

**PENGARUH JUMLAH PASANGAN ELEKTRODA TERHADAP
POTENSI LISTRIK *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) BERBASIS
GERABAH DAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



**Disusun oleh :
Emut Sukma Sejati
16630030**

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

**kepada
PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
2020**



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1968/Un.02/DST/PP.00.9/08/2020

Tugas Akhir dengan judul : Pengaruh Jumlah Pasangan Elektroda Terhadap Potensi Listrik Microbial Fuel Cell (MFC) Berbasis Gerabah dan Limbah Cair Terhadap Tempe.

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : EMUT SUKMA SEJATI
Nomor Induk Mahasiswa : 16630030
Telah diujikan pada : Senin, 24 Agustus 2020
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Sudarlin, M.Si.

SIGNED

Valid ID: 5f507b8c3d931



Penguji I

Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si.

SIGNED

Valid ID: 5f4df56613160



Penguji II

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.

SIGNED

Valid ID: 5f50889ff11dd

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Yogyakarta, 24 Agustus 2020

UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si.

SIGNED

Valid ID: 5f51a7d3a0ca9



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp :-

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Emut Sukma Sejati

NIM : 16630030

Judul Skripsi : Pengaruh Jumlah Pasangan Elektroda terhadap Potensi Listrik
Microbial Fuel Cell (MFC) Berbasis Gerabah dan Limbah Cair
Industri Tempe

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Agustus 2020

Pembimbing



Sudarlin, M. Si

NIP. 19850611 201503 1 002



NOTA DINAS KONSULTASI

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Emut Sukma Sejati
NIM : 16630030
Judul Skripsi : Pengaruh Jumlah Pasangan Elektroda terhadap Potensi Listrik
Microbial Fuel Cell (MFC) Berbasis Gerabah dan Limbah Cair
Industri Tempe

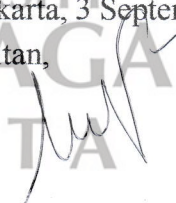
sudah benar sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 3 September 2020
Konsultan,


Dr. Maya Rahmayanti, M.Si.

NIP. 19810627 200604 2 003



NOTA DINAS KONSULTASI

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Emut Sukma Sejati

NIM 16630030

Judul Skripsi : Pengaruh Jumlah Pasangan Elektroda terhadap Potensi Listrik
Microbial Fuel Cell (MFC) Berbasis Gerabah dan Limbah Cair
Industri Tempe

sudah benar sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 3 September 2020

Konsultan, -

Dr. Imelda Fajriati, M. Si

NIP. 19750725 2000003 2 001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Emut Sukma Sejati

NIM : 16630030

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah asli hasil penelitian peneliti sendiri dan bukan plagiasi karya orang lain kecuali bagian-bagian yang dirujuk sumbernya.

Yogyakarta, 3 September 2020



Emut Sukma Sejati
NIM. 16630030

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

Jadilah Otaku, atau apapun yang membahagiakanmu.



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada Almamater Kimia UIN Sunan Kalijaga



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Pengaruh Jumlah Pasangan Elektroda terhadap Potensi Listrik *Microbial Fuel Cell* (MFC) Berbasis Gerabah dan Limbah Cair Industri Tempe. Penelitian skripsi telah dilaksanakan di Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga mulai bulan Februari hingga April 2020.

Penyusunan skripsi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penyelesaian skripsi. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penyusun sampaikan kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Susy Yunita Prabawati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia.
3. Bapak Sudarlin, M.Si. selaku dosen pembimbing skripsi.
4. Bapak dan ibu jajaran Pranata Laboratorium (PLP) Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penelitian di laboratorium.
5. Fathinnada Sensei, tanpanya, mungkin penyusun sudah tak bernapas lagi.
6. Nadya, Bu Arum, Rara, Mbak Be, dan Ulpahjon yang telah membantu penyusun menyambung hari-harinya.
7. Hijikata Toshiro dan Sorachi Hdeaki Sensei sebagai *support system*.

Penyusun menyadari skripsi ini memiliki banyak kekurangan, oleh sebab itu kritik dan saran penyusun dibutuhkan demi perbaikan selanjutnya. Penyusun berharap supaya skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menjadi sumber referensi yang representatif, dijadikan sebagai acuan dalam melakukan kajian riset.

Yogyakarta, 10 Agustus 2020

Emut Sukma Sejati

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	ii
Halaman Motto	iii
Halaman Persembahan	iv
Kata pengantar	v
Daftar Isi.....	vi
Dafta Gambar	vii
Daftar Tabel.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Landasan Teori.....	9
C. Hpotesis	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
A. Waktu dan Tempat Penelitian	21
B. Alat-alat Penelitian	21
C. Bahan Penelitian.....	21
D. Cara Kerja Penelitian.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
A. Elektrisitas MFC.....	24
B. BOD dan COD Limbah Tempe.....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	33
A. Kesimpulan	33
B. Saran	34
DAFTAR ISI	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema transfer elektron	11
Gambar 2.2 Skema transfer elektron tidak langsung	12
Gambar 2.3 MFC <i>dual-chamber</i>	13
Gambar 2.4 MFC <i>single-chamber</i>	14
Gambar 3.1 Skema MFC <i>double chamber</i> menggunakan membran gerabah.....	22
Gambar 4.2 Pengaruh jumlah pasangan elektroda terhadap kuat arus dari ketiga reaktor MFC	27
Gambar 4.3 Pengaruh jumlah pasangan elektroda terhadap voltase dari ketiga reaktor MFC	28
Gambar 4.4 Grafik rata-rata voltase (V) dan kuat arus (mA)	29

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hasil analisis kandungan limbah cair pabrik tempe.....	17
Tabel 4.1. BOD dan COD tiga pasang elektroda	31



PENGARUH JUMLAH PASANGAN ELEKTRODA TERHADAP POTENSI LISTRIK *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) BERBASIS GERABAH DAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE

Oleh:
Emut Sukma Sejati

ABSTRAK

Gerabah sebagai membran pemisah yang murah telah banyak diaplikasikan dalam *Microbial Fuel Cell* (MFC) *dual-chamber*. Pori-porinya yang besar dan kelebihan secara kimia dan fisiknya membuat gerabah sesuai sebagai pengganti membran pemisah yang mahal. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan elektrisitas MFC berbasis gerabah dengan menggunakan jumlah pasangan elektroda yang berbeda-beda. Bagaimanapun, penelitian gerabah dengan jumlah pasangan elektroda yang berbeda-beda belum pernah dipublikasikan sebelumnya. Penelitian ini menggunakan limbah tempe sebagai anolit dan KMnO_4 sebagai katolit untuk mendapatkan elektrisitas. Limbah tempe diinkubasi selama 24 jam sebelum pemakaian. MFC dijalankan selama 42 jam dengan pemeriksaan voltase dan kuat arus setiap dua jam sekali. Tiga macam jumlah pasangan elektroda diukur pada waktu dengan interval yang sama. Data yang didapatkan diproses secara statistic menggunakan tes *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui signifikansi dari perbedaan voltase, kuat arus, dan *power density* sebagai parameternya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan elektrisitas dari tiga pasang elektroda memiliki rata-rata *power density* tertinggi, yaitu $1.447,91 \text{ mW/m}^2$, perbedaan dengan rata-rata dua dan tiga pasang elektroda adalah sekitar 588 mW/m^2 dan dengan satu pasang elektroda sekitar 910 mW/m^2 . Perbedaan dari parameter elektrisitas signifikan terhadap satu, dua, dan tiga pasang elektroda. *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) menurun setelah sistem dijalankan.

Kata kunci : *dual chamber*, kuat arus, voltase, *power density*, COD, BOD, ANOVA

THE EFFECT OF MULTIPLE ELECTRODES PAIRS TO ELECTRICITY POTENTIAL OF CERAMIC BASED AND TEMPE WASTE MICROBIAL FUEL CELL

By :

Emut Sukma Sejati

ABSTRACT

Ceramic as low cost separator membrane has widely applied in dual chambered Microbial Fuel Cell (MFC). Its big pores and other chemical and physical advantages make it suitable to substitute expensive exchange separator membrane. The purpose of this study is to enhance the electricity of ceramic based microbial fuel cell by using multiple number of carbon electrode pairs. However, the study of ceramic with multiple carbon electrode pairs has never been published before. This study use tempe waste as anolyte and $KMnO_4$ as its catholyte to gain electricity. Tempe waste is incubated for 24 hours before using. Running of the MFC is 48 hours straight with voltage and current check every 2 hours. Three variety of electrode pairs are checked together in the same interval. Those data processed statistically using Analysis of Variance (ANOVA) test to examine the significant difference of the voltage, current, and power density as the parameters. The result of this study shows that the electricity of three electrode pairs has the higher average of power density with the number $1447,91 \text{ mW/m}^2$, the difference between three and two electrode pairs is around 588 mW/m^2 and between three and one electrode pairs is 910 mW/m^2 . It has significant difference between one, two, and three electrode pairs in the parameters. Chemical Oxygen Demand (COD) and Biochemical Oxygen Demand (BOD) dropped down after the running system.

Keyword: dual chamber, current, voltage, power density, COD, BOD, ANOVA

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang menjanjikan karena kemampuannya dalam menghasilkan listrik secara langsung dari limbah organik. MFC memiliki potensi yang tinggi dalam menyelesaikan masalah limbah dan kebutuhan listrik manusia. Limbah organik yang digunakan dalam sistem MFC dapat menghasilkan listrik sekaligus menurunkan BOD dan COD limbah tersebut (Garba *et al.*, 2017).

Umumnya, MFC di skala laboratorium terdiri dari dua bagian, yaitu ruang anoda dan ruang katoda yang dipisahkan oleh *Proton Exchange Membrane* (PEM). Anoda merupakan tempat oksidasi substrat seperti glukosa, asetat, dan limbah organik yang menghasilkan proton dan elektron. Elektron berpindah ke ruang katoda melalui sirkuit eksternal dan menghasilkan aliran listrik. Proton yang dihasilkan berpindah melewati PEM ke ruang katoda untuk bertemu elektron (Rahimnejad *et al.*, 2014). Fungsi lain dari keberadaan PEM adalah mengurangi densitas daya dengan menaikkan resistansi internal (Daud *et.al.*, 2018).

Salah satu jenis PEM yang potensial adalah gerabah. Andika dan Sudarlin (2020) melakukan penelitian dengan limbah tempe dan membran gerabah dengan ketebalan 1 cm yang dibandingkan dengan reaktor kontrol dengan jembatan garam. Kuat arus maksimum yang dihasilkan oleh reaktor gerabah sebesar 7,74 mA, lebih besar daripada kuat arus yang dihasilkan oleh reaktor kontrol sebesar 0,79 mA.

Meskipun begitu, reaktor dengan PEM gerabah milik Andika masih menghasilkan *power density* yang lebih rendah dari penelitian lainnya. Chen *et al.* (2012) menggunakan MFC *single chamber* dengan katoda yang langsung berinteraksi dengan udara menunjukkan *power density* maksimum sebesar 2676 mW/m^2 , lebih besar daripada *power density* maksimum milik Andika dan Sudarlin yang hanya mencapai $2197,343 \text{ mW/m}^2$. MFC *single chamber* tidak memiliki ruang anoda sehingga memanfaatkan oksigen dari udara yang akan langsung berinteraksi dengan katoda yang juga akan berfungsi sebagai pembatas seperti halnya PEM pada MFC *dual chamber*. Chen *et al.* menggunakan katoda besi yang dilapisi dengan keramik komposit yang memiliki kemampuan tinggi untuk berinteraksi dengan oksigen. Penelitian yang serupa dengan Chen *et al.* dilakukan oleh Kumar *et al.* pada tahun 2014 dan menghasilkan *power density* yang lebih tinggi dari Andika (2020) dan Chen *et al.* yaitu sebesar 3359 mW/m^2 . Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada reaktor MFC *dual chamber* untuk memaksimalkan efisiensi reaktor MFC dengan konstruksi skala laboratorium yang mudah dan murah.

Memperbesar luas permukaan elektroda merupakan salah satu cara meningkatkan efisiensi reaktor MFC (Sinaga *et al.*, 2014). Sinaga *et al.* menggunakan substrat *whey* tahu dalam sistem MFC dengan variasi luas permukaan elektroda sebesar $13,29 \text{ cm}^2$, $26,58 \text{ cm}^2$, $39,87 \text{ cm}^2$, dan $53,16 \text{ cm}^2$. Studi ini menunjukkan beda potensial tertinggi dihasilkan oleh luas permukaan $53,16 \text{ cm}^2$ yaitu sebesar $40,67 \text{ mV/100 mL}$ untuk substrat *whey* tahu dan 300

mV/100 mL untuk substrat glukosa. Hal tersebut membuktikan bahwa potensi listrik meningkat sesuai dengan peningkatan luas permukaan elektroda.

Menurut Sadeqzadeh *et al.* (2012), luas permukaan elektroda yang besar dapat menangkap elektron lebih banyak pada permukaannya sehingga menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Sadeqzadeh *et al.* melakukan penelitian dengan luas elektroda yang berbeda pada MFC dual chamber, yaitu 12, 16, 20, 24 cm². Potensi listrik tertinggi dihasilkan oleh elektroda dengan luas permukaan sebesar 20 cm² sebesar 76,5 mW/m². Hal ini dapat terjadi karena interaksi mikroorganisme dengan elektroda yang baik. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa peluang bakteri untuk menempel pada elektroda memiliki keterbatasan transfer massa pada elektroda dengan luas area yang lebih besar.

Variasi jumlah elektroda yang dilakukan oleh Ibrahim *et al.* (2017), yaitu menggunakan satu, dua, tiga, dan empat pasang elektroda untuk melihat pengaruh luas permukaan yang semakin besar pada MFC jembatan garam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa listrik yang optimal dihasilkan oleh MFC dengan dua pasang elektroda dengan voltase maksimum sebesar 0,41 V. Semakin banyak elektroda yang digunakan maka luas permukaan akan semakin besar. Semakin besar luas permukaan, maka elektrisitas semakin tinggi. Pengukuran elektrisitas maksimum terjadi pada reaktor MFC dengan empat pasang elektroda, yaitu 0,445 V. Tetapi, tidak ada perbedaan signifikan antara dua pasang elektroda, tiga pasang elektroda, dan empat pasang elektroda. Oleh karena itu, jumlah elektroda optimum adalah dua pasang elektroda karena sebagian besar voltase lebih tinggi daripada pengukuran lainnya. Hal itu dapat disebabkan oleh laju elektron yang cepat oleh pasangan

elektroda yang tidak diimbangi dengan laju proton melalui jembatan garam. Menurut penelitian oleh Andika pada tahun 2020 yang membandingkan reaktor MFC dengan PEM gerabah dan jembatan garam, menunjukkan bahwa PEM gerabah lebih optimal dari jembatan garam. Penelitian Andika dengan MFC berbasis gerabah menunjukkan voltase yang lebih tinggi dari Ibrahim *et al.* yaitu sebesar 0,845 V. Penelitian ini menggunakan jumlah pasangan elektroda satu, dua, dan tiga dan mengimbanginya dengan PEM gerabah.

Jumlah pasangan elektroda yang digunakan dalam penelitian ini bervariasi untuk menguji hubungannya dengan potensi listrik dari MFC berbasis gerabah dan substrat limbah cair tempe. Pembaharuan dari penelitian ini adalah variasi jumlah elektroda grafit yang akan digunakan sebagai anoda dan katoda. Parameter dari efisiensi sistem MFC adalah kuat arus (I), tegangan (V), *power density* (W), dan penurunan parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD).

B. Batasan Masalah

1. Limbah cair yang digunakan berasal dari industri pembuatan tempe di Condong Catur, Depok, Sleman, Yogyakarta tanpa dilakukan uji bakteri pada limbah.
2. Desain MFC yang digunakan adalah sistem *dual-chamber* MFC.
3. Variabel bebas yang digunakan adalah jumlah pasangan elektroda, yaitu satu pasang, dua pasang, dan tiga pasang elektroda.
4. Katolit yang digunakan adalah KMnO_4 sebagai penerima elektron di ruang katoda.

5. Parameter efisiensi dari sistem MFC yang diterapkan adalah kuat arus (I), tegangan (V), dan *power density* (W). Parameter pengolahan limbah adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD).

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh jumlah elektroda grafit terhadap potensi listrik sistem MFC berbasis gerabah dan limbah tempe berdasarkan parameter kuat arus (I), tegangan (V), dan *power density* (W)?
2. Berapa persentase penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dari MFC berbasis gerabah dan limbah cair tempe?

D. Tujuan penelitian

1. Menentukan pengaruh jumlah pasangan elektroda grafit terhadap potensi listrik sistem MFC berbasis gerabah dan limbah industri tempe berdasarkan parameter kuat arus (I), tegangan (V), dan *power density* (W).
2. Menentukan persentase penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dari MFC berbasis gerabah dan limbah cair tempe.

E. Manfaat Penelitian

1. Pemanfaatan dan pengolahan limbah yang menjadi masalah dalam masyarakat pada umumnya.
2. Pembuatan model MFC yang efisien, murah, dan mudah.
3. Pengembangan energi alternatif ramah lingkungan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah pasangan elektroda memiliki hubungan yang positif dan signifikan terhadap elektrisitas MFC. Parameter elektrisitas yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu kuat arus, voltase, dan *power density*, menunjukkan bahwa MFC dengan tiga pasang elektroda memiliki angka tertinggi. Rata-rata kuat arus tiga pasang elektroda adalah 2,51 mA. Rata-rata voltase tiga pasang elektroda adalah 0,127 V. Rata-rata *power density* tiga pasang elektroda adalah 1.447,911 mW/m². *Power Density* tertinggi dari seluruh pengukuran adalah 4.465,42 mW/m² dari MFC dengan tiga pasang elektroda. Voltase dalam penelitian ini lebih rendah daripada penelitian sebelumnya. Tetapi, *power density* maksimum dari penelitian ini lebih tinggi daripada MFC gerabah oleh Andika (2020) yang hanya mencapai 2.197 mW/m², sedangkan Ibrahim *et al.* (2017) yang menggunakan jembatan garam dan variasi jumlah pasangan elektroda memiliki voltase yang jauh lebih rendah daripada Andika (2020).
2. MFC adalah energi terbarukan yang mampu mengolah limbah dan menurunkan jumlah BOD dan COD limbah. Penurunan BOD dan COD dari limbah MFC dengan tiga pasang elektroda adalah 15.700 mg/L untuk BOD dan 106.430 mg/L untuk COD. Persentase penurunan untuk BOD adalah 33,98%, sedangkan untuk COD sebesar 88,88%.

B. Saran

MFC merupakan teknologi terbaru yang cukup menjanjikan dengan desain yang mudah dan bahan-bahan yang murah. Aplikasi gerabah pada MFC serta jumlah pasangan elektroda memberikan pengaruh yang positif terhadap elektrisitas MFC. Pemilihan membran gerabah dan material lain yang digunakan dalam MFC merupakan hal yang sangat penting. Luas permukaan elektroda berpengaruh terhadap kenaikan potensi listrik, tetapi material elektroda juga perlu diperhatikan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memaksimalkan pengaruh tersebut dan meningkatkan elektrisitas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwiansyah, Rico. 2013. Skripsi. *Biolistrik Limbah Cair Perikanan dengan Teknologi Microbial Fuel Cell Menggunakan Jumlah Elektroda yang Berbeda*. Program Studi Teknologi Hasil Perairan Institut Pertanian Bogor.
- Andika dan Sudarlin. 2020. *Pemanfaatan Gerabah dan Limbah Cair Tempe Sebagai Sumber Energi Alternatif Berbasis Microbial Fuel Cell (MFC)*. *Jurnal Inovasi dan Pengelolaan Laboratorium* 2:1.
- Arbianti, Rita, Tania Surya Utami, Ester Kristin, Ira Trisnawati, Sekar Puri Hardiyani, dan Astry Eka Citrasari. 2014. Penggunaan *Microbial Fuel Cell* untuk Pengolahan Limbah Cair Tempe dengan Mengukur Penurunan Nilai Chemical Oxygen Demand. *Prosiding SNSTL I*.
- Arbianti, Rita, Tania Surya Utami, Mariana, Nathania Dwi Karina, dan Vifki Leondo. 2018. The Effects of Biofilm and Selective Mixed Culture in the Electricity Outputs and Wastewater Quality of Tempe Liquid Waste Based Microbial Fuel Cell. *Journal Undip : Reaktor* 18 (2) :84-91.
- Ashoka, Hadagali, Shalini R., Pratima Bhat. 2012. Comparative Studies of Electrodes for the Construction of Microbial Fuel Cell. *International Journal of Advance Biotechnology and Research* (3) : 785-789.
- Behera, M. Jana, dan P.S. Ghangrekar M.M. 2010. Performance evaluation of Low Cost Microbial Fuel Cell Fabricated Using Eathern Pot with Biotic and Abiotic Cathodes. *Bioresource Technology* 101 (4) : 1183-1189.
- Carlos A. Ramirez Vargas, Amanda Prado, Carlos A. Arias, Pedro N. Carvalho, Abraham Esteve-Núñez, dan Hans Brix. 2018. Microbial Electrochemical Technologies for Wastewater Treatment: Principles and Evolution from Microbial Fuel Cell to Bioelectrochemical Based Constructed Wetlands (Review). *Water* (10) : 1128.
- Chen, Yanfeng, Jianming Xu, Zinsheng Lv, dan Dongqing Peng. 2012. Stainless Steel Mesh Coated with MnO₂ / Carbon Nanotube and Polymethylphenyl Siloxane as Low-Cost and High Performance Microbial Fuel Cell Cathode Materials. *Journal of Power Sources* 201 : 136-141.
- Daud, Siti Maryam, Wan Ramli Wan Daud, Byung Hong Kim, Mahendra Rao Somalu, Mimi Hani Abu Bakar, Andanastuti Muchtar, Jamaliah MD Jahim, Swee Su Lim, dan In Seop Chang. 2018. Comparison of Performance and Ionic Concentration Gradient of Two Chamber Microbial Fuel Cell Using Ceramic Membrane (CM) and Cation Exchange Membrane as Separators. *Electrochimica Acta* 256 : 365-376.
- Drisy C. M. dan Manjunath N. T. . 2017. Dairy Wastewater Treatment Electricity Generation Using Microbial Fuel Cell. *International Research Journal of Engineering and Technology* (8) : 1293-1296.

- Fan, Li-Ping dan Song Xue. 2016. Overview on Electricigens for Microbial Fuel Cell. *The Open Biotechnology Journal* (10) : 398-406.
- Garba, N.A., L. Sa'adu, dan M. B. Dambatta. 2017. An Overview of the Substrates used in Microbial Fuel Cells. *Greener Journal of Biochemistry and Biotechnology*.
- Ghadge, Anil N., Mypati Sreemannarayana, Narcis Duteanu, dan Makarand M. Ghangrekar. 2014. Influence of Ceramic Separator's Characteristics on Microbial Fuel Cell Performance. *Journal Electrochemistry Science Engineering* 4(4) : 315-326.
- He, Zhen dan LARGUS T. Angenent. 2006. Review : Application of Bcterial Biochatodes in Microbial Fuel Cells. *Electroanalysis* 18 : 19-20. Weinheim : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGsA.
- Ibrahim, Bustami, Ella Salamah, dan Rico Alwinskyah. 2017. *Pembangkit Biolistrik dari Limbah Cair Industri Perikanan Menggunakan Microbial Fuel Cell dengan Jumlah Elektroda yang Berbeda*. *Dinamika Maritim* 4 (1) : 1-9.
- Kristin, Ester. 2012. Skripsi. *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Kumar, G.G, Awan, Z., Nahm K.S., dan Xavier J.S. 2014. Nanotubular MnO₂ / grapheme Oxide Composites for the application of Open Air-Breathing Cathode Microbial Fuel Cells. Elseiver Journal; *Biosens. Bioelectron.*(53) : 528-534.
- Logan, Bruce E. dan Jenna Heilmann. 2006. Production of Electricity from Proteins using a Microbial Fuel Cell. *Water Environment Research* (78) : 531.
- Offei, Felix, Anders Thygesen, Moses Mensah, Kwame Tabbicca, Dinesh Fernando, Irina Petrushina, dan Geoffrey Daniel. 2015. A Viable Electrode Material for Use in Microbial Fuel Cells for Tropical Regions. *Journal of Energies MDPI*.
- Parkash, Anand. 2016. Microbial Fuel Cells : A Source of Bioenergy. *Journal of Microbial and Biochemical Technology* 8 (3) : 247-255.
- Purnama, Sang Gede. 2016. Modul. *Modul Analisis Dampak Limbah Cair Industri Tempe di Denpasar*. Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kedokteran Universitas Udayana.
- Radi, Muhammad Hadi dan Hassan Abdul Zehra Al-Fetlawi. 2017. Influence of Electrodes Characteristics on The Performance of a Microbial Fuel Cell. *Journal of Babylon University (Engineering Science)* 25 (4) : 1328-1338.
- Rahimnejad, Mostafa, Gholamreza BAKERI, Ghasem Najafpour, Mostafa Ghasemi, dan Sang Eun-Oh. 2014. A Review on The Effect of Proton Exchange Membranes in Microbial Fuel Cells. *Biofuel Research Journal* 1 : 7-15.

- Sadeqzadeh, M., Ghasemi, M., Jafary, T., Wan Daud, W.R., Ghannadzadeh, A., Salamatinia, B., Aly Hassan. 2012. Mass Transfer Limitation in Different Anode Electrode Surface Areas on the Performance of Dual Chamber Microbial Fuel Cell. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 8(4) : 320-325.
- Saravanan, M. dan M. Kartikheyen. 2018. Study of Single Chamber and Double Chamber Efficiency and Losses of Wastewater Treatment. *Internatonal Research Journal of Engineering and Technology* 5(3) :1225-1230.
- Sinaga, David Hamonangan, Linda Suyati, Agustina L.N., dan Aminin. 2014. *Studi Pendahuluan Pemanfaatan Whey Tahu sebagai Substrat dan Efek Luas Permukaan Elektroda dalam Sistem Microbial Fuel Cell*. *Jurnal Sains dan Matematika* 22(4) : 30-35.
- Singh, Shiv. 2018. Bio Energy Production Using Carbon Based Electrodes in Double an Single Microbial Fuel Cells : A review. *Progress in Petrochemical Science : Crimson Publishers*.
- Sitorus, Berlian. 2010. *Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba*. *Jurnal ELKHA* 2 (1).
- Syahri, M., Titk Mahargiani, Atras Ghali Indrabrata, dan One Olivia Orlanda. 2019. *Teknologi Bersih Microbial Fuel Cell dari Limbah Cair Tempe Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*.
- Ucar, Deniz, Yifeng Zhang dan Irimi Angelidaki. 2017. An Overview of Electron Acceptors in Microbial Fuel Cells. *Frontier Microbiology* 8 : 643.
- Winfield, Jonathan, Iwona Gajda, John Greenman, dan Ioannis Ieropoulos. 2016. A Review into The Use of Ceramics in Microbial Fuel Cells. *Journal of Bioresource Technology*.
- Zheng, Chunli, Ling Zhao, Xiaobai Zhou, Zhimin Fu dan An Li. 2012. Treatment Technologies for Organic Wastewater. *Intechopen Journal*.