasi kalium permanganat 0,10 M tidak terjadi peningkatan pH. Diasumsikan dari hasil tersebut tidak terjadi perubahan yang berarti dengan nilai pH selama waktu pengoperasian 48 Jam. Larutan juga masih bersifat asam, sehingga kemungkinan konsentrasi asam organik masih besar.

Selama waktu pengoperasian MFC, nilai COD dan BOD terlihat mengalami penurunan. Nilai COD menurun sebesar 35,71% untuk variasi konsentrasi kalium permanganat 0,05M lebih kecil dibandingkan penurunan nilai COD pada variasi konsentrasi 0,10 M yaitu sebesar 42,86%. Sementara itu, nilai BOD mengalami penurunan sebesar 66,01% untuk variasi 0,05 M yang juga lebih kecil dari variasi kalium permanganat 0,10 M sebesar 71,27%. Penurunan nilai COD dan BOD ini disebabkan karena senyawa organik pada limbah cair telah terdegradasi sebagian selama *running* MFC berlangsung. Senyawa organik terdegradasi melalui proses metabolisme bakteri. Bakteri menggunakan senyawa organik sebagai substrat dan menghasilkan elektron sebagai sisa metabolismenya.

Pengoperasian kedua yang terdiri dari variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,15 M dan 0,20 M menghasilkan data yang berbeda dengan pengoperasian pertama. Tidak ada perubahan nilai pH sedangkan nilai COD dan BOD mengalami kenaikan. Selengkapnya hasil uji

parameter limbah cair untuk pengoperasian kedua disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.** Hasil Uji Parameter Limbah Cair Sebelum dan Sesudah Pengoperasian Kedua

Parameter	Unit	Sebelum Running	Setelah Running	
			KMnO <sub>4</sub> 0,05 M	KMnO <sub>4</sub> 0,10 M
pH	-	4,0	4,0	4,0
COD	mg/L	9172,80	11774,88	11315,2
BOD	mg/L	7518,49	8297,73	5539,54

Dari tabel tersebut nilai COD naik sebesar 28,37% pada variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,15 M sedangkan pada variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,20 M naik sebesar 23,36%. Sementara itu, nilai BOD hanya mengalami penurunan pada variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,20 M yaitu sebesar 26,32% sedangkan pada variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,15 M mengalami kenaikan sebesar 10,36%. Tidak adanya penurunan COD diduga karena peningkatan biomassa mikroorganisme. Peningkatan biomassa tersebut disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme sehingga jumlah sel semakin banyak. Selain itu, sel bakteri yang telah mati juga dapat menyebabkan peningkatan nilai COD dan BOD.

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Perolehan energi listrik maksimum yang dapat dihasilkan pada sistem SBMFC yaitu berupa *power density* sebesar 11,941 mW/cm<sup>2</sup> dengan tegangan listrik sebesar 787 mV dan kuat arus listrik sebesar 0,88 mA.
2. Energi listrik berupa *power density* yang dihasilkan semakin meningkat seiring peningkatan konsentrasi KMnO<sub>4</sub>. Pada pengoperasian pertama, *power density* konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,10 M yaitu 9,500 mW/cm<sup>2</sup> lebih besar daripada konsentrasi 0,05 M yaitu 4,556 mW/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada pengoperasian kedua, *power density* konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,20 M yaitu 6,937 mW/cm<sup>2</sup> lebih besar daripada konsentrasi 0,15 M yaitu 5,578 mW/cm<sup>2</sup>.
3. Nilai pH limbah cair tahu tidak mengalami perubahan yang berarti setelah melalui

pengoperasian menggunakan sistem SBMFC. Sementara itu, nilai COD mengalami kenaikan pada variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,05 M dan 0,10 M masing-masing sebesar 35,71% dan 42,86%. Sedangkan nilai BOD mengalami penurunan pada variasi konsentrasi 0,05 M, 0,10 M dan 0,20 M masing-masing sebesar 66,01%, 71,27% dan 26,32%.

### Daftar Pustaka

- [1]. R. R. Dhany, Konsumsi Listrik di Indonesia Melonjak Hampir 10%; 2013. <http://finance.detik.com/read/2013/06/16/162802/2274875/1034/konsumsi-listrik-di-indonesia-melonjak-hampir-10>, diakses pada tanggal 13 Juli 2014.
- [2]. H. J. Kim, M.-S. Hyun, I. S. Chang, B. -H. Kim, J. Microbiol. Biotechnol, 9 (1999) 3, pp. 365-367.
- [3]. B. E. Logan, C. Murano, K. Scott, N. D. Gray, dan I. M. Head, Wat. Res., 39 (2006) pp. 942-952.
- [4]. P. T. Kininge, Pallavi, D. D. Aishwarya, N. Mohandas, O. A. Shinde, International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 2 (2011) pp. 263-268.
- [5]. G. Hoogers, Fuel cell components and their impact on performance. Di dalam Fuel Cell Technology Handbook, CRC Press, 2002.
- [6]. H. Liu, R. Ramnarayanan, B. E. Logan, Environ. Sci. Technol, 38 (2004) 7, pp. 2281-2285.
- [7]. L. P. Bailey, Analysis With Ion Selective Electrodes, Heyden & Son Ltd, London, 1976.
- [8]. F. Li, S. Yogesh; Y. Lei, B. Li, Q. Zhou, Appl Biochem Biothechnol, 160 (2010) pp. 168-181.
- [9]. I. Santoso, Pemanfaatan Limbah Cair Tahu untuk Produksi Nata de Soya Menggunakan Acetobacter Xylinum p 1007, Perpustakaan Universitas Indonesia. UI-Laporan Penelitian Deskripsi Dokumen, 2000, <http://www.digilib.ui.ac.id/opac/themes/libri2/detail.jsp?id=75711&lokasi=lokal>.

- [10]. S. You, Q. Zhaoa Zhang J, J. Jiang J; S. Zhao, *Journal of Power Sources*, 162 (2006) pp. 1409-1415.
- [11]. B. W. Lay dan H. Sugyo, *Mikrobiologi*, Rajawali Press, Jakarta, 1992.