

DENSITAS BIOFILM PADA ELEKTRODA BERPENGARUH POSITIF TERHADAP PRODUKSI BIOLISTRIK *MICROBIAL FUEL CELL* LIMBAH CAIR PERIKANAN

Bustami Ibrahim*, Uju, Alvindo Chrisna Mukti

Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Jalan Agatis, Bogor, Jawa Barat

*Korespondensi: bustamibr@yahoo.com

Diterima: 5 November 2018 /Disetujui: 29 Maret 2019

Cara sitasi: Ibrahim B, Uju, Mukti AC. 2019. Densitas biofilm pada elektroda berpengaruh positif terhadap produksi biolistrik *microbial fuel cell* limbah cair perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 22(1): 71-79.

Abstrak

Microbial fuel cell (MFC) merupakan bioreaktor yang memanfaatkan bakteri eksoelektrogen sebagai elektrokatalis untuk mengubah bioenergi dari biomassa menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara densitas bakteri pada biofilm di permukaan elektroda dengan nilai elektrisitas yang dihasilkan dari MFC. Sistem MFC yang digunakan yaitu MFC satu bejana dengan perlakuan jarak elektroda 2 cm, 4 cm, dan 6 cm. Limbah air rebusan ikan pindang digunakan sebagai media. Parameter uji yang diukur adalah tegangan listrik yang diukur dengan voltmeter dan kerapatan mikroba yang diukur menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Tingkat keberhasilan dalam menurunkan beban limbah pada media ditentukan dengan mengukur *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan total amoniak nitrogen (TAN). Hasil penelitian menunjukkan jarak elektroda tidak berpengaruh terhadap densitas biofilm pada elektroda dan penurunan beban polutan limbah, namun berpengaruh terhadap elektrisitas yang dihasilkan. Densitas biofilm yang terbentuk pada elektroda MFC selama 120 jam berkisar antara 0,65-6,46 CFU/cm². Nilai elektrisitas tertinggi terdapat pada perlakuan jarak elektroda 6 cm yaitu 0,381±0,013 V. Hubungan yang erat antar densitas mikroba dan elektrisitas yang dihasilkan pada katoda dengan koefisien korelasi R²=0,99, sedangkan pada anoda hubungannya lemah dengan koefisien korelasi R²=0,47. Sistem MFC mampu menurunkan rata-rata nilai BOD 50,78% dan COD 33,29%. Nilai penurunan ini berbanding terbalik dengan nilai TAN yang meningkat menjadi 6 mg/L.

Kata kunci: bioelektrisitas, biofilm, jarak elektroda, *microbial fuel cell*.

Biofilm Density on the Electrode is Positively Correlated with the Bioelectricity of the Microbial Fuel Cell of Fisheries Wastewater

Abstract

Microbial fuel cell (MFC) is a bioreactor utilizing bacteria as electrocatalysts to convert bioenergy from biomass into electrical energy. The aim of this research were to determine the effects of the electrode distance on the bacterial density and the electrical value generated by the MFC as well as to evaluate the ability of MFC in reducing the pollutant. Single chamber MFC system with various electrode distances including 2 cm, 4 cm, and 6 cm were assembled. The wastewater of fish pindang processing was used as the medium for the MFC. The results showed that the distance had no effect on the biofilm density of the electrode and the reduction of the wastewater pollutant load. However, the distance affected the electrical value of the MFC. Biofilm density on the MFC electrode after 120 hours was 0.65-6.46 CFU/ cm². The highest voltage was obtained from the 6 cm electrode distance with the voltage 0.38±0.01 V. Positive correlation (R² = 0.99) between microbial density and electricity produced at the cathode was observed, but weak at the anoda (R² = 0.47). The MFC system could decrease the BOD value up to 50.78% and COD up to 33.29%, however the TAN value was increased to 6 mg/L.

Keywords: bioelectricity, biofilm, electrode distance, microbial fuel cell

PENDAHULUAN

Sumber energi alternatif pada saat ini sangat dibutuhkan untuk menggantikan energi berbasis fosil karena ketersediaannya terbatas, juga tidak ramah lingkungan. Sumber energi alternatif yang saat ini banyak dicobakan salah satunya teknologi *microbial fuel cell* (MFC) yaitu suatu teknologi yang memanfaatkan bakteri eksoelektrogenik untuk mengkonversi energi dari biomassa menjadi energi listrik. Salah satu sumber energi biomassa yang dapat digunakan adalah limbah cair industri perikanan. Produksi ikan olahan di Indonesia pada tahun 2014 mencapai 5.375.835 ton dan mengalami peningkatan setiap tahun (KKP 2015). Kegiatan produksi industri perikanan selain menghasilkan produk juga menghasilkan limbah berupa limbah padat dan limbah cair. Setiap ton produk perikanan yang diproduksi menghasilkan limbah cair sebanyak 20 m³, sehingga limbah cair juga akan meningkat setiap tahun sejalan dengan peningkatan produksi.

Limbah cair ini mengandung bahan organik yang tinggi yang ditandai dengan tingginya *biological oxygen demand* (BOD), *total suspended solid* (TSS), dan total kjedahl nitrogen (TKN) (Ibrahim *et al.* 2009). Limbah cair apabila tidak diolah lebih dulu sebelum dibuang akan berdampak pada lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi, menurunkan kualitas air, berkurangnya oksigen terlarut, hingga timbulnya gas beracun yang menyebabkan kematian organisme perairan, sedangkan untuk melakukan usaha pengolahannya dibutuhkan energi dengan biaya yang mahal.

Penelitian Ibrahim *et al.* (2014a), Ibrahim *et al.* (2014b), Ibrahim *et al.* (2017a) dan Ibrahim *et al.* (2017b) menunjukkan bahwa limbah cair perikanan dapat digunakan sebagai substrat *microbial fuel cell* (MFC) yang dapat menghasilkan energi listrik. Beberapa faktor yang diperkirakan bisa berpengaruh telah dicobakan untuk meningkatkan elektrisitas yang dihasilkan oleh MFC, antara lain jenis bahan elektroda, jarak antar elektroda dan rangkaian MFC dengan multi elektroda. Bakteri yang digunakan dalam sistem MFC masih bersifat spontan yang terbentuk secara alami melalui proses pengolahan

limbah cair perikanan menggunakan lumpur aktif. Beberapa bakteri yang terdapat pada lumpur aktif diperkirakan ada yang bersifat elektrogenik.

Bagian yang menyusun MFC terdiri atas anoda dan katoda. Mikroba yang hidup di anoda berperan sebagai biokatalis yang mengoksidasi bahan organik limbah cair untuk menghasilkan proton, elektron dan gas karbon dioksida. Proton yang dihasilkan berpindah menuju katoda melalui media limbah cair, sedangkan elektron bergerak dari anoda menuju katoda melewati rangkaian luar MFC yang kemudian menghasilkan energi listrik (Leong *et al.* 2013). Aktivitas bakteri penghasil listrik dalam MFC banyak sekali dikaitkan dengan biofilm yang terbentuk pada elektroda. Akan tetapi dari beberapa penelitian menyatakan bahwa tidak semua bakteri tersebut berinteraksi secara langsung dengan elektroda, tetapi berinteraksi secara tidak langsung melalui mikroorganisme yang lain (Frank dan Nevin 2010). Penelitian lain juga telah dilakukan dengan mengaitkan bakteri yang berada dalam limbah yang berfungsi sebagai anoda dan limbah cairnya yang berfungsi sebagai katoda terhadap elektrisitas yang dihasilkan. Jenis bakteri yang diperoleh dari isolasi menghasilkan elektrisitas yang sangat bervariasi (Naureen *et al.* 2016).

Kehadiran bakteri dalam biofilm yang terbentuk di permukaan elektroda menjadi faktor yang penting terkait dengan besarnya perbedaan potensial listrik yang dihasilkan dari kedua elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan hubungan kepadatan bakteri pada biofilm yang terbentuk di permukaan elektroda dengan nilai elektrisitas yang dihasilkan dari proses MFC.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah air perebusan ikan pindang yang diperoleh dari CV Cindy Group Bogor, lumpur aktif yang diperoleh dari unit pengolahan limbah Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Nizam Zachman Jakarta, H₂SO₄ (Merck), K₂Cr₂O₇ 0,25 N (Merck), *Ferrous ammonium sulfate* [Fe(NH₄)₂(SO₄)₂]

0,2 N (Merck), NaOH (Merck), phenate (Merck), *chlorox* (Merck), $MnSO_4$ (Merck), KH_2PO_4 (Merck), *plate count agar* (Oxoid). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerigen 10 L, gelas ukur 1 L, MFC *single-chamber air cathode* berbentuk kubus dengan dimensi 7x10x10 cm, kabel, aerator (Recent RC-410), selang, batu apung, pH meter TOA HM-30V (DKK-TOA, Tokyo), DO meter LT Lutron DO-5510 (Lutron, Taipei), botol winkler 250-300 mL (Duran, Mainz), Erlenmeyer (Pyrex, New York), spektrofotometer UV-VIS Optima SP-300 (Optima, Tokyo), gunting kawat, sudip, pipet volumetric (Pyrex, New York), multimeter (UK 830LN), erlemeyer 125 mL (Pyrex, New York), buret (Pyrex, New York), tabung Kjeldahl, alat pemanas, inkubator (Memmert, Schwabach), dan cawan petri (Pyrex, New York).

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian meliputi empat tahap, yaitu pembuatan *microbial fuel cell* satu bejana, karakterisasi awal limbah air rebusan ikan pindang, pengujian kinerja MFC pada limbah cair berupa nilai elektrisitas, densitas bakteri biofilm pada elektroda, dan penurunan beban polusi dengan analisis *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD) serta total ammonia nitrogen (TAN).

Pembuatan MFC satu bejana tanpa membran separator mengacu Ibrahim *et al.* (2017b) dengan modifikasi.

Bejana berbentuk persegi panjang dibuat dari kaca akrilik berukuran 7 cm x 10 cm x 10 cm. Elektroda yang digunakan adalah plat tembaga dengan ukuran 7 cm x 1 cm x 0,1 cm. Elektroda yang telah dibuat kemudian dipasang pada bejana MFC. Katoda dan anoda dipasang pada kaca akrilik dengan jarak yang berbeda yaitu 2 cm, 4 cm, dan 6 cm (*Figure 1*).

Lumpur aktif yang diambil dari unit pengolahan limbah PPS Nizam Zachman diaklimatisasi terlebih dahulu sebelum digunakan dengan cara menambahkan lumpur aktif ke dalam limbah rebusan pindang dengan perbandingan 1:3 dan diberikan aerasi selama 48 jam. Lumpur aktif yang sudah diaklimatisasi dimasukkan ke dalam MFC yang berisi limbah cair dengan perbandingan antara lumpur aktif dan limbah cair sebesar 1:10, mengacu Patil *et al.* (2009) dan diukur elektrisitasnya. Pengukuran elektrisitas dilakukan menggunakan multimeter setiap jam selama 120 jam.

Penurunan beban polutan limbah dalam media limbah cair dianalisis setelah 120 jam proses pengolahan menggunakan MFC yaitu berupa nilai pH, BOD (APHA 2012), COD (APHA 2012), dan TAN (APHA 2012). Pengujian BOD dilakukan dengan mengencerkan sampel menggunakan akuades dengan faktor pengenceran 10 sampai 200 kali pengenceran. Sampel dimasukkan ke dalam botol winkler dan diinkubasi selama 5 hari pada suhu 20°C. Nilai BOD diperoleh dari selisih DO sampel sesudah dan

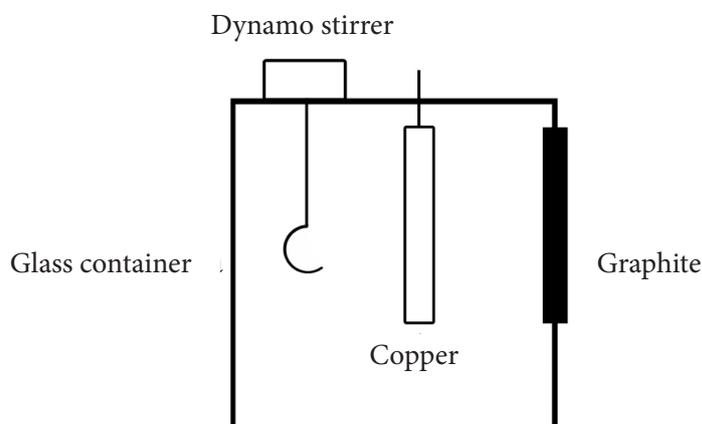


Figure 1 Microbial fuel cell design.

sebelum inkubasi dikalikan dengan faktor pengenceran yang digunakan. Pengujian COD diawali dengan mengencerkan sampel limbah menggunakan akuades sebanyak 25 kali pengenceran. Langkah selanjutnya sampel sebanyak 2,5 mL dimasukkan ke dalam tabung refluks lalu ditambahkan 1,5 mL larutan pencerna dan 3,5 mL pereaksi asam sulfat selanjutnya dihomogenkan dengan vortex. Sampel dipanaskan pada COD reaktor pada suhu 150°C selama 2 jam. Sampel diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-VIS dengan panjang gelombang 600 nm. Nilai COD diperoleh dari absorbansi sampel sesuai kurva kalibrasi yang telah ditentukan. Pengujian TAN diawali dengan memasukkan 25 mL sampel ke dalam enlemeyer dan ditambahkan 1 mL larutan fenol, 1 mL natrium nitroprusid dan 2,5 mL larutan pengoksidasi kemudian dihomogenkan dan ditutup dengan plastik. Larutan didiamkan selama 1 jam pada ruangan gelap dengan suhu 22-27°C kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 640 nm. Nilai TAN diperoleh dari nilai serapan larutan sesuai kurva kalibrasi yang telah ditentukan.

Tahapan selanjutnya dilakukan pengujian densitas biofilm yang terbentuk pada elektroda dengan metode *total plate count* (FDA 2001). Pengujian *total plate count* dilakukan dengan mengambil biofilm yang terbentuk pada permukaan elektroda dengan cara disweb menggunakan swab steril. Swab dan sel bakteri yang terperangkap dimasukkan ke dalam tabung larutan fisiologis KH_2PO_4 10 mL dan divortex untuk menghasilkan pengenceran 10^0 . Larutan sel bakteri 1 mL diambil dan dimasukkan ke larutan fisiologis 9 mL untuk pengenceran 10^1 , 10^2 , 10^3 , dan seterusnya. Larutan diambil 1 mL dan dimasukkan ke dalam cawan petri. Media *nutrient agar* (NA) dituang pada cawan petri yang sudah

berisi inokulum bakteri. Tahap selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam untuk dihitung kepadatan bakterinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Densitas Bakteri pada Biofilm Elektroda

Densitas bakteri pada biofilm yang terbentuk di permukaan elektroda MFC pada jam ke 120 di usap dari permukaan anoda dan katoda. Hasil nilai rata-rata densitas biofilm pada bagian anoda dan katoda dapat dilihat pada *Table 1*.

Densitas biofilm yang terbentuk pada elektroda MFC selama 120 jam berkisar antara $0,65-6,46 \times 10^2$ cfu/cm². Dari hasil analisis statistika ($p \leq 0,05$) memperlihatkan bahwa jarak antar elektroda tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap densitas bakteri pada biofilm.

Densitas bakteri pada biofilm yang terbentuk pada permukaan katoda lebih tinggi dibanding anoda. Hal ini diduga karena adanya oksigen yang terdifusi pada katoda sehingga membuat lingkungan di sekitar permukaan katoda mengandung oksigen lebih tinggi dan mempercepat proses biofouling (Oliot *et al.* 2017). Mikroorganisme aerob lebih mudah tumbuh dan berkembang pada katoda diakibatkan adanya difusi oksigen melalui katoda grafit, dan juga adanya mikroorganisme yang berasal dari lumpur aktif berupa mikroorganisme nitrifikasi yang bersifat aerob. Pembentukan biofilm pada permukaan anoda diperkirakan lebih rendah dibandingkan katoda dalam sistem MFC tersebut disebabkan oleh jenis mikroba yang tumbuh pada anoda lebih bersifat anaerobik fakultatif atau anoksik. Naureen *et al.* (2016) menyatakan bahwa semua bakteri yang diisolasi dari media limbah cair yang digunakan pada MFC dengan bioelektroda merupakan bakteri anaerob fakultatif.

Table 1 Biofilm density on the surface of anode and cathode at different electrode distances

| | | Electrode distances | | |
|---|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | 2 cm | 4 cm | 6 cm |
| Biofilm density (cfu/cm ²) | Anode | $(0.55 \pm 0.17) \times 10^2$ | $(0.65 \pm 0.35) \times 10^2$ | $(1.37 \pm 1.05) \times 10^2$ |
| | Cathode | $(3.08 \pm 2.47) \times 10^2$ | $(6.46 \pm 0.70) \times 10^2$ | $(6.81 \pm 0.32) \times 10^2$ |

Karena letak anoda dibawah permukaan air, maka mikroorganisme anaerob obligat dan mikroorganisme anaerob fakultatif sangat dimungkinkan tumbuh di permukaan anoda. Sehingga metode isolasi bakteri dari anoda yang dibutuhkan harus disesuaikan dengan karakter mikroba yang ada.

Lapisan biofilm pada katoda dengan jarak 6 cm terjadi pengelupasan yang disebabkan oleh ketebalan biofilm dan gesekan cairan pada permukaan biofilm. Lapisan biofilm yang terlalu tebal dapat mengakibatkan kurangnya oksigen dan nutrisi yang tersedia sehingga memungkinkan biofilm menjadi inaktif kemudian terlepas (Donlan 2002). Pengadukan dilakukan dalam MFC untuk menjaga agar tidak terjadi pengendapan lumpur aktif. Li *et al.* (2010) menyatakan bahwa adanya pengadukan dalam MFC selain dapat mempercepat transfer ion namun dapat memecah biofilm yang telah terbentuk. Penggunaan energi oleh mikroba pada awalnya dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan selanjutnya untuk membentuk biofilm. Menurut Srikanth *et al.* (2008) pembentukan biofilm yang tipis pada permukaan elektroda dapat meningkatkan kekuatan lapisan polimer sel pada permukaan elektroda, meningkatkan output energi listrik, mentoleransi laju aliran fluida, dan menyediakan ruang terjadinya mekanisme biokatalis bahan organik dipermukaan elektroda.

Elektrisitas MFC

Nilai elektrisitas yang dihasilkan pada sistem MFC selama 120 jam dapat dilihat pada *Figure 1* yang memiliki jarak elektroda 2 cm, *Figure 2* sistem yang memiliki jarak elektroda 4 cm, dan *Figure 3* sistem yang memiliki jarak elektroda 6 cm.

Figure 2 menunjukkan nilai tegangan pada setiap jarak elektroda yang berbeda selama 120 jam. Nilai tegangan terlihat mengalami fluktuasi selama pengamatan. Hasil analisis statistika menunjukkan bahwa elektrisitas MFC dengan jarak elektroda 2 cm berbeda secara signifikan ($p < 0,05$) dengan jarak elektroda 4 cm dan 6 cm, sedangkan elektrisitas yang dihasilkan MFC dengan jarak elektroda 4 cm dan 6 cm tidak berbeda secara signifikan ($p > 0,05$).

Nilai tegangan listrik yang fluktuatif dapat diduga karena interaksi dan kompetisi yang terjadi pada mikroorganisme di dalam limbah cair. Logan (2008) melaporkan bahwa perubahan nilai elektrisitas berkaitan dengan elektron yang dapat berikatan dengan *terminal electron acceptor* (TEA) misalnya oksigen, nitrat, nitrit dan sulfat yang berdifusi melalui sel kemudian elektron tersebut ditangkap oleh anoda dan proton ditangkap katoda sehingga menyebabkan terjadinya beda potensial yang menghasilkan biolistrik. Peningkatan nilai elektrisitas yang terukur diduga terjadi saat mikroorganisme sedang

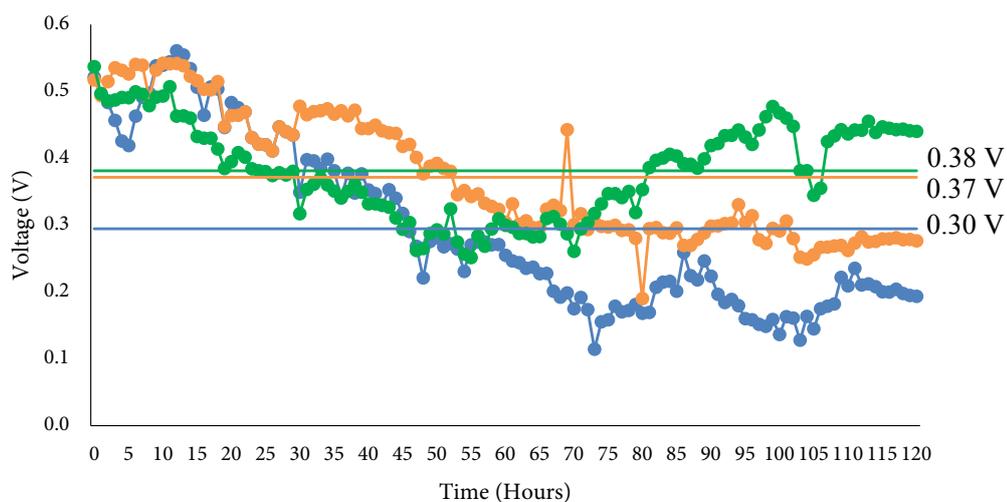


Figure 2 Electricity power of MFC with 2 cm, 4 cm and 6 cm electrode distance, (—●—) 2 cm; (—●—) 4 cm; (—●—) 6 cm; (—) average 2 cm; (—) average 4 cm; (—) average 6 cm.

melakukan pemecahan substrat sederhana di dalam limbah, sedangkan penurunan nilai elektrisitas dapat diduga disebabkan ketika mikroorganisme sedang beradaptasi untuk memecah substrat yang lebih kompleks menjadi sederhana. Pande *et al.* (2011) menyatakan bahwa produksi arus listrik yang rendah kemungkinan karena konsumsi elektron yang rendah oleh katoda dan laju transfer melewati lintasan listrik eksternal. Hal ini disebabkan oleh suplai proton atau oksigen yang rendah. Produksi arus listrik yang rendah ini menandakan bahwa beberapa elektron digunakan oleh mekanisme-mekanisme lain selain reaksi katode seperti penggunaan elektron pada anoda untuk mereduksi elektron akseptor pada sulfat dan nitrat, oksigen yang terdifusi dari katoda atau oksigen terlarut dalam influen, dan produksi metan di sekitar anoda.

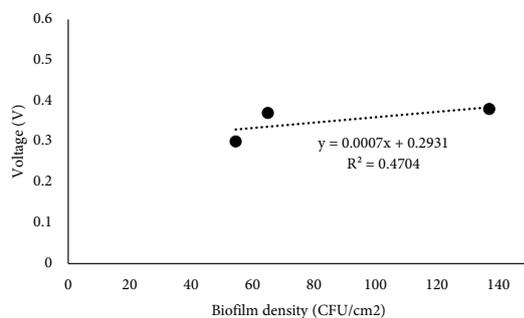
Jarak antar elektroda yang semakin besar menghasilkan tegangan yang semakin besar. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Ibrahim *et al.* (2017b) yang menyatakan perlakuan jarak antar elektroda 6 cm menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibanding jarak 2 cm dan 4 cm. Logan *et al.* (2015) menyebutkan jarak yang terlalu dekat menyebabkan oksigen dari udara yang terdifusi melalui katoda dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas bakteri pada anoda menghasilkan arus listrik. Nilai tegangan yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi dibanding penelitian

Ibrahim *et al.* (2017a) dan Ibrahim *et al.* (2017b). Penelitian Ibrahim *et al.* (2017a) memperoleh nilai tegangan sebesar 0,34 V menggunakan elektroda aluminium dan karbon grafit selama 120 jam pengamatan. Ibrahim *et al.* (2017b) melaporkan juga hasil nilai tegangan MFC yang diperoleh sebesar 0,117-0,367 V yang menggunakan elektroda campuran *stainless steel mesh* dan karbon grafit selama 48 jam pengamatan. Peningkatan hasil tegangan MFC pada penelitian ini diduga karena penggunaan elektroda tembaga yang memiliki konduktivitas yang lebih tinggi. Menurut Baudler *et al.* (2015) tembaga memiliki nilai potensial standar sebesar 0,35 v yang membuat logam ini menjadi konduktor listrik yang baik. Konduktivitas tembaga ini sekitar 900 kali lebih baik dibanding grafit polikristalin yang dapat mengurangi jumlah bahan elektroda yang dibutuhkan dalam sistem MFC.

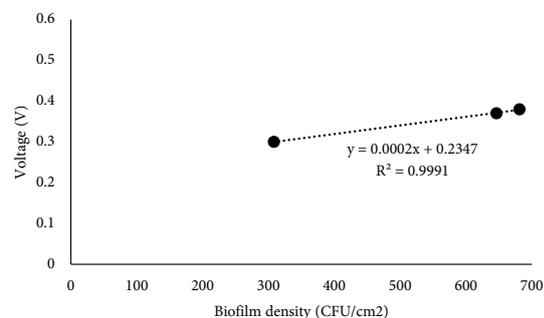
Hubungan Densitas Biofilm dengan Elektrisitas

Densitas biofilm yang terbentuk pada permukaan elektroda MFC memiliki hubungan terhadap elektrisitas yang dihasilkan. Hubungan nilai densitas biofilm dan elektrisitas dapat dilihat pada *Figure 3*.

Figure 3 menunjukkan hubungan antara nilai densitas bakteri biofilm dan tegangan listrik pada anoda dan katoda. Hubungan antara densitas bakteri dan tegangan listrik



(a)



(b)

Figure 3 Correlation between electricity and biofilm density on the surface of: a) anode and b) cathode.

yang dihasilkan pada anoda memperlihatkan keterkaitan hubungan yang rendah dengan koefisien korelasi $R^2=0,47$ (Figure 4a). Santoro *et al.* (2017) menyatakan interaksi bakteri dengan elektroda pada MFC *air-cathode* dalam lingkungan yang mengandung berbagai jenis bakteri masih belum jelas. Mekanisme transfer elektron pada sistem MFC *air-cathode* dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung. Mekanisme transfer elektron secara langsung dapat disebabkan oleh aktivitas bakteri yang meningkatkan rapat daya MFC tanpa menempel pada permukaan anoda. Mekanisme transfer elektron secara tidak langsung dihasilkan dari proses oksidasi hasil metabolisme bakteri pada permukaan anoda. Transfer elektron secara langsung dapat dihambat oleh bahan pembentuk biofilm. Hasil ini tidak sesuai dengan pernyataan Baudler *et al.* (2015) yang menyatakan semakin tinggi ketebalan biofilm pada anoda menyebabkan elektrisitas MFC yang dihasilkan semakin tinggi. Perbedaan hasil ini diduga akibat perbedaan jenis bakteri yang terkandung dalam media MFC.

Penggunaan MFC *air-cathode* membuat sisi katoda berinteraksi dengan limbah yang mengandung banyak mikroorganisme, komponen organik, dan garam, sehingga terjadi penumpukan koloni bakteri yang membentuk biofilm pada permukaan katoda. Biofilm yang terbentuk pada katoda dapat menghambat transfer ion hidroksi menjauh dari elektroda dan menyebabkan alkalinisasi di sekitar permukaan katoda. Proses alkalinisasi ini dapat mengganggu reaksi reduksi oksigen dan dapat merusak kinerja katoda dengan cara presipitasi kation dalam bentuk hidroksi (Oliot *et al.* 2016).

Kinerja Penurunan Beban Polutan Limbah dalam Sistem MFC

Penurunan polutan air limbah dalam sistem MFC merupakan indikator bekerjanya sistem MFC dalam menghasilkan energi listrik dan sekaligus memenuhi baku mutu air limbah. Hasil uji indikator mutu limbah yaitu pH, COD, BOD dan TAN disajikan pada Table 2.

Nilai pH

Nilai pH sangat penting dalam pengolahan limbah karena akan mempengaruhi secara langsung kehidupan organisme (Ibrahim 2009). Setelah melalui proses pengolahan dan operasi MFC terjadi kenaikan nilai pH pada limbah dibandingkan nilai pH awal. Akan tetapi kenaikan nilai pH ini tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar jarak elektroda. Nilai pH ini masih memenuhi standar baku mutu limbah untuk industri pengolahan perikanan yaitu pH 6 sampai 9 (KLH 2014). Peningkatan nilai pH disebabkan adanya akumulasi ion OH^- (Ni'am *et al.* 2007). Meningkatnya kadar ion OH^- berasal dari hasil reduksi oksigen pada katoda dalam proses MFC.

Nilai BOD

Hasil analisis statistika menunjukkan bahwa jarak antar elektroda tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai BOD pada limbah cair ($p < 0,05$). Penurunan nilai BOD ini berkisar antara 40,62% sampai 50,78%. Nilai ini telah sesuai dengan baku mutu limbah untuk industri pengolahan perikanan (75 mg/L) (KLH 2014). Penelitian Ibrahim *et al.* (2017b) berupa modifikasi jarak elektroda MFC dengan lama waktu pengamatan 48 jam tanpa penambahan lumpur aktif mampu menurunkan nilai BOD

Table 2 Fishery wastewater quality changes during MFC process

| Parameters | Units | Before treatment | Electrode distances | | |
|------------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | | 2 cm | 4 cm | 6 cm |
| pH | - | 6.39±0.02 ^a | 6.94±0.12 ^b | 7.42±0.12 ^b | 7.42±0.11 ^b |
| BOD | mg/L | 106.67±10.01 ^a | 54.90±2.00 ^b | 52.50±9.01 ^b | 63.33±5.20 ^b |
| COD | mg/L | 238.80±5.66 ^a | 204.40±48.67 ^a | 159.30±71.70 ^a | 185.83±50.70 ^a |
| TAN | mg/L | 2.28±0.02 ^a | 5.98±0.24 ^b | 6.05±0.17 ^b | 0.85±0.21 ^c |

sebesar 20,05%. Penambahan lumpur aktif dalam proses pengolahan limbah cair dapat meningkatkan penurunan nilai BOD pada limbah. Penurunan nilai BOD terjadi karena kandungan zat organik dalam air limbah terdegradasi oleh aktivitas bakteri. Bakteri aerob pada lumpur aktif yang diberi aerasi dan nutrisi, tumbuh dan berkembang biak memakan zat organik tersebut.

Nilai COD

Hasil analisis statistika menunjukkan bahwa perbedaan jarak antar elektroda tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai COD pada limbah cair ($p > 0,05$). Penurunan COD berkisar pada 14,40% sampai 33,29%. Nilai COD limbah berkisar antara $159,3 \pm 71,7$ mg/L sampai $204,40 \pm 48,67$ mg/L, nilai ini masih belum memenuhi baku mutu limbah untuk industri pengolahan perikanan (150 mg/L) sehingga tidak dapat diemisikan ke lingkungan (KLH 2014).

Nilai COD yang tinggi dalam limbah menunjukkan limbah tersebut mengandung bahan organik dan anorganik yang tinggi (Ibrahim *et al.* 2009). Zhang *et al.* (2014) melaporkan MFC *air-cathode* dengan volume 26 mL mampu menurunkan COD limbah cair 73,83% selama 24 jam, sedangkan Ibrahim (2014a) menggunakan sistem MFC dengan lama pengamatan 6 hari mampu menurunkan kadar COD 37,4%. Penurunan nilai COD yang lambat pada penelitian ini diduga karena bahan organik dan anorganik dalam limbah belum mampu didegradasi dengan baik oleh mikroorganisme dalam sistem MFC.

Nilai TAN

Amonia merupakan bentuk nitrogen di dalam limbah cair yang berasal dari proses penguraian senyawa nitrogen (Ibrahim *et al.* 2014). Peningkatan nilai TAN diduga karena adanya kematian bakteri akibat aktivitas antimikroba dari tembaga yang digunakan sebagai elektroda MFC dan reaksi amonifikasi dari protein dalam limbah cair. Reaksi nitrifikasi dari amoniak yang terbentuk berjalan lambat, sehingga senyawa TAN terakumulasi dalam limbah. Tembaga dalam kondisi basah ataupun kering tetap memiliki aktivitas antimikroba pada permukaannya (Marc 2016). Sel bakteri yang mati atau terlepas dari biofilm dapat berpindah ke

medium cair sehingga dapat memperlambat reaksi selanjutnya.

KESIMPULAN

Densitas bakteri biofilm pada permukaan katoda lebih tinggi dibanding anoda. Densitas mikroba pada biofilm di permukaan katoda memiliki korelasi yang tinggi dengan koefisien korelasi sebesar $R^2=0,99$, sedangkan pada anoda memiliki korelasi yang rendah dengan koefisien korelasi $R^2=0,46$.

DAFTAR PUSTAKA

- [APHA] American Public Health Association. 2012. Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition. Washington DC (USA): American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Baudler A, Grenier A, Schmidt I, Schroder U. 2015. Does it have to be carbon? Metal anodes in microbial fuel cells and related bioelectrochemical systems. *Energy and Environmental Science*. 21:1-9.
- Donlan RM. 2002. Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*. 8(9): 881-890.
- [FDA] Food and Drug Administration. Bacteriological Analytical Manual Online. Florida (USA): Food and Drug Administration
- Frank AE, Nevin KP. 2010. Microbial fuel cells, a current review. *Energies*. 3: 899-919.
- Ibrahim B, Suptijah P, Adjani ZN. 2017a. Kinerja *microbial fuel cell* penghasil biolistrik dengan elektroda yang berbeda pada limbah cair industri perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(2): 296-304.
- Ibrahim B, Suptijah P, Agung BS. 2017b. Jarak elektroda *microbial fuel cell* pada limbah cair pemindangan ikan terhadap elektrisitas dan beban pencemaran. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(3): 561-569.
- Ibrahim B, Suptijah P, Prantommy. 2009. Pemanfaatan kitosan pada pengolahan limbah cair industri perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*

- 12(2): 154-166.
- Ibrahim B, Salamah E, Alwinsyah R. 2014a. Pembangkit biolistrik dari limbah cair industri perikanan menggunakan *microbial fuel cell* dengan jumlah elektroda yang berbeda. *Jurnal Dinamika Maritim*. 4(1): 1-9.
- Ibrahim B, Suptijah, Rosmalawati S. 2014b. Kinerja rangkaian seri sistem microbial fuel cell sebagai penghasil biolistrik dari limbah cair perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 17(1):71-79.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2015. *Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2015*. Jakarta (ID): Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- [KLH] Kementrian Lingkungan Hidup. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Cair Industri Pengolahan Perikanan*. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup.
- Leong JX, Daud WRW, Ghasemi M, Liew KB, Ismail M. 2013. Ion exchange membrane as separators in fuel cell for bioenergy conversion: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 28: 575-587.
- Li HR, Feng YL, Tang XH, Zhang JJ, Lian J. 2010. The factor affecting biofilm formation in the mediatorless microbial fuel cell. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*. 24(3): 341-346.
- Logan BE. 2008. *Microbial fuel cells*. Wiley (USA): Hoboken
- Marc MVPH. 2016. Antimicrobial application of copper. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 216(2): 1-28.
- Naureen Z, Al Matani ZAR, Al Jabri MN, Al Housni SK, Gilani SA, Mabood F, Farooq S, Hussain J, Al Harrasi A. 2016. Generation of electricity by electrogenic bacteria in a microbial fuel cell powered by waste water. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 7: 329-335.
- Ni'am M, Othman F, Sohaili J, Fauzia Z. 2007. Removal of COD and turbidity to improve wastewater quality using electrocoagulation technique. *The Malaysian Journal of Analytical Science*. 11(1): 198-205.
- Oliot M, Etcheverry L, Mosdale A. 2016. Removable air-cathode to overcome cathode biofouling in microbial fuel cells. *Bioresources Technology*. 1:1-17.
- Oliot M, Etcheverry L, Mosdale A, Basseguy R, Delia ML, Bergel A. 2017. Separator electrode assembly (SEA) with 3-dimensional bioanode and removable air-cathode boosts microbial fuel cell performance. *Journal of Power Source*. 30:1-11.
- Santoro C, Arbizzani C, Erable B. 2017. Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of Power Resources*. 30: 1-20.
- Srikanth S, Marsili E, Flickinger MC, Bond DR. 2008. Electrochemical characterization of *Geobacter sulfureducens* cells immobilized on graphite paper electrodes. *Biotechnology and Bioengineering*. 99(5) : 1065-1073
- Zhang X, He W, Ren L, Stager J, Evans PJ, Logan BE. 2014. COD removal characteristics in air-cathode microbial fuel cells. *Bioresource Technology*. 1: 1-26.