

POTENSI LIMBAH TAHU UNTUK MENGHASILKAN LISTRIK PADA TIGA MODEL SISTEM MICROBIAL FUEL CELL (MFC)

Tofu Wastewater Potency for Generating Electricity Using Three Models of Microbial Fuel Cell (MFC)

Amanda Kusuma Dewi¹⁾, Gunawan Djajakirana²⁾ dan Dwi Andreas Santosa^{2)*}

¹⁾ Program Studi Bioteknologi Tanah dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680

²⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

ABSTRACT

*Organic waste from tofu industries in general is only thrown into the surrounding river flow and not utilized by the community. Tofu liquid waste contains a lot of protein, so in the decomposition process it produces ammonia which causes odor. A lack of researchers who understand that tofu waste can also be used as a substrate in Microbial Fuel Cells (MFC). MFC is a system or device that uses bacteria as a catalyst to oxidize organic and inorganic materials. Electrons are produced by bacteria from the substrate which is transferred to the anode (negative pole) and flowed to the cathode (positive pole), then connected by conductivity devices including resistors or operated under charge to produce electricity. The purpose of this study was knowing the effect of using tofu waste as a substrate in the anode on electric currents in MFC also knowing the most effective MFC models and providing electricity with the highest current. The result showed that MFC model which is considered the most effective and produces the highest voltage is the dual chamber system with Nafion. MFC dual chamber with Nafion isolate *Staphylococcus saprophyticus* was able to produce a voltage value of 3.74×10^5 mV and a power density value of 2.87×10^4 mW m⁻².*

Keywords: Dual chamber, Nafion, Staphylococcus saprophyticus

ABSTRAK

Sampah organik dari industri tahu pada umumnya hanya dibuang ke aliran sungai di sekitarnya dan tidak dimanfaatkan oleh masyarakat. Limbah cair tahu mengandung banyak protein, sehingga dalam proses dekomposisi menghasilkan amonia yang menyebabkan bau. Kurangnya peneliti yang memahami bahwa limbah tahu juga dapat digunakan sebagai substrat dalam Sel Bahan Bakar Mikro (MFC). MFC adalah sistem atau perangkat yang menggunakan bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik. Elektron diproduksi oleh bakteri dari substrat yang ditransfer ke anoda (kutub negatif) dan dialirkan ke katoda (kutub positif), kemudian dihubungkan oleh perangkat konduktivitas termasuk resistor atau dioperasikan di bawah muatan untuk menghasilkan listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan limbah tahu sebagai substrat dalam anoda terhadap arus listrik di MFC juga mengetahui model MFC yang paling efektif dan menyediakan listrik dengan arus tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model MFC yang dianggap paling efektif dan menghasilkan tegangan tertinggi adalah sistem *dual chamber* dengan Nafion. Ruang ganda MFC dengan isolat Nafion *Staphylococcus saprophyticus* mampu menghasilkan nilai tegangan 3.74×10^5 mV dan nilai kerapatan daya 2.87×10^4 mW m⁻².

Kata kunci: Dual chamber, Nafion, Staphylococcus saprophyticus

PENDAHULUAN

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan salah satu teknologi yang menjanjikan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan bahan organik dan limbah. Teknologi ini menggunakan metabolisme bakteri untuk menghasilkan arus listrik dari bahan organik maupun limbah yang ada (Franks dan Nevin, 2010). MFC dapat dikatakan sebagai reaktor bio-elektrokimia karena peranan bakteri dalam mengoksidasi senyawa organik maupun anorganik di ruang anoda dan menghasilkan proton dan elektron yang disalurkan menuju katoda. Berbagai jenis substrat dapat digunakan dalam MFC yang nantinya dirubah menjadi energi listrik seperti karbohidrat, protein, selulosa dan air limbah (Parkash, 2016).

Mekanisme yang terjadi dalam MFC adalah mikroorganisme mengoksidasi substrat di ruang anoda untuk menghasilkan elektron dan proton, serta menghasilkan karbon dioksida sebagai produk oksidasi. Elektron yang melekat pada anoda (terminal negatif) mengalir ke katoda (terminal positif) melalui sirkuit eksternal. Proton berpindah melalui membran pertukaran proton/kation untuk bergabung dengan elektron sehingga membentuk air jika oksigen tersedia atau untuk membentuk ferrosianida jika ferisianida tersedia (Dewan *et al.*, 2010; Diamond *et al.*, 2008). Oleh karena itu, arus positif dari terminal positif ke terminal negatif dan arah ini berlawanan untuk aliran elektron, sehingga dihasilkan listrik. Faktor lain yang mempengaruhi keberhasilan MFC yaitu aktivitas mikrob yang ada selama prosesnya. Kinerja MFC salah satunya dipengaruhi oleh kemampuan mikrob

**) Penulis Korespondensi: Telp. +628129639467; Email. dsantosa@indo.net.id*

mengkonversi substrat organik menjadi energi listrik, serta kemampuan mikroba mentransfer elektron hasil metabolismenya ke permukaan elektroda pada ruang anoda.

Umumnya model MFC yang digunakan adalah *single chamber* dan *dual chamber*. *Single chamber* pada MFC terdiri dari sebuah kompartemen di mana terletak anoda dan katoda (Nimje *et al.*, 2012), sedangkan *dual chamber* anoda dan katoda terpisah pada kompartemen yang berbeda dan dihubungkan dengan membran ataupun sebuah jembatan garam (Min *et al.*, 2005). Substrat yang digunakan dalam MFC pada umumnya adalah limbah, karena sistem ini dinilai lebih efektif dengan nilai tambah yang menghasilkan energi. Limbah yang dapat dimanfaatkan pun bervariasi dari limbah organik hingga limbah industri.

Belum banyak dilakukan upaya pemanfaatan limbah cair tahu sehingga menjadi besar potensinya terutama dalam aplikasi MFC. Limbah cair tahu pada umumnya mengandung bahan organik yang terbesar berupa protein yang merupakan sumber dari nitrogen. Konsentrasi amoniak yang dihasilkan dalam proses dekomposisi limbah cair tahu menyebabkan munculnya bau (Nuryadin *et al.*, 2014). Tujuan dari penelitian ini diantaranya mengetahui pengaruh penggunaan limbah tahu sebagai substrat pada ruang anoda terhadap arus listrik dalam MFC, serta mengetahui model MFC yang paling efektif dan memberikan listrik dengan arus tertinggi.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tahu, membran penukar ion (*Proton Exchange Membrane/PEM*) jenis Nafion 117® (Lyntech, USA), NaCl, agar teknis, kalium permanganat (KMnO₄), buffer fosfat, isolat *Staphylococcus saprophyticus* dan *Aeromonas caviae*. Peralatan yang digunakan adalah reaktor MFC dengan bahan akrilik bervolume 900 mL, pipa, karbon fiber, grafit batang, kawat tembaga, dan multimeter digital.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2017 hingga September 2018 yang bertempat di Laboratorium Biologi Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Bioteknologi Lingkungan di *Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology (ICBB)*, Bogor.

Prosedur Penelitian

Pembuatan MFC-chamber

Tiga model sistem MFC digunakan dalam penelitian ini: (1) *single chamber*, (2) *dual chamber* dengan pemisah Nafion, dan (3) *dual chamber* dengan pemisah jembatan garam. Rancangan alat MFC dengan sistem *dual chamber* pada prinsipnya yaitu memisahkan antara ruang anoda dan katoda. Selanjutnya elektroda karbon fiber dipasang pada masing-masing anoda dan katoda dan dihubungkan dengan kabel tembaga serta penjepit buaya. Pembuatan MFC dengan *single chamber* lebih sederhana

karena hanya memerlukan sebuah wadah dan elektroda karbon fiber yang berfungsi sebagai anoda diletakkan melintang di dekat dasar wadah, sedangkan elektroda grafit batang yang berfungsi sebagai katoda diletakkan mendekati permukaan wadah.

Pengambilan Sampel Limbah dan Aplikasi Isolat

Limbah cair tahu diambil dari industri rumah tangga di sekitar Bogor. Sampel cair diambil dan ditampung menggunakan jerigen plastik terlebih dahulu disterilisasi menggunakan alkohol 70% berukuran 20 L. Dua isolat yang digunakan yakni (1) *Staphylococcus saprophyticus* yang ditumbuhkan dan diperbanyak pada media *Thioglikolat*, dan (2) *Aeromonas caviae* yang ditumbuhkan dan diperbanyak pada media *Nutrient Broth* sebelum diaplikasikan pada MFC.

Eksperimen MFC

Limbah cair tahu diuji potensinya menghasilkan listrik pada 3 model sistem MFC, dengan 3 kali ulangan pada masing-masing modelnya. Masing-masing model dan ulangannya ditambahkan isolat *Staphylococcus saprophyticus*, dan berlaku hal yang sama pada isolat *Aeromonas caviae*. Perlakuan pertama ruang anoda diisi larutan suspensi bakteri, limbah tahu, buffer fosfat 0.01 M dan aquades. Perlakuan kedua pada ruang anoda diisi larutan suspensi bakteri, limbah organik, buffer fosfat 0.01 M. Ruang katoda berisikan larutan kalium permanganat 0.01 M dan buffer fosfat 0.01 M. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan elektroda pada masing-masing ruang dengan rangkaian kabel multimeter digital. Nilai arus dan tegangan listrik yang tertera dicatat. Pengukuran arus dan tegangan listrik dilakukan setiap 12 jam selama 14 hari.

Analisa Data

Pengukuran awal yaitu *open circuit voltage (OCV)* pada MFC dengan membandingkan lama waktu yang diperlukan hingga stabil pada setiap ulangan. Setelah stabil dilanjutkan dengan pengukuran arus (I) dan tegangan (V) menggunakan hambatan sebesar 1000 Ω, sehingga dapat menghitung besarnya daya (P) yang dihasilkan dengan rumus $P (mW m^{-2}) = I(mA) \times V(Volt) / A(m^2)$. Pengukuran dilakukan pada setiap sampel limbah dengan tiga kali ulangan menggunakan *Digital Multimeter* seri DT-831B⁺, sehingga diperoleh rata-rata arus dan tegangan yang dihasilkan. Untuk menyajikan data digunakan *Microsoft Excel*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

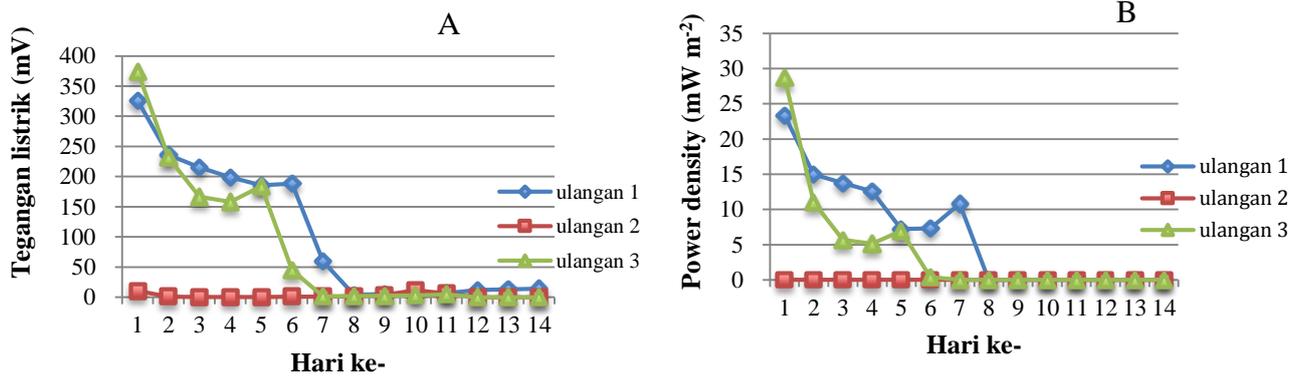
Potensi pencemaran lingkungan oleh limbah memerlukan suatu penanganan terutama limbah cair yang tinggi pada perairan. *Microbial Fuel Cell (MFC)* merupakan salah satu teknologi yang menjanjikan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan bahan organik dan limbah sebagai substrat. Teknologi ini menggunakan metabolisme bakteri untuk menghasilkan arus listrik dari bahan organik maupun limbah yang ada (Franks dan Nevin, 2010). Limbah tahu juga dapat dijadikan substrat dalam MFC. Potensi limbah tahu dapat menghasilkan *power density* dan nilai voltase. Pengamatan percobaan dilakukan selama 14 hari pada tiga ulangan dan tiga model yaitu *single*

chamber, dual chamber dengan Nafion, dan dual chamber dengan salt bridge.

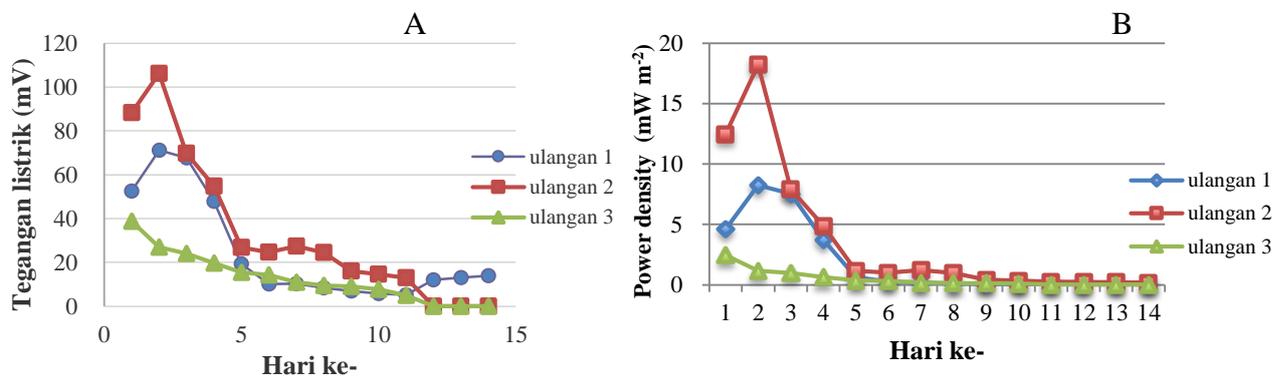
Tegangan listrik diukur dalam kondisi *open circuit voltage* (OCV), yakni voltase yang diukur pada rangkaian listrik tanpa adanya resistor eksternal. Berdasarkan pengukuran ini, diketahui bahwa pada sistem MFC *dual chamber* dengan Nafion isolat *Staphylococcus saprophyticus* mampu menghasilkan nilai voltase tertinggi pada hari ke-24 jam pertama pada ulangan ke-3, dengan nilai voltase maksimal 3.74×10^5 mV (Gambar 1A). Nilai *power density* tertinggi diperoleh pada 24 jam pada ulangan ke-3 dengan nilai sebesar 2.87×10^4 mW m⁻² (Gambar 1B). Nilai tegangan dan *power density* pada ulangan ke-2 tidak

dapat diukur karena beberapa faktor misalnya hambatan internal pada ruang anoda dan katoda, ketidakmampuan mikrob untuk mengonversi substrat, atau ketidakmampuan mikrob mentranfer elektron hasil metabolismenya ke permukaan elektroda.

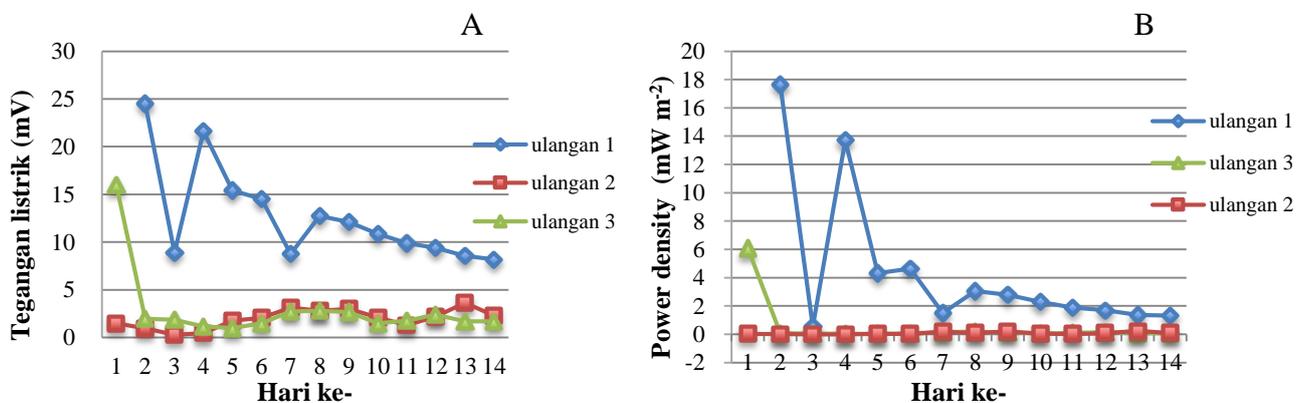
Voltase tertinggi dihasilkan pada sistem MFC *single chamber* dengan isolat *Staphylococcus saprophyticus* ulangan ke-2 pada hari ke-2, dengan nilai voltase maksimal 10.62×10^3 mV (Gambar 2A). Pola yang sama juga ditunjukkan oleh kurva nilai *power density* dengan nilai sebesar 18.21×10^2 mW m⁻² (Gambar 2B). Kurva nilai voltase dan nilai *power density* memiliki kecenderungan menurun setelah hari ke-7.



Gambar 1. Nilai voltase tertinggi (A) dan nilai *power density* tertinggi (B) yang dihasilkan pada sistem MFC *dual chamber* dengan Nafion isolat *Staphylococcus saprophyticus* menggunakan substrat limbah tahu



Gambar 2. Nilai voltase tertinggi (A) dan nilai *power density* tertinggi (B) yang dihasilkan pada sistem MFC *single chamber* dengan isolat *Staphylococcus saprophyticus* menggunakan substrat limbah tahu



Gambar 3. Nilai voltase tertinggi (A) dan nilai *power density* tertinggi (B) yang dihasilkan pada sistem MFC *dual chamber* dengan jembatan garam isolat *Staphylococcus saprophyticus* menggunakan substrat limbah tahu.

Sistem MFC *dual chamber* dengan jembatan garam isolat *Staphylococcus saprophyticus* memiliki nilai voltase tertinggi pada hari ke-2 dan ulangan ke-2, dengan nilai voltase 24.5×10^3 mV (Gambar 3A). Pola yang sama juga ditunjukkan oleh kurva nilai *power density* dengan nilai sebesar 17.64×10^2 mW m⁻² (Gambar 3B). Sistem ini cenderung memiliki nilai voltase dan *power density* yang rendah dibandingkan sistem lainnya, hal ini disebabkan oleh tingginya hambatan internal dari dalam sistem yang menyebabkan elektron tidak ditangkap secara maksimal oleh elektroda. Jembatan garam berfungsi untuk menjaga kenetralan muatan listrik antara ruang anoda dan katoda. Kation pada ruang katoda (H⁺) yang berlebihan akan berdifusi melalui jembatan garam, sementara melalui jembatan garam elektron akan keluar ke ruang katoda MFC. Mekanisme ini terus berlangsung selama muatan listrik di antara kedua ruang tersebut tidak seimbang (Hermayanti dan Nugraha, 2014).

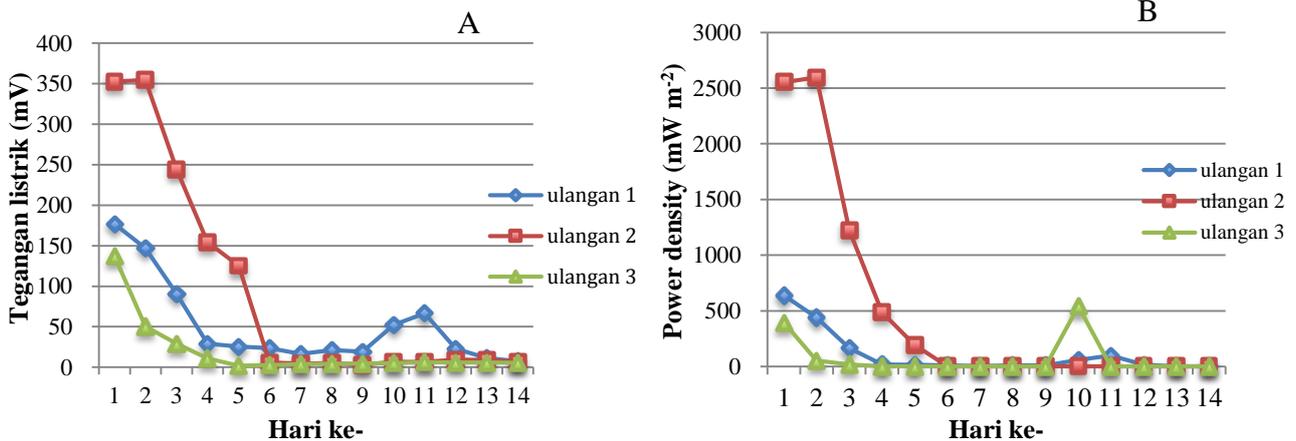
Berdasarkan pengukuran ini, diketahui bahwa pada sistem MFC *dual chamber* dengan Nafion isolat *Aeromonas caviae* mampu menghasilkan nilai voltase tertinggi pada hari ke-2 dan pada ulangan ke-2, dengan nilai voltasase 3.545×10^5 mV (Gambar 4A). Nilai *power density* tertinggi juga menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu sebesar 2.594×10^5 mW m⁻² (Gambar 4B).

Voltase tertinggi dihasilkan pada sistem MFC *single chamber* dengan isolat *Aeromonas caviae* ulangan

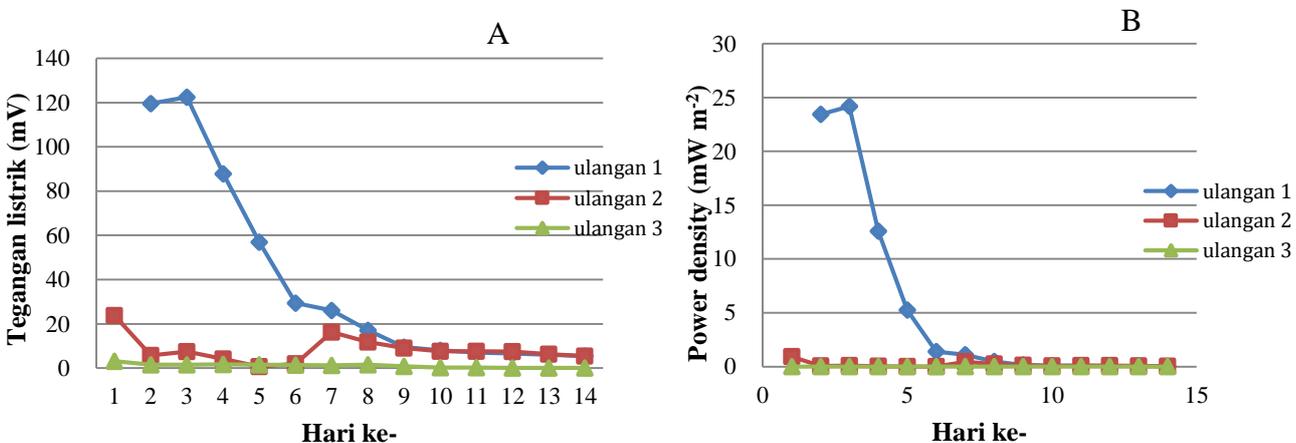
ke-1 pada hari ke-3, dengan nilai voltase maksimal 1.224×10^5 mV (Gambar 5A). Pola yang sama juga ditunjukkan oleh kurva nilai *power density* dengan nilai sebesar 24.17×10^2 mW m⁻² (Gambar 5B). Pemotongan data hari ke-1 pada ulangan ke-1 dilakukan karena nilai arus dan tegangan listrik ketika pengamatan dilakukan tidak stabil, sehingga data tidak dapat dipergunakan.

Sistem MFC *dual chamber* dengan jembatan garam isolat *Aeromonas caviae* memiliki nilai voltase tertinggi pada hari ke-1 dan ulangan ke-2, dengan nilai voltase 3.85×10^5 mV (Gambar 6A). Pola yang sama juga ditunjukkan oleh grafik nilai *power density* dengan nilai *power density* sebesar 2.741×10^5 mW m⁻² (Gambar 6B). Data hari ke-1 pada ulangan ke-3 nilai arus dan tegangan listrik ketika pengamatan tidak stabil, sehingga data tidak dapat dipergunakan.

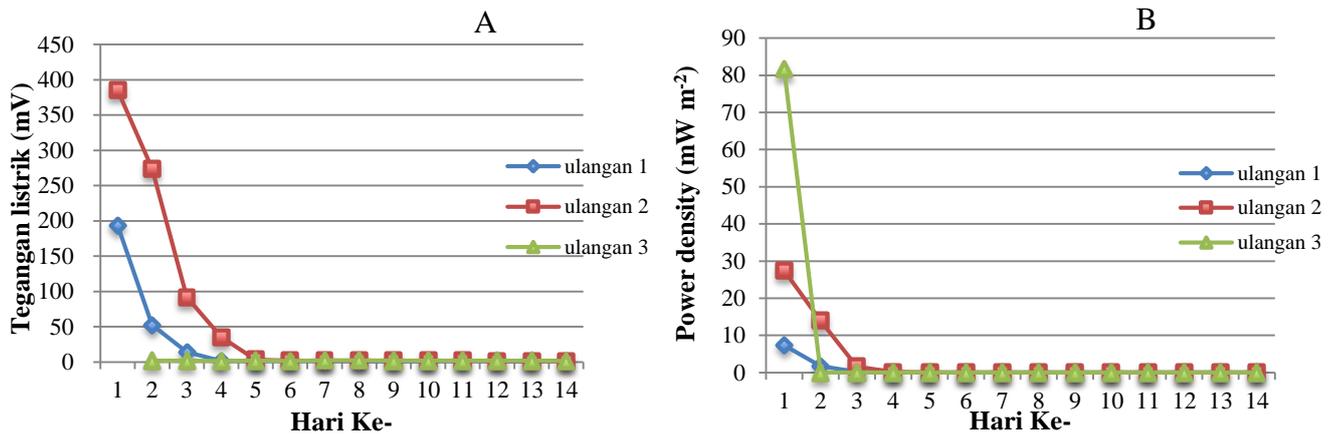
Berdasarkan perbandingan voltase tertinggi (Gambar 7) diketahui bahwa nilai voltase tertinggi dihasilkan oleh MFC *dual chamber* dengan jembatan garam isolat *Aeromonas caviae*, dengan nilai voltase 3.85×10^5 mV. Akan tetapi pada grafik harian selama 2 minggu (Gambar 6A), nilai voltase cenderung tidak stabil dan mengalami penurunan drastis menjadi 16.33×10^3 mV sejak hari ke-3, sehingga kurang representatif untuk dinyatakan sebagai model yang terbaik. Di samping itu, model *dual chamber* dengan Nafion dan *single chamber* menghasilkan nilai voltase yang lebih stabil pada kedua isolat.



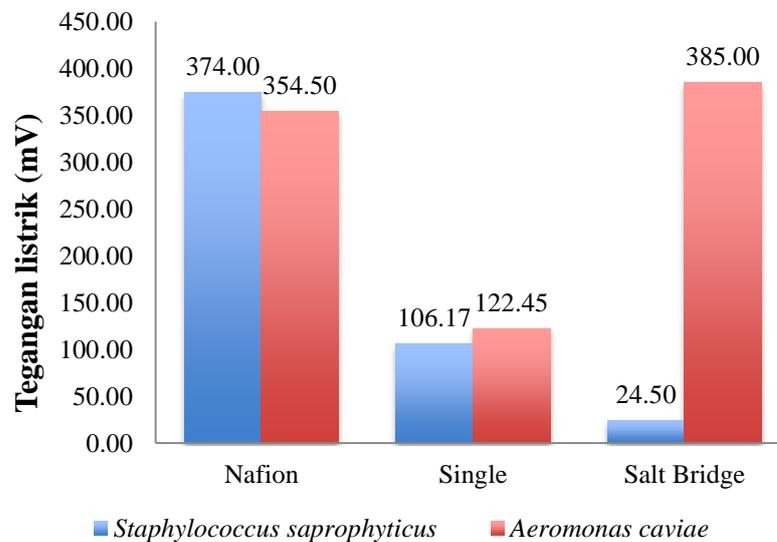
Gambar 4. Nilai voltase tertinggi (A) dan nilai *power density* tertinggi (B) yang dihasilkan pada sistem MFC *dual chamber* dengan Nafion isolat *Aeromonas caviae* menggunakan substrat limbah tahu



Gambar 5. Nilai voltase tertinggi (A) dan nilai *power density* tertinggi (B) yang dihasilkan pada sistem MFC *single chamber* dengan isolat *Aeromonas caviae* menggunakan substrat limbah tahu



Gambar 6. Nilai voltase tertinggi (A) dan nilai *power density* tertinggi (B) yang dihasilkan pada sistem MFC *dual chamber* dengan jembatan garam isolat *Aeromonas caviae* menggunakan substrat limbah tahu



Gambar 7. Perbandingan voltase tertinggi yang dihasilkan oleh isolat *Staphylococcus saprophyticus* dan *Aeromonas caviae* pada tiga model sistem MFC

SIMPULAN

Limbah cair industri tahu terbukti berpotensi sebagai substrat dalam MFC dari penggunaan isolat *Staphylococcus saprophyticus* dan *Aeromonas caviae* yang menghasilkan nilai tegangan listrik. Isolat *Staphylococcus saprophyticus* memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam memanfaatkan substrat untuk menghasilkan energi listrik. Model MFC yang dinilai paling efektif dan menghasilkan voltase tertinggi adalah sistem *dual chamber* dengan Nafion karena menghasilkan nilai voltase yang lebih stabil pada kedua isolat. MFC *dual chamber* dengan Nafion isolat *Staphylococcus saprophyticus* merupakan kombinasi terbaik dan mampu menghasilkan nilai voltase 3.74×10^5 mV dan nilai *power density* sebesar 2.87×10^4 mW m⁻².

DAFTAR PUSTAKA

Dewan, A., C. Donovan, D. Heo and H. Beyenal. 2010. Evaluating the performance of microbial fuel cells powering electronic devices. *J. Power Sources*, 195:90-96.

Diamond, D., S. Coyle, S. Scarmagnani and J. Hayes. 2008. Wireless sensor networks and chemo-biosensing. *Chem. Rev.*, 108:652-679.

Franks, A.E. and K.P. Nevin. 2010. Microbial fuel cell, a current review. *Energies*, 3:899-919.

Hermayanti, A. dan I. Nugraha. 2014. Potensi perolehan energi listrik dari limbah cair industry tahu dengan metode salt bridge microbial fuel cell. *J. Sains Dasar*, 3(2):162-168.

Min, B., S. Cheng and B.E. Logan. 2005. Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cell. *Water Research*, 39:1675-1686.

Nimje, V.R., C.C. Chen, H.R. Chen, C.Y. Chen, M.J. Tseng, K.C. Cheng, R.C. Shih and Y.F. Chang. 2012. A single-chamber microbial fuel cell without an air cathode. *Int. J. Mol. Sci.*, 13:3933-3948.

Nuryadin, S., D. Sikumbang and Pramudiyanti. 2014. The influence of semanggi waste liquid waste to the fishing of seeds of fish leledumbo. *Scientific Expression Race*, 2(1):1-14.

Parkash, A. 2016. Microbial fuel cells: a source of bioenergy. *J. Microb Biochem Technol.*, 8(3): 247-255.
