

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF SEBAGAI KOMPOSIT MEMBRAN
GERABAH BENTONIT *MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) BERBASIS
SUBSTRAT LIMBAH CAIR TEMPE**

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia



**Disusun oleh:
Salman Maulana
176106030048**

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

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

2022



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-269/Un.02/DST/PP.00.9/01/2022

Tugas Akhir dengan judul : PEMANFAATAN KARBON AKTIF SEBAGAI KOMPOSIT MEMBRAN GERABAH BENTONIT MICROBIAL FUEL CELL (MFC) BERBASIS SUBSTRAT LIMBAH CAIR TEMPE

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SALMAN MAULANA
Nomor Induk Mahasiswa : 17106030048
Telah diujikan pada : Senin, 17 Januari 2022
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: 61f0f68c4f774



Penguji I

Khamidinal, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 61ef7c0e802f5



Penguji II

Atika Yahdiyani Ikhsani, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 61f0e1ffe4210



Yogyakarta, 17 Januari 2022
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 61f229d82340b

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Salman Maulana
NIM : 17106030048
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Komposit Membran Gerabah Bentonit *Microbial Fuel Cell* (MFC) Berbasis Substrat Limbah Cair Tempe”** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 07 Januari 2022



Salman Maulana
NIM.17106030048

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



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 selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Salman Maulana
NIM : 17106030048
Judul Skripsi : Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Komposit Membran Gerabah Bentonit *Microbial Fuel Cell* (MFC) Berbasis Substrat Limbah Cair Tempe

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

Wa'alaikumsalam wr. wb.

Yogyakarta, 26 Januari 2022
Konsultan

Atika Yahdiyani Ikhsani, M.Sc.
19920613 201903 2 014

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



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:

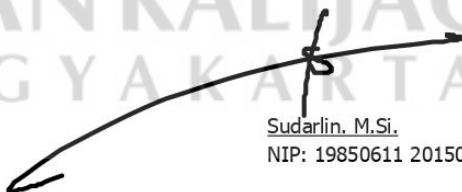
Nama : Salman Maulana
NIM : 17106030048
Judul Skripsi : Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Komposit Membran Gerabah Bentonit *Microbial Fuel Cell* (MFC) Berbasis Substrat Limbah Cair Tempe

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 Program Studi Kimia.

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 23 September 2021
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 selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Salman Maulana
NIM : 17106030048
Judul Skripsi : Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Komposit Membran Gerabah Bentonit *Microbial Fuel Cell* (MFC) Berbasis Substrat Limbah Cair Tempe

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

Wa'alaikumsalam wr. wb.

Yogyakarta, 26 Januari 2022
Konsultan

Khamidinal, S.Si., M.Si.
19691104 200003 1 002

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRAK

Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Komposit Membran Gerabah Bentonit *Microbial Fuel Cell* (MFC) Berbasis Substrat Limbah Cair Tempe

Oleh: Salman Maulana
Pembimbing: Sudarlin, M.Si.

Penambahan karbon aktif tempurung kelapa atau *Activated Carbon Coconut Shell* (ACCS) pada membran gerabah bentonit untuk sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan meningkatkan potensi listrik MFC berbasis substrat limbah cair tempe menggunakan membran gerabah yang dimodifikasi dengan penambahan ACCS. Dua sistem MFC dibandingkan menggunakan membran membran Bentonit-Clay dan membran ACCS-Bentonit-Clay. Kedua sistem MFC dioperasikan selama 48 jam untuk mengetahui perbandingan tegangan, kuat arus, dan *power density* serta penurunan COD/BOD substrat limbah cair tempe. Hasil pengoperasian MFC-ACCS/Bentonit-Clay menunjukkan ACCS pada membran meningkatkan potensi listrik MFC. *Power density* maksimum pada MFC-ACCS/Bentonit-Clay sebesar $282,6492 \text{ mW m}^{-2}$, sedangkan pada MFC-Bentonit-Clay sebesar $218,0385 \text{ mW m}^{-2}$. Akan tetapi, penurunan kadar COD dan BOD pada MFC-Bentonit-Clay lebih besar dibandingkan dengan MFC-ACCS/Bentonit-Clay. Kadar COD dan BOD pada MFC-Bentonit-Clay sebesar 14,15% sedangkan pada MFC-ACCS/Bentonit-Clay sebesar 5,44%.

Keyword: ACCS, membran, *power density*, COD, BOD

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

Rasulullah *Shallallahu 'alaihi Wasallam* bersabda:

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia.”
(HR. Ahmad, ath-Thabrani, ad-Daruqutni. Hadits ini dihasankan oleh al-Albani di dalam *Shahihul Jami'* no:3289).



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada seluruh ummat manusia baik di bumi maupun yang sedang di luar angkasa.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah *Subhanahu wata'ala* yang telah memberikan kasih sayang dan petunjuk-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pemanfaatan Karbon Aktif sebagai Komposit Membran Gerabah Bentonit *Microbial Fuel Cell* (MFC) Berbasis Substrat Limbah Cair Tempe”. Penelitian skripsi telah dilaksanakan di Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga mulai bulan September 2020 hingga April 2021.

Penyusun skripsi mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penyelesaian skripsi. Ucapan terimakasih tersebut secara khusus penyusun sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Bapak Sudarlin, M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan motivasi dan bimbingan hingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Jajaran Pranata Laboratorium (PLP) Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang telah membantu penelitian di laboratorium.
6. Semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian ini hingga selesai.

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

Yogyakarta, 15 Agustus 2021

Salman Maulana

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	1
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	iv
NOTA DINAS KONSULTASI.....	vi
NOTA DINAS KONSULTASI.....	iv
ABSTRAK.....	vii
HALAMAN MOTTO.....	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
A. Tinjauan Pustaka.....	7
B. Landasan Teori.....	10
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
B. Alat-alat Penelitian.....	17
C. Bahan Penelitian.....	17
D. Cara Kerja Penelitian.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
A. Kapasitas Tukar Kation Membran.....	21
B. Potensi Listrik MFC.....	22
C. Hasil Uji COD dan BOD.....	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	29
A. Kesimpulan.....	29
B. Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi MFC <i>dual-chamber</i>	12
Gambar 2.2 Mekanisme <i>Grothuss</i> (Neethu et al. 2019)	14
Gambar 3.1 Ilustrasi membran gerabah ACCS/Bentonit-Clay.....	18
Gambar 3.2 Ilustrasi MFC membran ACCS/Bentonit-Clay.....	19
Gambar 4.1 Perbandingan tegangan dari kedua reaktor MFC.....	22
Gambar 4.2 Perbandingan kuat arus kedua reaktor MFC.....	23
Gambar 4.3 Ilustrasi mekanisme <i>Grothuss</i> (Cukierman, 2005)	25
Gambar 4.4 <i>Power density</i> pada kedua reaktor MFC.....	27



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai COD dan BOD sebelum dan sesudah *running*28



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Microbial Fuel Cells (MFCs) adalah alat yang memanfaatkan metabolisme bakteri untuk memproduksi arus listrik dari berbagai macam substrat organik. Kemampuan MFC yang mampu memproduksi energi terbarukan dari limbah organik, menjadikan penelitian MFC dilakukan secara intensif beberapa tahun belakangan (Franks dan Nevin, 2010). Salah satu fokus penelitian MFC adalah pemakaian material yang murah, ramah lingkungan, dan tidak mengganggu kinerja alat (Neethu, dkk. 2019).

Komponen dasar MFC terdiri dari anoda dan katoda yang ditempatkan dalam dua ruang berbeda dan dipisahkan oleh membran penukar proton atau *Proton Exchange Membrane* (PEM) (Dávila, dkk. 2008). Material pembuat PEM sering dimodifikasi dan diteliti dengan tujuan agar MFC dapat dioptimasi.

You dkk. (2019) menjelaskan bahwa komersialisasi teknologi MFC dengan performa yang bagus, murah, dan ramah lingkungan membutuhkan pengembangan pada membran MFC. Keramik atau gerabah merupakan material yang menjanjikan untuk mencapai tujuan ini (You, dkk. 2019).

Winfield dkk. (2019) memaparkan bahwa gerabah merupakan material yang ideal untuk meningkatkan performa MFC. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa gerabah tidak hanya material yang sebanding dengan PEM konvensional sebagai membran MFC, tapi gerabah juga lebih dipertimbangkan karena harganya lebih

murah. Gerabah lebih alami, aman bagi lingkungan hidup bakteri, sekaligus memungkinkan sistem pembangkit energi lebih efisien (Winfield, dkk. 2019).

Andika (2020) telah melakukan penelitian tentang pemanfaatan gerabah sebagai membran pada MFC dengan limbah cair tempe sebagai substrat. Penelitian tersebut menggunakan MFC *dual chamber* dengan membran penukar proton berupa jembatan garam sebagai pembanding dan KMnO_4 0,1 M sebagai katolit. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa membran dari gerabah lebih efisien dibandingkan jembatan garam. *Power density* maksimum untuk MFC gerabah sebesar $2197,343 \text{ mW m}^{-2}$ sedangkan untuk MFC jembatan garam sebesar $195,523 \text{ mW m}^{-2}$. Penurunan COD limbah pada MFC gerabah sebesar 27,69% sedangkan pada MFC jembatan garam sebesar 16,15%.

Kammoun dkk. (2014) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa penambahan karbon aktif berbasis tempurung kelapa dapat meningkatkan konduktivitas proton. Karbon aktif berbasis tempurung kelapa dapat bertindak bagaikan “spons molekular” dengan daya serap cairan yang baik dan mampu menghidrasi membran Nafion. Dalam penelitian ini, karbon aktif tempurung kelapa dicampurkan pada membran nafion dalam bentuk nanopartikel. Penambahan ini memberikan peningkatan konduktivitas proton pada membran Nafion/AC nanofiller dan peningkatan signifikan dalam penyerapan air hingga lebih dari 80%.

Modifikasi gerabah dilakukan oleh Neethu dkk. (2018) dengan memanfaatkan tempurung kelapa untuk diterapkan pada *Microbial Carbon Capture Cell* (MCC) yang merupakan pengembangan dari *Microbial Fuel Cell*

(MFC). Penelitian ini membandingkan membran dengan kandungan tempurung kelapa (CS) dengan Nafion 17 menggunakan parameter *power density*, *coloumbic efficiency*, dan nilai penurunan COD. MCC tempurung kelapa didapatkan nilai *power density* $3,2 \text{ W m}^{-3}$ dan *coloumbic efficiency* sebesar 16,53%. MCC Nafion 17 didapatkan nilai *power density* $1,8 \text{ W/m}^3$ dan *coloumbic efficiency* sebesar 8,42%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tempurung kelapa pada membran mampu meningkatkan efisiensi dari MCC/MFC. Adapun nilai penurunan pada penelitian ini menunjukkan MCC Nafion 17 lebih unggul dengan nilai penurunan sebesar $72,14 \pm 0,15\%$ sedangkan MCC tempurung kelapa sebesar $65,97 \pm 0,83\%$.

Neethu dkk. (2019) melanjutkan penelitiannya menggunakan membran penukar proton dari gerabah yang terlapisi karbon aktif dari tempurung kelapa (ACCS/Clay) yang dibandingkan dengan membran Nafion 117. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa membran gerabah ACCS/Clay memiliki koefisien difusi proton lebih tinggi ($36 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) dari pada Nafion 117 ($4,64 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$). MFC yang menggunakan membran ACCS/Clay menghasilkan 1,5 kali voltase dan *coulombic efficiency* lebih tinggi dibandingkan dengan MFC yang menggunakan Nafion 117. Kelebihan membran ini juga lebih murah dan ramah lingkungan dibandingkan Nafion 117. PEM murah ini sangat berpotensi untuk membawa teknologi MFC ke tahap selanjutnya dalam skala besar di banyak tempat menggantikan membran polimer yang mahal.

Terkait substrat, pemanfaatan limbah cair tempe sebagai substrat MFC sangat tepat diterapkan. Produsen tempe hampir tersebar di seluruh Indonesia

sehingga sangat mudah ditemukan dalam volume yang besar. Arbianti (2014) meneliti tentang penggunaan MFC untuk pengolahan limbah cair tempe dengan mengukur penurunan nilai COD-nya. Penelitian ini menggunakan MFC *membranless* dengan volume reaktor 500 mL dan 2000 mL, elektrolit ammonium klorida-kalium ($\text{NH}_4\text{Cl} - \text{KCl}$) dan kalium persulfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$). Hasilnya menunjukkan penurunan COD tertinggi pada reaktor 500 mL mencapai 10,79% dan pada reaktor 2000 mL mencapai 42,97% (Arbianti, dkk. 2014).

Untuk mengembangkan hasil penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini memanfaatkan gerabah komposit bentonit dan ditambahkan lapisan karbon aktif sebagai membran atau *Activated Carbon Coconut Shell and Bentonit-Clay* (ACCS/Bentonit-Clay). Penggunaan ACCS/Bentonit-Clay sebagai pengganti membran konvensional bertujuan untuk meningkatkan kinerja sistem MFC. Kinerja MFC menggunakan membran ACCS/Bentonit-Clay (selanjutnya disingkat MFC-ACCS/Bentonit-Clay) akan dibandingkan dengan membran gerabah komposit bentonit atau gerabah Bentonit-Clay (selanjutnya disingkat MFC-Bentonit-Clay). Parameter yang digunakan adalah kapasitas tukar kation (KTK), kuat arus (I), tegangan (V), *power density* (W), penurunan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem MFC yang digunakan pada penelitian ini adalah MFC *dual chamber* menggunakan membran gerabah ACCS/Bentonit-Clay dan membran gerabah

2. Bentonit-Clay. Kedua sistem tersebut disingkat MFC-ACCS/Bentonit-Clay dan MFC-Bentonit-Clay
3. Limbah yang digunakan adalah limbah cair tempe dari salah satu tempat produksi di Kota Yogyakarta, DI Yogyakarta dan tanpa analisis jenis bakteri.
4. Parameter yang digunakan adalah kuat arus (I), tegangan (V), *power density* (W), dan penurunan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbedaan potensi listrik pada MFC-ACCS/Bentonit-Clay dan MFC-Bentonit-Clay berdasarkan parameter kuat arus (I), tegangan (V), dan *power density* (W)?
2. Bagaimana perbedaan penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) substrat limbah cair tempe pada MFC-ACCS/Bentonit-Clay dengan MFC-Bentonit-Clay?

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan dan menganalisis perbedaan kuat arus (I), tegangan (V), dan *power density* (W) yang dihasilkan MFC-ACCS/Bentonit-Clay dan MFC-Bentonit-Clay.
2. Menentukan dan menganalisis penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) substrat limbah cair tempe pada

3. MFC-ACC/Bentonit-Clay dan MFC-Bentonit-Clay sebelum dan setelah *running*.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengolahan limbah cair tempe dan potensi penggunaan keramik jenis gerabah dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai sumber energi listrik. Informasi mengenai pengolahan limbah cair tempe dan potensi penggunaan keramik jenis gerabah dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) tersebut diharapkan dapat menambah metode baru dalam mengatasi permasalahan energi dan lingkungan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Penambahan karbon aktif dari tempurung kelapa atau *Activated Carbon Coconut Shell* (ACCS) pada membran dapat meningkatkan potensi listrik MFC. Rata-rata nilai tegangan, kuat arus dan *power density* pada MFC-ACCS/Bentonit-Clay berturut-turut 0,7216 V, 1,094 mA, dan 282,6492 mW m⁻². Rata-rata nilai tegangan, kuat arus, dan *power density* MFC-Bentonit-Clay berturut-turut 0,668 V, 0,9684 mA, dan 218,0385 mW m⁻².
2. Hasil uji COD dan BOD menunjukkan MFC-Bentonit-Clay lebih baik daripada MFC-ACCS/Bentonit-Clay. Nilai COD sebelum *running* pada MFC-ACCS/Bentonit-Clay dan MFC Bentonit-Clay sama yaitu 550,1346 mg L⁻¹. Setelah *running* COD pada kedua MFC mengalami penurunan masing-masing menjadi 265,3037 mg L⁻¹ dan 240,8799 mg L⁻¹. Nilai BOD sebelum *running* pada MFC-ACCS/Bentonit-Clay dan MFC-Bentonit-Clay sama yaitu 280,5686 mg L⁻¹. Setelah *running* BOD pada kedua MFC mengalami penurunan masing-masing menjadi 265,3037 mg L⁻¹ dan 240,8799 mg L⁻¹.

B. Saran

Membran MFC yang terbuat dari lempung dan bentonit komposit karbon aktif dari tempurung kelapa sangat berpotensi dikembangkan hingga tahap produksi secara besar. Keunggulannya dalam pembangkit listrik alternatif masih berpeluang untuk terus dipelajari. Selain efektifitasnya yang telah diteliti, biaya produksi membran ini terbilang rendah dan murah. Namun beberapa aspek masih perlu didalami dari membran ini, seperti varian jumlah komposisi ACCS dalam membran, pengukuran rasio penyerapan air oleh membran sehingga ditemukannya kadar ACCS yang paling efisien bagi MFC, dan pengulangan. pengukuran COD dan BOD .

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, A., dan Sudarlin, S. 2020. Pemanfaatan Gerabah Dan Limbah Cair Tempe Sebagai Sumber Energi Alternatif Berbasis Microbial Fuel Cell. *Jurnal Inovasi dan Pengelolaan Laboratorium*. 2:1.
- Arbianti, R., Utami, T.S., Kristin, E., Trisnawati, I., and Citrasari, A.E., 2014. Penggunaan Microbial Fuel Cell Untuk Pengolahan Limbah Cair Tempe Dengan Mengukur Penurunan Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD). 6.
- Atima, W. 2015. BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*. Vol. 4 : 83-93.
- Chodijah, S. 2011. *Pemanfaatan Arang Batok Kelapa dan Batu Bara Sebagai Karbon Aktif untuk Material Penyimpan Hidrogen*, Depok: Universitas Indonesia.
- Cukierman, S. 2006. Grotthuss! and Other Unfinished Stories. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*. 876-885.
- Dávila, D., Esquivel, J.P., Vigués, N., Sánchez, O., Garrido, L., Tomás, N., dan Sabaté, N., n.d. Development and Optimization of Microbial Fuel Cells, 6.
- Dharmalingam, S., Kugarajah, V., dan Sugumar, M. 2019. Membranes for Microbial Fuel Cells. *In: Microbial Electrochemical Technology*. Elsevier, 143–194.
- Franks, A.E. dan Nevin, K.P. 2010. Microbial Fuel Cells, A Current Review. *Energies*, 3 (5), 899–919.
- Harry Marsh, F. R.-R., 2006. *Activated Carbon*, s.l.: Elsevier B.V.
- Ghadge, A. N., M.M.Ghangrekar. 2015. Development of low cost ceramic separator using mineral cation exchanger to enhance performance of microbial fuel cells. *Electrochim Acta* Vol 116: 320-328.
- Ghasemi, M., Halakoo, E., Sedighi, M., Alam, J., dan Sadeqzadeh, M. 2015. Performance Comparison of Three Common Proton Exchange Membranes for Sustainable Bioenergy Production in Microbial Fuel Cell. *Procedia CIRP*, 26, 162–166.
- Guo, K., Hassett, D.J., dan Gu, T.Y. 2012. Microbial fuel cells: electricity generation from organic wastes by microbes. *In: A. Rajesh, ed. Microbial biotechnology: energy and environment*. Wallingford: CABI, 162–189.

- Grancha, T. 2016. *Insights into the Dynamics of Grotthuss Mechanism in a Proton-Conducting Chiral bioMOF*, s.l.: Chem.
- Ibrahim B, Suptijah P, dan Adjani ZN. 2017. Kinerja microbial fuel cell penghasil biolistrik dengan perbedaan jenis elektroda pada limbah cair industri perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(2): 296-304.
- Ibrahim, B., Uju, dan Agus M.S. 2020. Kinerja Membran Komposit Kitosan-Karagenan pada Sistem Microbial Fuel Cell dalam Menghasilkan Biolistrik dari Limbah Pemindangan Ikan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 23 (1): 137-146.
- Jain, S. K., A. B. Akolkar, dan M. Choudhary. 2013. In-situ bioremediation for treatment of sewage flowing in natural drains. *International Journal of Biotechnology and Food Science*. Vol. 1(3), pp. 56-64.
- Kammoun, M., Lundquist, L., & Ardebili, H. (2015). High proton conductivity membrane with coconut shell activated carbon. *Ionics*, 21(6), 1665-1674.
- Khaloufi, Y. E. 2019. *Microbial Fuel Cell For Electricity Generation*, Ifran: Al Akhawayn University.
- Kim, Byung Hong dan Goeffrey Michael Gadd. 2008. *Bacterial Physiology and Metabolism*. New York: Cambridge University Press.
- Kreuer, K.D. 2001. On the development of proton conducting polymer membranes for hydrogen and methanol fuel cells. *Journal of Membrane Science*, 185 (1) : 29–39.
- Kurniati, F. D., Pardoyo, dan Suhartana. 2011. Sintesis Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Asap Cair. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 14 (3) : 72 – 76
- Lim, J. Y., Park, D. S., dan Kim, J. H. (2015). Electrochemical Characteristics of the MFCs using the Ceramic Membrane as a Separator. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 16(8) : 5728-5735.
- Logan, B.E. 2008. *Microbial fuel cells*. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience.
- Mane, R. S. 2018. *Microbial Fuel Cell Technology*. Mauritius: Lab Lambert Academic Publishing .
- Mengel, D. B. 1993. *Fundamentals of soil cation exchange capacity (CEC)*. Purdue University Cooperative Extension Service West Lafayette : Indiana, USA.

- Mohammad-Khah, A., dan Ansari, R. 2009. Activated charcoal: preparation, characterization and applications: a review article. *Int J Chem Tech Res*, 1(4) : 859-864.
- Neethu, B., Bhowmick, G. D., dan Ghangrekar, M. M. 2018. Enhancement of bioelectricity generation and algal productivity in microbial carbon-capture cell using low cost coconut shell as membrane separator. *Biochemical Engineering Journal*. 133: 205-213.
- Neethu, B., Bhowmick, G.D., dan Ghangrekar, M.M. 2019. A novel proton exchange membrane developed from clay and activated carbon derived from coconut shell for application in microbial fuel cell. *Biochemical Engineering Journal*. 148 : 170–177.
- Penn, M.R., James J.P., dan James R.M. 2009. *Biochemical Oxygen Demand. Environmental and Ecological Chemistry*. Vol II.
- Poppo, Ary., M. S. Mahendra., dan I Ketut Sundra. 2008. Studi Perairan Pantai di Kawasan Industri Perikanan, Desa Pengambengan, Kecamatan Negara, Kabupaten Jembrana. *Echotrophic*, 3 (2) : 98-103.
- Purnama, S.G. Modul Analisis Dampak Limbah Cair Industri Tempe di Denpasar, 15.
- Roy, S., Marzorati, S., Schievano, A., and Pant, D., 2017. Microbial Fuel Cells. *In: Encyclopedia of Sustainable Technologies*. Elsevier, 245–259.
- Salamah, S. T. W. L. B. U. 2009. *Pemanfaatan Limbah Cair Industri Tempe untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kangkung Darat (Ipomoea Reptans, Poir) Kultivar Kencana*. Yogyakarta, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Satyam B, S.R., Behera, M., and Ghangrekar, M.M. 2011. Performance and Economics of Low Cost Clay Cylinder Microbial Fuel Cell for Wastewater Treatment. Presented at the World Renewable Energy Congress – Sweden, 8–13 May, 2011, Linköping, Sweden, 1189–1196.
- Scott, Keith and Yu, Eileen Hao and Ghangrekar, Makarand Madhao and Erable, Benjamin and Duțeanu, Narcis Mihai. 2012. *Biological and microbial fuel cells*. Comprehensive Renewable Energy. Elsevier, United States, pp. 277-300
- Sundarti, L. W. 2017. *Kajian Teoritis Mekanisme Transpor Proton pada Model Membran Komposit Kitosan / Asam Fosfat untuk Sistem Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember .

- 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”.
- Tamakloe, R.Y., Opoku-Donkor, T., Donkor, M., dan Agamasu, H. 2015. Comparative Study Of Double Chamber Microbial Fuel Cells (Dc Mfcs) Using *Mfensi Clay* As Ion Exchange Partition Effect of Pot Size. 3 (2): 3.
- Winfield, J., Greenman, J., dan Ieropoulos, I. 2019. Response of ceramic microbial fuel cells to direct anodic airflow and novel hydrogel cathodes. *International Journal of Hydrogen Energy*. 44 (29): 15344–15354.
- You, J., Wallis, L., Radisavljevic, N., Pasternak, G., Sglavo, V.M., Hanczyc, M.M., Greenman, J., dan Ieropoulos, I. 2019. A Comprehensive Study of Custom-Made Ceramic Separators for Microbial Fuel Cells: Towards “Living” Bricks. *Energies*, 12 (21): 4071.