

BIOREMEDIASI LIMBAH CAIR TAPIOKA OLEH BAKTERI TERAMOBILISASI PADA MICROBIAL FUEL CELL

BIOREMEDIATION OF CASSAVA WASTE WATER BY IMMOBILIZED BACTERIA ON MICROBIAL FUEL CELL

Eva Oktarina

Balai Riset dan Standardisasi Industri Bandar Lampung

e-mail: evaoktarina@gmail.com

Diterima: 25 Maret 2014; Direvisi: 7 April 2014 – 1 September 2014; Disetujui: 17 Oktober 2014

Abstrak

Teknik bioremediasi telah banyak diaplikasikan oleh dunia industri, baik secara bioremediasi itu sendiri maupun dikombinasikan dengan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) lainnya seperti instalasi metan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri teramobilisasi dalam aplikasi bioremediasi limbah cair tapioka pada *Microbial Fuel Cell* (MFC). Penelitian dilakukan dengan menggunakan MFC *single chamber* yang terbuat dalam skala laboratorium. Variasi MFC yang dilakukan yaitu MFC dengan *Serratia* teramobilisasi (MFC 1), MFC dengan *Pseudomonas* teramobilisasi (MFC 2), dan MFC dengan *Enterobacter* teramobilisasi (MFC 3). Parameter limbah cair yang diukur adalah pH, CN, COD, PTT, NH₃, dan DHL. Parameter MFC yang diukur adalah voltase dan daya. Hasil bioremediasi dari ketiga MFC adalah sianida *removal* yaitu 50 - 98,49%; COD *removal* yaitu 23,58 - 31,28%; serta NH₃ *removal* yaitu 40,55 - 98,01%. Voltase (mV) yang dihasilkan dari MFC-1, MFC-2 dan MFC-3 adalah 698, 684 dan 665. *Serratia*, *Pseudomonas* serta *Enterobacter* teramobilisasi dapat diaplikasikan pada bioremediasi limbah cair tapioka pada *Microbial Fuel Cell* (MFC).

Kata kunci: Bioremediasi, *Enterobacter*, Limbah cair tapioka, *Pseudomonas*, *Serratia*

Abstract

Bioremediation technique have been applied by industrial, as itself or combined with methane installation. This research aim is to explore the ability of immobilized bacteria for liquid cassava waste bioremediation on MFC. Single chamber non membrane MFC installed on laboratories scale. Variation that used in this research are MFC-immobilized Serratia (MFC 1), MFC-immobilized Pseudomonas (MFC 2), and MFC-immobilized Enterobacter (MFC 3). Waste water parameter that will be observed are pH, cyanide (CN), COD, TSS, NH₃. and conductivity. Result showed that cyanide removal is 50 - 98,49%; COD removal is 23,58 - 31,28%; and NH₃ removal is 40,55 - 98,01%. Voltage (mV) outputs from the MFCs are 698, 684 and 665. Immobilized Serratia, Pseudomonas and Enterobacter can be used as tapioca liquid waste water bioremediation on Microbial Fuel Cell (MFC).

Keywords: *Bioremediation, cassava waste water, Enterobacter, Pseudomonas, Serratia*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen ubi kayu nomor 2 terbesar di dunia pada tahun 2012 (FAO, 2013). Provinsi Lampung merupakan provinsi dengan luas lahan ubi kayu, produksi ubi kayu dan produktivitas ubi kayu tertinggi di Indonesia. Pada tahun 2013, luas panen, produksi dan produktivitas ubi kayu masing-masing

mencapai 367.966 ha, 9.633.560 ton dan 261.81 kuintal/ha (BPS, 2014). Ubi kayu merupakan bahan dasar utama dalam pembuatan tepung tapioka.

Data lapangan melaporkan bahwa untuk menghasilkan 1 ton tapioka, pabrik tapioka menghasilkan 4 – 12 m³ limbah cair dengan pH 4,5 – 5,0, COD berkisar dari 10.000 – 15.000 mg/L, dan sianida 19 – 28 mg/L. Salah satu solusi dalam menangani tingginya angka cemaran

pada limbah cair tapioka adalah dengan melakukan teknik bioremediasi.

Bioremediasi adalah penggunaan mikroorganisme dalam meremediasi cemaran atau polutan. Bioremediasi dapat dilakukan oleh bakteri dan jamur (*mycoremediation*) (Colleran, 1997). Bioremediasi dapat diaplikasikan secara individual serta dapat digabungkan pada instalasi metana (Bioremediation services, 2014) dan *Microbial Fuel Cell* (MFC) (Mtambanengwe & Fogel, 2014). Kao *et al.* (2003) dan Gijzen *et al.* (2000) menyatakan kandungan sianida yang tinggi dapat membunuh bakteri Metanogen sehingga menurunkan kadar produksi metan. Smith *et al.* (1985) menyatakan bahwa sianida juga dapat mempengaruhi jalur metabolisme karbon pada *M. thermoautotrophicum*. Sianida dapat menghambat perombakan asetat ke metana. Liu *et al.* (2005) dan Lu *et al.* (2009) menyatakan bahwa MFC selain dapat menurunkan nilai COD dan menangani masalah limbah, juga dapat menghasilkan energi listrik.

MFC merupakan instalasi yang mengkonversi energi kimia pada bahan organik menjadi energi listrik dengan menggunakan mikroorganisme sebagai biokatalis (Logan *et al.*, 2006). Elektron yang dihasilkan oleh MFC berasal dari oksidasi kandungan organik oleh mikroorganisme. Anoda pada MFC akan menjadi tempat penerima elektron terakhir, hal tersebut menyebabkan perbedaan potensial antara anoda dan katoda. Elektron dari sel menuju anoda dengan bantuan *electron carier* yang ada pada larutan anoda (Du *et al.*, 2007).

Limbah cair tapioka memiliki kandungan karbon yang tinggi. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa limbah cair tapioka pada instalasi MFC dapat menghasilkan listrik. Cahyani (2011) menunjukkan *double chamber-PEM* MFC dengan limbah cair tapioka menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan 61,62 W/m²; 0,57 V; dan 0,12 A.

Bakteri sebagai biokatalis pada proses bioremediasi serta proses bioelektrik harus adaptif terhadap air limbah industri tapioka, sehingga terjadi metabolisme yang menghasilkan beda

potensial serta penurunan kadar konsentrasi organik pada air limbah. Bakteri indigenous yang telah teradaptasi dengan kondisi kontaminasi dan kondisi lingkungan, sehingga secara fisik dan kimia dapat lebih bertahan terhadap toksisitas lingkungan (Akcil *et al.*, 2003). Oleh karena itu, pada penelitian ini, akan mengeksplorasi kemampuan bakteri Genus *Serratia*, *Pseudomonas*, dan *Enterobacter* yang teramobilisasi dalam menurunkan parameter; COD, sianida, amonia, dan PTT serta menetralkan pH limbah cair tapioka. Pada sistem *batch*, bakteri yang digunakan diharapkan teramobilisasi pada pond atau reaktor, sehingga proses remediasi berlangsung secara kontinu. *Serratia*, *Pseudomonas*, dan *Enterobacter* adalah bakteri indigenous yang berhasil diisolasi dari limbah cair tapioka (Oktarina *et al.*, 2014). Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui faktor penggunaan jenis mikroorganisme (biokatalis) sebagai inokulum terhadap beda potensial yang dihasilkan oleh MFC.

BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tapioka yang digunakan berasal dari PT UJA (Terbanggi, Lampung). Karakteristik limbah ditunjukkan pada Tabel 1. Bakteri didapat dari proses isolasi limbah cair tapioka yaitu *Serratia*, *Pseudomonas* dan *Enterobacter* (Oktarina *et al.*, 2014). Bahan yang digunakan pada proses alginasi adalah alginat [Sigma], CaCl₂ [Merck], EDTA [Merck], KH₂PO₄ [Merck] dan akuades. Bahan yang digunakan pada pembuatan medium adalah *Plate Count Agar* (PCA), *Nutrient Broth* (NB), Na₂HPO₄, NaCl, dan KCN solution. Bahan untuk pengujian COD, CN, dan amonia adalah reagen HACH.

Alat yang digunakan adalah MFC *single chamber* yang terbuat dari akrilik, anoda terbuat dari grafit dan katoda terbuat dari besi. Alat yang digunakan pada proses alginasi adalah peralatan gelas, *stirrer plate* [Sibata], *stirrer rod* [HACH] dan saringan. COD, CN, dan

amonia diukur dengan spektrofotometer [HACH DR3800]; DHL diukur dengan [CON 5 LaViotte]; pH diukur dengan pH meter [Martini]; PTT dengan oven [Mettler] dan timbangan analitik [Thermo Scientific].

Tabel 1. Karakteristik limbah cair tapioka

Parameter	Konsentrasi (mg/L)
pH	4,803
PTT	232
NH ₃	20,10
COD	1830
Cyanide (CN)	0,33
DHL (µS/m)	442,2
PO ₄	6,60

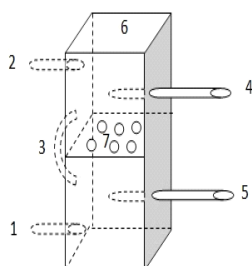
B. Metode Penelitian

Perakitan MFC

Microbial Fuel Cell dirakit berdasarkan modifikasi dari Kaewkannetra *et al.* (2011), yang merupakan MFC *single chamber* dan *non membrane* (Gambar 1).

Tabel 2. Material yang digunakan pada instalasi MFC di penelitian ini

Material	Keterangan
Katoda	Besi
Anoda	Grafit
Anoda-filling	Bakteri hasil isolasi dan limbah cair tapioka
Katoda-filling	Limbah cair tapioka
Sekat	<i>Glass woll</i>
Bahan	Akrilik
Dimensi ruang MFC (cm)	40 x 15 x 10



- Keterangan:
 1. Input limbah
 2. Output limbah
 3. Selang penghubung
 4. Katoda
 5. Anoda
 6. Akrilik
 7. Sekat

Gambar 1. Desain MFC *single chamber* dan *non membrane*.

Limbah cair tapioka dari bak penampung limbah akan dialirkan

menuju ruang anoda yang telah berisi 600 g bakteri yang telah diamobilisasi. *Glass woll* (2 cm) ditempatkan di atas sekat, untuk memisahkan ruangan kompartemen. Sekat tersebut berfungsi sebagai penghubung antara dua kompartemen serta menjaga kondisi anaerob pada ruangan anoda. Limbah dari ruang anoda, yang bervolume 3 liter, akan menuju ke ruang katoda yang juga bervolume 3 liter. Pada ruang katoda terdapat dua selang. Selang pertama sebagai selang arus balik limbah cair tapioka dari katoda ke anoda. Selang kedua sebagai selang arus limbah cair tapioka dari katoda ke bak penampung kedua. Limbah cair tapioka dialirkan (*loading time*) dengan interval 96 jam.

Perbanyak bakteri

Bakteri *Serratia*, *Pseudomonas*, dan *Enterobacter* yang ditanam pada modifikasi medium Dumestre *et al.* (1997) selanjutnya difermentasi pada media Nutrient Broth (NB).

Satu tabung biakan bakteri dilarutkan ke dalam 10 ml NB, biakan dikerik lalu dimasukkan ke dalam 300 ml medium NB. Inkubasi dilakukan pada suhu 35°C selama 3 hari.

Amobilisasi bakteri dengan alginat (modifikasi Linko & Linko, 1984 dalam Roukas, 2006)

Hasil fermentasi pada media NB sebanyak 300 ml dicampurkan dengan 100 ml larutan alginat 4% sambil diaduk. Kemudian, biakan diekstrusikan dengan menggunakan 1 liter larutan CaCl₂ 0,15 M sambil diaduk, pengadukan diteruskan 20-30 menit setelah penuangan selesai. Penirisan dilakukan hingga tidak ada tetesan larutan CaCl₂. Matriks dicuci dengan buffer fosfat 100 mM. Matriks amobil dapat disimpan pada suhu 4°C.

Penghitungan bakteri (Ting & Sun, 2000 dalam Ha *et al.*, 2009)

Penghitungan jumlah bakteri setelah amobilisasi dilakukan dengan melakukan penghitungan angka lempeng total pada bakteri dengan menggunakan EDTA sebagai pengencer (pelarut) dan menggunakan medium Plate Count Agar (PCA) sebagai media pertumbuhan.

Pengukuran parameter limbah cair tapioka

Parameter COD diukur dengan metode spektrofotometri HACH DR 3800, diuji menggunakan vial reagen potasium dikromat yang selanjutnya diinkubasi pada *reactor digestion* selama 2 jam pada suhu 150°C. Setelah dingin, vial dibaca absorbansinya dengan spektrofotometer HACH DR3800. Parameter pH diukur dengan metode potensiometri yaitu menggunakan elektroda pH meter. Parameter sianida (CN) diukur dengan metode spektrofotometri HACH DR 3800, diuji menggunakan reagen *pyridine-pyrazolone*. Parameter amonia diukur dengan metode spektrofotometri, diuji dengan reagen Nessler. Parameter PTT diukur dengan menggunakan metode gravimetri. Pengukuran dilakukan secara triplo, dengan RSD tidak lebih dari 5%.

Pengukuran voltase

Voltase diukur dengan voltmeter [Fluke] dengan interval 24 jam, dari hari ke-1 hingga hari ke-7.

Analisa data

Nilai COD removal efficiency dihitung dengan rumus :

$$\text{COD efficiency} = \frac{\text{COD}_{\text{sebelum}} - \text{COD}_{\text{sesudah}}}{\text{COD}_{\text{sebelum}}} \times 100\%$$

Nilai CN removal efficiency dihitung dengan rumus :

$$\text{CN efficiency} = \frac{\text{CN}_{\text{sebelum}} - \text{CN}_{\text{sesudah}}}{\text{CN}_{\text{sebelum}}} \times 100\%$$

Nilai NH₃ removal efficiency dihitung dengan rumus :

$$\text{NH}_3 \text{ efficiency} = \frac{\text{NH}_3 (\text{sebelum}) - \text{NH}_3 (\text{sesudah})}{\text{NH}_3 (\text{sebelum})} \times 100\%$$

Nilai Coulomb efficiency (Ec) dihitung dengan rumus :

$$\text{Ec} = \frac{C_p}{C_n} \times 100\%$$

dimana, C_n dihitung dengan rumus :

$$C_n = \frac{F \cdot b \cdot V \cdot \Delta\text{COD}}{M}$$

Keterangan :

Ec = Coloumbic efficiency (%)

C_p = Total coloumb yang dihitung dengan menghitung integrasi arus per waktu

C_n = Total coloumb yang dapat dihasilkan oleh MFC berdasarkan teori

F = Konstanta Faraday's yaitu 96.485 C/mol

b = Jumlah mol yang dihasilkan oleh substrat yaitu 4

V = Volume substrat (L)

ΔCOD = Perbedaan konsentrasi substrat (g/L)

M = Berat molekul dari substrat yaitu 32

(Oh *et al.*, 2004).

Analisa data hasil pengukuran voltase dari hari ke-1 hingga ke-7 dilakukan dengan SPSS Anova. Hubungan antara voltase dengan COD dianalisa dengan SPSS tes hubungan Pearson. Komparasi hasil bioremediasi dari ketiga bakteri dengan kontrol dilakukan secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perakitan MFC

MFC dirakit dengan desain satu ruang dan tanpa membran, perakitan tanpa membran bertujuan untuk membuat MFC yang ekonomis. MFC dirakit dengan kapasitas volume 6 liter dan di-*running* pada suhu ruang (31 - 33°C) dengan pH sesuai dengan pH alami limbah. Hal tersebut bertujuan untuk mengadaptasikan sistem dengan kondisi lapangan serta membuat MFC menjadi suatu perangkat yang efisien tanpa pen-*setting*-an yang rumit. Pemasangan MFC di IPAL industri yang telah memiliki instalasi metana diharapkan pada aliran sebelum reaktor metana atau kolam biogas. Hal ini bertujuan untuk menurunkan kadar sianida yang dapat membunuh bakteri metanogen alami ataupun methanogen yang ditambahkan melalui kotoran ternak. Hal tersebut juga bertujuan untuk menghidrolisis substansi kompleks dari limbah cair, sehingga mempercepat proses metanogenesis.

B. Amobilisasi bakteri

Amobilisasi sel adalah penempelan sel atau bagian sel pada fase padat yang

memungkinkan terjadinya pertukaran substrat, produk, inhibitor, dan lainnya sekaligus memisahkan biomassa sel katalitik dari media fermentasi yang mengandung substrat dan produk (Ramakrishna dan Prakasham, 1999).



Gambar 2. Hasil amobilisasi bakteri

Pengujian keberhasilan amobilisasi alginat dalam mengikat sel bakteri dibuktikan dengan cara menghitung angka lempeng total (ALT) bakteri pada medium PCA. Pada awal sebelum amobilisasi, pengenceran bakteri dilakukan dengan buffer pepton. Pada proses setelah amobilisasi, pengenceran bakteri-alginat dilakukan dengan menggunakan EDTA. Alginat sensitif terhadap agen *chelating* dan *non chelating*. Alginat mudah larut pada EDTA, yang merupakan salah satu agen *chelating* (Ting dan Sun, 2000 dalam Ha et al., 2009).

Tabel 3. Perbandingan jumlah koloni dan sesudah amobilisasi

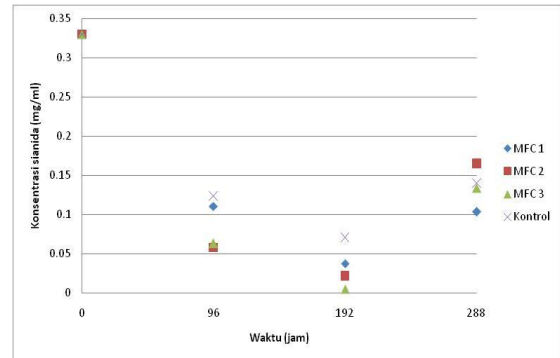
Genus	ALT sebelum amobilisasi (koloni/g)	ALT sesudah amobilisasi (koloni/g)
<i>Pseudomonas</i>	$3,4 \times 10^{12}$	$9,8 \times 10^{10}$
<i>Serratia</i>	$5,6 \times 10^{12}$	$7,4 \times 10^{10}$
<i>Enterobacter</i>	$8,4 \times 10^{12}$	$3,9 \times 10^{10}$

Hasil ALT pada Tabel 3. dapat terlihat secara deskriptif bahwa proses amobilisasi berhasil dilakukan. Analisa komparasi juga menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan dari jumlah bakteri sebelum dan sesudah amobilisasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa amobilisasi bakteri *Pseudomonas*, *Serratia* dan

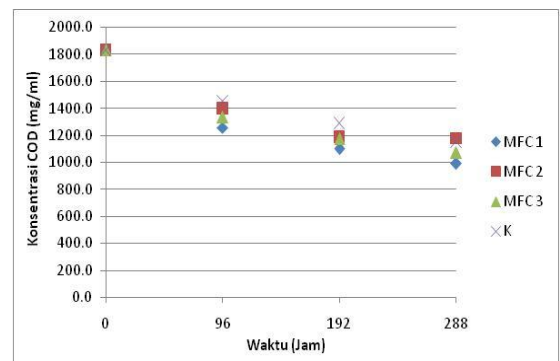
Enterobacter dengan alginat berhasil dilakukan.

C. Bioremediasi air limbah tapioka

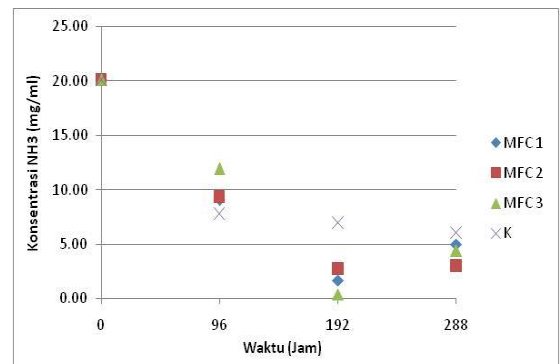
Bioremediasi limbah air tapioka pada parameter pH, COD, sianida, amonia, PTT dan DHL ditunjukkan pada Gambar 3.



(a) Sianida



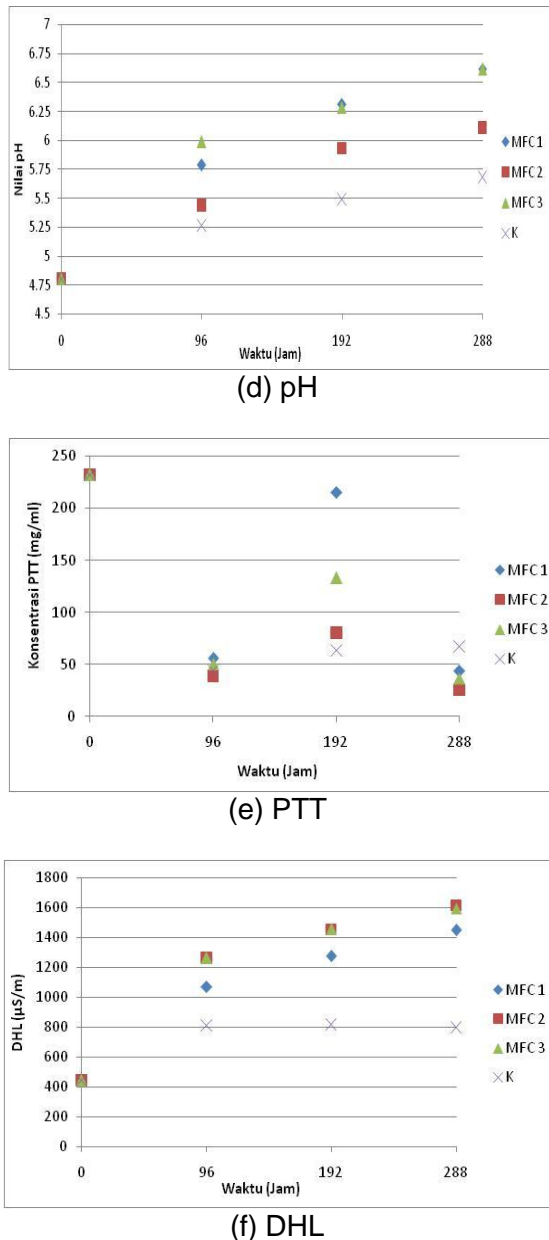
(b) COD



(c) Amonia

Gambar 3. Konsentrasi pada parameter sianida (a); COD (b); amonia (c); pH (d); PTT (e); dan DHL (f).

- MFC 1: MFC dengan biakan *Serratia* teramobilisasi
- MFC 2: MFC dengan biakan *Pseudomonas* teramobilisasi
- MFC 3: MFC dengan biakan *Enterobacter* teramobilisasi



Gambar 3. Konsentrasi pada parameter sianida (a); COD (b); amonia (c); pH (d); PTT (e); dan DHL (f) (lanjutan).

MFC 1: MFC dengan biakan *Serratia* teramobilisasi

MFC 2: MFC dengan biakan *Pseudomonas* teramobilisasi

MFC 3: MFC dengan biakan *Enterobacter* teramobilisasi

Penurunan konsentrasi COD dan sianida dapat dilakukan oleh ketiga bakteri (*Serratia*, *Pseudomonas*, dan *Enterobacter*) dalam kondisi teramobilisasi. Ketiga MFC dapat menurunkan konsentrasi limbah cair tapioka pada parameter COD, NH_3 , CN dan PTT sesuai dengan KEP-

51/MENLH/10/1995.

Kisaran sianida *removal* yaitu 50 - 98,49%; COD *removal* yaitu 23,58 - 31,28%; serta NH_3 *removal* yaitu 40,55 - 98,01%. Penurunan angka COD pada ketiga MFC menunjukkan adanya penurunan zat-zat organik, yang telah dioksidasikan melalui proses mikrobiologis.

Enterobacter teramobilisasi dapat menurunkan kadar sianida hingga 0,050 mg/ml pada jam ke-192 jika dibandingkan dengan kontrol 0,071 mg/ml. *Pseudomonas* teramobilisasi dapat menurunkan kadar sianida hingga 0,058 mg/ml pada jam ke-96 jika dibandingkan dengan kontrol 0,124 mg/ml. *Enterobacter sakazakii* (Ninan *et al.*, 2013) dan *Pseudomonas putida* (Quesada *et al.*, 2007) dapat menggunakan sianida sebagai sumber karbon dan nitrogen. *Pseudomonas stutzeri* AK61 menghasilkan sianidase yang dapat mengkonversi sianida menjadi amonia dan asam formik (Watanabe *et al.*, 1998). Pada *Enterobacter* dan *Pseudomonas*, sianida dan amonia menunjukkan penurunan dari jam ke-0 hingga jam ke-96. Sianida terkonversi menjadi amonia, dan amonia digunakan sebagai sumber nitrogen. Itoh *et al.* (2007) menyatakan bahwa pada *Pseudomonas* dan *Enterobacter*, amonia merupakan sumber nitrogen yang paling efisien dalam mengaktifkan sistem pengaturan gen NtrB - NtrC. Penurunan kadar sianida dan amonia diikuti dengan penurunan voltase.

Efisiensi NH_3 *removal* dari penelitian Lu *et al.* (2009) yang menggunakan *single chamber MFC-air cathode* dengan substrat limbah cair tapioka dan konsorsium *Bacillus* adalah 65%. Efisiensi NH_3 *removal* dari penelitian ini, yang menggunakan *single chamber MFC* dengan substrat limbah cair tapioka dan bakteri indigenous adalah 98,01%. Kedua penelitian menggunakan MFC yang anaerobik, sehingga memungkinkan untuk terjadinya denitrifikasi atau degradasi nitrogen pada kondisi anaerobik. Kondisi tersebut juga memungkinkan adanya oksidasi anaerobik amonia yang mengubah amonia langsung menjadi gas nitrogen

(Dong *et al.* dalam Lu *et al.* 2009).

D. Voltase dan Coloumbic Efficiency (Ec)

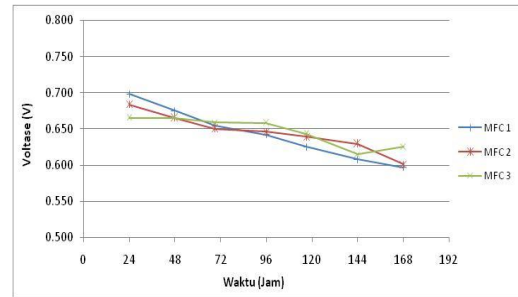
Produksi listrik menggunakan materi organik dari limbah cair tapioka telah terbukti dapat dilakukan (Tabel 4.). Penelitian menunjukkan penambahan *Serratia* yang teramobilisasi pada limbah cair tapioka menghasilkan voltase terbesar.

Tabel 4. Perbandingan produksi voltase dari limbah cair tapioka pada beberapa penelitian.

Jenis MFC	Biokatalis	Voltase (mV)	Penelitian
Dual chamber CEM	<i>S. cerevisiae</i>	570	Cahyani (2011)
Single chamber Non membrane	Activated sludge	180	Kaewkanetra <i>et al.</i> (2011)
Dual chamber PEM	Anaerob bacteria	612	Rachma <i>et al.</i> (2010)
Dual chamber PEM	Consortium of <i>Bacillus</i>	490.8	Lu <i>et al.</i> (2009)
Single chamber Non membrane	<i>Serratia</i>	698	This study
	<i>Pseudomonas</i>	684	
	<i>Enterobacter</i>	665	

Penggunaan bakteri teramobilisasi pada instalasi MFC memiliki dua aspek keuntungan. Pertama, bakteri tidak terbawa arus pada IPAL. Hal tersebut akan memungkinkan bakteri terus melakukan metabolisme (reaksi oksidasi) dengan limbah cair tapioka, pada kompartemen MFC. Sehingga, interaksi metabolisme yang terus menerus terjadi di kompartemen MFC memperpanjang fase stasioner dari beda potensial yang dihasilkan. Hal tersebut ditunjukkan oleh hasil uji Anova dua arah menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara voltase pada hari ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, ke-5, ke-6 dan ke-7 dari ketiga MFC. Kedua, struktur gel alginat mudah terbuka oleh pertumbuhan sel pada gel serta produksi karbon dioksida (Ting & Sun, 2000 dalam Ha *et al.*, 2009), sehingga bakteri dapat tetap membentuk biofilm pada anoda. Kondisi fase stasioner menurut Lu *et al.* (2009) juga disebabkan karena

substrat yang digunakan ialah limbah, dengan gugus organik yang kompleks.



Gambar 4. Voltase dari ketiga MFC.

Keterangan:

MFC 1 : MFC dengan biakan *Serratia* teramobilisasi

MFC 2 : MFC dengan biakan *Pseudomonas* teramobilisasi

MFC 3 : MFC dengan biakan *Enterobacter* teramobilisasi

Hasil uji Anova juga menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antara voltase pada MFC 1, MFC 2, serta MFC 3. Sehingga, ketiga bakteri teramobilisasi (*Serratia*, *Pseudomonas* dan *Enterobacter*) dapat digunakan sebagai bakteri inokulan di instalasi MFC pada substrat limbah cair tapioka. Du *et al.* (2007) menyatakan mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai katalis MFC adalah mikroorganisme yang dapat mentransfer elektron dari metabolisme bahan organik ke elektroda (anoda). Bakteri dapat melakukan transfer elektron dengan menggunakan enzim redoks seperti sitokrom pada membran luar sel atau menggunakan elektron carrier yang terlarut. Beberapa contoh mikroorganisme tersebut adalah *Pseudomonas aeruginosa* (Rabaey *et al.*, 2004), *Enterobacter aerogens* (Tanisho *et al.*, 1989), dan *Serratia marcescens* (Ghanapriya *et al.*, 2010).

Konsentrasi COD dapat diturunkan oleh ketiga instalasi MFC. Penurunan COD signifikan terjadi pada jam ke-96, oleh MFC 1. COD removal makin naik seiring dengan lamanya perlakuan. Nilai removal tertinggi ditunjukkan pada MFC 1 di hari ke-12. Hasil uji korelasi Pearson menyatakan bahwa korelasi antara COD removal dengan voltase yang dihasilkan adalah tidak signifikan. Hal tersebut terjadi karena elektron yang dihasilkan dari metabolisme yaitu pada fase transfer

elektron tidak seluruhnya ditangkap atau ditransfer ke anoda. Beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah difusi oksigen, oksidasi dengan akseptor elektron lain, produksi biomasa serta proses fermentasi (Liu *et al.*, 2004). Kehilangan energi juga dapat terjadi karena overpotensial serta hilangnya hambatan karena hambatan dalam.

Tabel 5. Data hasil ketiga MFC pada jam ke-96.

Sampel	COD removal (%)	Voltase (V)	Daya (W/m ²)	Ec (%)
MFC 1	31,2842	0,642	0,30085	5,356
MFC 2	23,5792	0,646	0,30461	7,150
MFC 3	27,1038	0,658	0,31603	6,336

Nilai Ec yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 5,356 - 7,150%. Liu *et al.* (2004) menyatakan Ec yang dihasilkan dari instalasi MFC yang menggunakan materi organik campuran (limbah pabrik atau limbah rumah tangga) sebagai sumber karbonnya berkisar antara 3-12%. Ec yang rendah merupakan suatu kendala pada MFC dengan substrat limbah, hal tersebut dikarenakan ada elektron aseptor lain (yang ada di limbah) seperti sulfat dan nitrat. Efek dari difusi oksigen dari katoda menuju anoda menghasilkan degradasi aerob dari substrat sehingga degradasi anaerob substrat menjadi lebih rendah. Saat degradasi anaerob untuk menghasilkan listrik menjadi rendah maka Ec akan turun (Liu *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2005; Lu *et al.*, 2009).

Nilai Ec yang dihasilkan dari penelitian ini masih lebih kecil dibandingkan dengan nilai Ec pada penelitian Kaewkannetra *et al.* (2011). Hal tersebut dapat terjadi karena nilai hambatan yang masih besar pada instalasi MFC pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Serratia, *Pseudomonas* serta *Enterobacter* teramobilisasi dapat diaplikasikan pada bioremediasi limbah cair tapioka pada *Microbial Fuel Cell* (MFC). Hasil *removal* dari ketiga instalasi MFC adalah sianida *removal* yaitu 50 - 98,49%; COD *removal* yaitu 23,58 -

31,28%; serta NH₃ *removal* yaitu 40,55 - 98,01%. Voltase (mV) maksimum dari MFC-*Serratia* teramobilisasi, MFC-*Pseudomonas* teramobilisasi dan MFC-*Enterobacter* teramobilisasi adalah 698, 684 dan 665.

DAFTAR PUSTAKA

- Akcil, A., Karahan, A.G., Ciftci, H., and Sagdic, O. (2003). Biological treatment of cyanide by natural isolated bacteria (*Pseudomonas* sp.). *Minerals Engineering*. 16(7): 643-649.
- Bioremediation services Inc., (2014). *Methanogens*. Retrieved from <http://www.bioremediationservices.com/archaea---themicroorganism.html>, diakses pada 21 Maret 2014.
- BPS. (2014). *Tanaman Pangan*. Retrieved from http://www.bps.go.id/tnmn_pgn.php, diakses pada 20 Maret 2014.
- Cahyani, F.N. (2011). Tapioca waste water for electricity generation in microbial fuel cell (MFC) system. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE volume 6*: 218-220. Singapore: IACSIT Press.
- Colleran, E. (1997). Uses of bacteria in bioremediation. *Bioremediation Protocols; Methods in Biotechnology*. 2:3-22.
- Du, Z., Li, H., and Gu, T. (2007). A state of the art review on Microbial Fuel Cell: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances*. 25: 464-482.
- Dumestre, A., Chone, T., Portal, J., Gerard, M., and Berthelin, J. (1997). Cyanide degradation under alkaline condition by a strain of *Fusarium solani* isolated from contaminated soils. *Applied and Environmental Microbiology*. 63(7): 2729-2734.
- FAO. (2013). *Food and Agricultural commodities production*. Retrieved from <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. diakses pada 13 Oktober 2014.
- Ghanapriya, K., Rana, S., and Kalaichelvan, P.T. (2010). Electricity

- Generation from *Serratia marcescens* isolated from aerobic sludge using microbial fuel cell technology and its optimization. *Advanced BioTech.* 9(10): 23-31.
- Gijzen, H.J., Bernal, E., and Ferrer, H. (2000). Cyanide toxicity and cyanide degradation in anerobic wastewater treatment. *Wat. Res.* 34(9): 2447-2454.
- Ha, J., Engler, C.R., and Wild, J.R. (2009). Biodegradation of coumaphos, chlorferon, and diethylthiophosphate using bacteria immobilized in Ca-alginate gel beads. *Bioresource Technology.* 100(3): 1138-1142.
- Itoh, Y., Nishijyo, T., and Nakada, Y. (2007). Histidine catabolism and catabolite regulation. *Pseudomonas:* 371-395.
- Kaewkannetra, P., Chiwes, W., and Chiu, T.Y. (2011). Treatment of cassava mill wastewater and production of electricity through microbial fuel cell technology. *Fuel.* 90: 2746-2750.
- Kao, C.M., Liu, J.K., Lou, H.R., Lin, C.S., and Chen, S.C. (2003). Biotransformation of cyanide to methane and amonia by *Klebsiella oxytoca*. *Chemosphere.* 50: 1055-1061.
- Liu, H., Ramnatayanan, R., and Logan, B.E. (2004). Production of Electricity During Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Environ. Sci. Technol.* 38: 2281-2285.
- Liu, H., Cheng, S., and Logan, B.E. (2005). Power generation in fed-batch microbial fuel cells as a function of ionic strength, temperature and reactor configuration. *Environ. Sci. Technol.* 39: 5488-5493.
- Logan, B.E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schroder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., W. Verstraete, and K. Rabaey. (2006). Microbal fuel cells: Methodology and Technology. *Environmental Science & Technology*, 40(17): 5181-5192.
- Lu, N., Zhou, S., Zhuang, L., and Ni, J.R. (2009). Electricity generation from starch processing wastewater using microbial fuel cell technology. *Biochemical Engineering Journal*, 43(3): 246-251.
- Mtambanengwe, K. and Fogel, R. (2014). Microbial fuel cell use in bioremediation and harvesting of energy from waste. Retrieved from <http://scienceinafrica.com/biotechnology/energy/microbial-fuel-cell-use-bioremediation-and-harvesting-energy-waste#sthash.Rrv9kWhT.dpuf>, diakses pada 21 Maret 2014.
- Ninan, A., Bharathi, S., and Prabakaran, J.H. (2013). Molecular characterization of cyanide degrading bacterium *Enterobacter sakazaii* isolated from sago facory effluent. *Asia Pasific Journal of Research*, 1(7): 43-57.
- Oh, S., Min, B., and Logan, B.E. (2004). Cathode Performance as a Factor in Electricity Generation in Microbial Fuel Cells, *Environ. Sci. Technol.* 38: 4900-4904.
- Oktarina, E., Setiawati, I., and Adrianto, R. (2014). Isolasi bakteri indigenous dari limbah cair tapioka dan aplikasinya dalam penurunan kadar COD dan sianida. *Teknologi Industri.* (In press).
- Quesada, A., Guijo, M.I., Merchan, F., Blazquez, B., Igeno, M.I., and Biasco, R. (2007). Essential role of cytochrome bd-related oxidase in cyanide resistance of *Pseudomonas pseudoalcaligenes*. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(16): 5118-5124.
- Rabaey, K., Boon, N., Siciliano, S.D., Verhaege, M., and Verstraete, W. (2004). Biofuel Cells Select for Microbial Consortia That Self-Mediate Electron Transfer. *Applied and environmental microbiology*, 70(9): 5373-5382.
- Rachma, R.M., Reinaldo, V., Muhyinsyah, A., and Setiadi, T. (2010). Electricity Generation from Tapioca Wastewater Using a Microbial Fuel Cell (MFC). diakses dari <http://ppprodtk.fti.itb.ac.id/tjandra/wp-content/uploads/2010/04/Publikasi-No-113.pdf>

- Ramakrishna, S.V. and Prakasham, R.S. (1999). Microbial fermentations with immobilized cells. *Current Science*, 77 (1): 1-29.
- Roukas, T. (2006). Biotechnology of citric acid production. dalam Food biotechnology, 2nd ed. CRC Taylor & Francis. ed by Sheety, K., G. Paliyath, A. Pometto, & R.E. Levin. <http://books.google.co.id/books?id=E3bvD2jU4B0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>, diakses pada 15 Desember 2013.
- Smith, M.R., Lequerica, J.L., and Hart, M.R. (1985). Inhibition of methanogenesis and carbon metabolism in *Methanosarcina* sp. by cyanide. *J. Bacteriol*, 162(1): 67-71.
- Tanisho, S., Kamiya, N., and Wakao, N. (1989). Microbial fuel cell using *Enterobacter aerogenes*. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 275(1): 25-32.
- Watanabe, A., Yano, K., Ikebukuro, K., and Karube, I. (1998). Cyanide hydrolysis in a cyanide-degrading bacterium, *Pseudomonas stutzeri* AK61, by cyanidase. *Microbiology*, 144: 1677-1682.