



**PENGARUH PENAMBAHAN FRUKTOSA DAN ASAM BUTIRAT
DALAM PRODUKSI LISTRIK MENGGUNAKAN METODE *SINGLE*
*CHAMBER MICROBIAL FUEL CELL***

SKRIPSI

Oleh

**Wulan Islamintari
NIM 121810301075**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENGARUH PENAMBAHAN FRUKTOSA DAN ASAM BUTIRAT
DALAM PRODUKSI LISTRIK MENGGUNAKAN METODE *SINGLE*
*CHAMBER MICROBIAL FUEL CELL***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Wulan Islamintari
NIM 121810301075

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah Subhanahuwata'ala atas segala ridho dan rahmat-Nya dalam penulisan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan dengan lancar;
2. Keluarga tercinta, Ibunda Purwiyanti rahimahullah, Ayahanda Sadan, serta Kakak tercinta Ima dan Desi;
3. Bapak/Ibu dosen kimia, teknisi jurusan Kimia, dan segenap karyawan FMIPA Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu, serta pengalamannya;
4. Kawan seperjuangan KIMIA 2012 (LANTHANIDA), keluarga besar Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, serta almamater Universitas Jember.

MOTTO

“Tiada Rabb yang berhak disembah kecuali Allah Yang Maha Esa, tidak ada sekutu bagi-Nya. Bagi-Nya kerajaan dan bagi-Nya pujaan. Dialah yang Mahakuasa atas segala sesuatu.”



PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Wulan Islamintari

NIM : 121810301075

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan Fruktosa dan Asam Butirat Dalam Produksi Listrik Menggunakan Metode *Single Chamber Microbial Fuel Cell*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Mei 2019

Yang menyatakan,

Wulan Islamintari

NIM 121810301075

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN FRUKTOSA DAN ASAM BUTIRAT
DALAM PRODUKSI LISTRIK MENGGUNAKAN METODE *SINGLE
CHAMBER MICROBIAL FUEL CELL***

Oleh

Wulan Islamintari

NIM 121810301075

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Tri Mulyono, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Zulfikar, Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan Fruktosa dan Asam Butirat Dalam Produksi Listrik Menggunakan Metode *Single Chamber Microbial Fuel Cell*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji;

Ketua,

Anggota I,

Tri Mulyono, S.Si., M.Si.,

Drs. Zulfikar Ph.D.

NIP. 196810201998021002

NIP. 196310121987021001

Anggota II,

Anggota III,

Suwardiyanto, S.Si., M.Si., Ph.D.

Dr. Donatus Setyawan, S.Si., M.Si.,

NIP. 197501191998021001

NIP. 196808021994021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Pengaruh Penambahan Fruktosa dan Asam Butirat Dalam Produksi Listrik Menggunakan Metode *Single Chamber Microbial Fuel Cell*; Wulan Islamintari, 121810301075; 2019: 39 halaman; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Microbial fuel cell (MFC) merupakan teknologi terbaru yang ramah lingkungan dari proses degradasi bahan organik maupun anorganik dengan bantuan mikroorganisme sebagai katalis sehingga menghasilkan energi listrik (Logan, 2008). Mikroorganisme yang sering digunakan dalam MFC dapat berupa mikroorganisme yang bersifat aerob, anaerob fakultatif dan anaerob obligat (Kim *et al.*, 2006). MFC terdiri atas komponen yang sama dengan *fuel cell* yaitu anoda, katoda, sirkuit listrik dan membran (elektrolit) (Idham, dkk., 2009). Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sensitivitas dari komponen-komponen MFC (anoda, katoda, dan PEM), jenis dan jumlah kultur mikroorganisme dalam MFC, serta desain MFC (Sengodan *et al.*, 2012).

Prinsip kerja dari MFC dengan memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis pada proses degradasi materi organik maupun anorganik di medium anoda sehingga menghasilkan energi listrik yang berasal dari perbedaan (selisih) beda potensial listrik antara kedua elektroda dan menyebabkan elektron dapat mengalir dari anoda ke katoda melalui sirkuit eksternal (Novitasari, 2011).

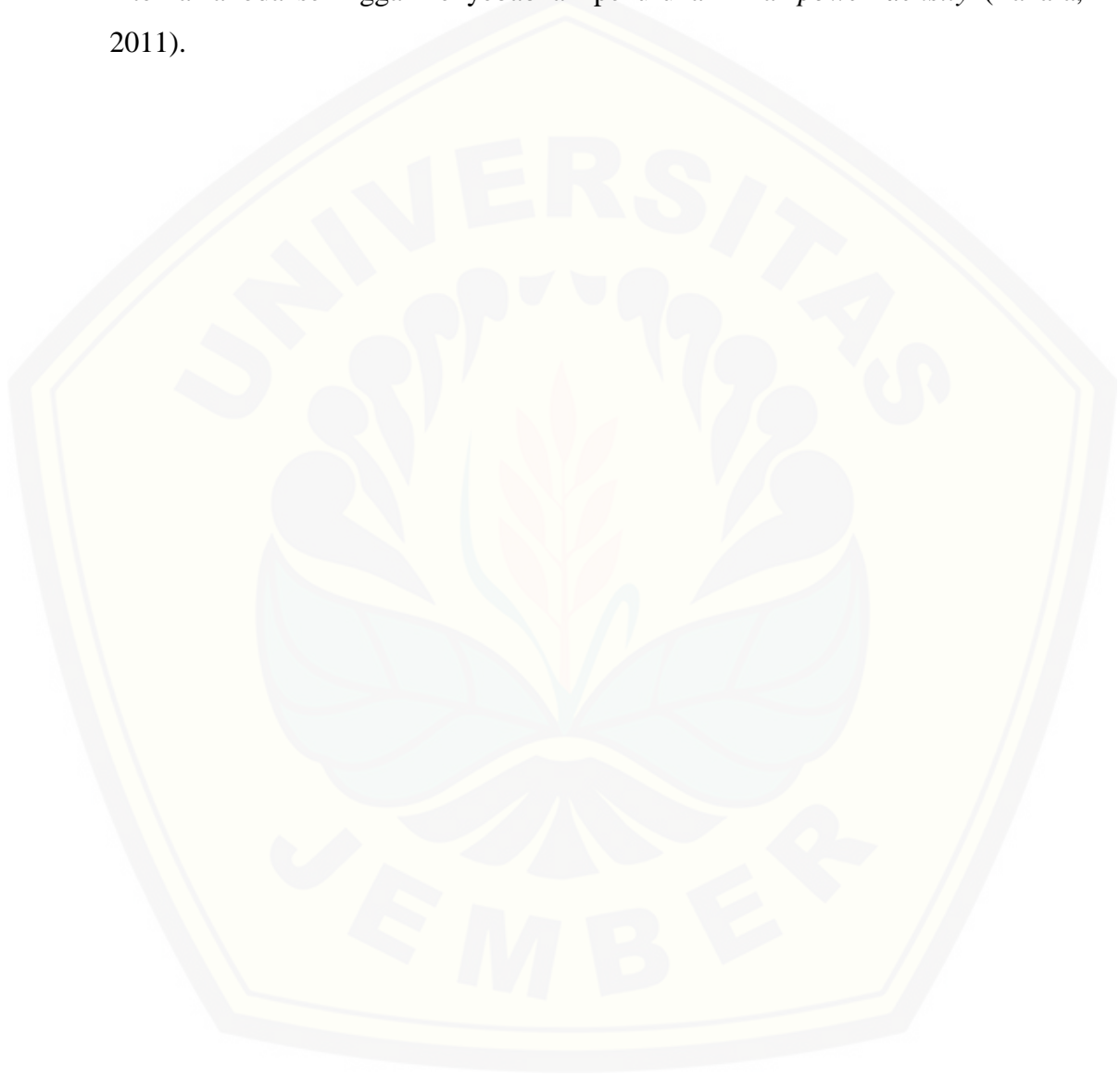
Substrat merupakan faktor kunci pada produksi listrik yang efisien dalam sistem *Microbial Fuel Cell*. Jenis substrat yang digunakan merupakan senyawa organik yang dapat membantu pertumbuhan dari mikroba aktif (Das dan Mangwani., 2010). Tanah organik dengan variasi jenis substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah fruktosa dan asam butirat. Variasi fruktosa sebesar 0.1 M, 0.3 M dan 0.5 M. Sedangkan variasi jenis substrat yang digunakan adalah asam butirat sebesar 600 mg/L, 800 mg/L dan 1000 mg/L serta adanya perlakuan terhadap tanah organik tanpa penambahan substrat yang digunakan sebagai kontrol.

Nilai power density yang dihasilkan pada sistem *microbial fuel cell* dengan variasi konsentrasi fruktosa 0.1 M sebesar 18,77 mW/m² pada waktu inkubasi 3 minggu, variasi konsentrasi 0.3 M sebesar 19.53 mW/m² pada waktu inkubasi 3 minggu. Variasi konsentrasi fruktosa 0.5 M menghasilkan nilai power density optimum yaitu sebesar 20.5 mW/m² pada waktu inkubasi 3 minggu. Sedangkan nilai *power density* substrat asam butirat mencapai nilai optimum pada variasi konsentrasi 800 mg/L yaitu sebesar 19.7 mW/m² pada waktu inkubasi 3 minggu. Nilai *power density* variasi 600 mg/L sebesar 17.5 mW/m² pada waktu inkubasi 2 minggu dan *power density* variasi konsentrasi 1000 mg/L sebesar 13.3 mW/m² pada waktu inkubasi 1 minggu.

Penurun *power density* terjadi karena aktivitas bakteri di permukaan anoda yang lama kelamaan dapat membentuk *biofilm* (kim et al, 2007). Terbentuknya *biofilm* ini ini dapat mengakibatkan peningkatan hambatan di permukaan anoda dan menyebabkan penurunan nilai power density. Efisiensi transfer elektron dari mikroba ke anoda sebanding dengan banyaknya jumlah bakteri yang melakukan kontak dengan dengan elektroda (Lee et al., 2010) apabila permukaan elektroda sudah dipenuhi oleh *biofilm*, jumlah elektron yang ditranfer ke elektroda akan sedikit sehingga terjadi penurunan *power density*.

Faktor lain yang mempengaruhi nilai power density yaitu variasi lama waktu inkubasi. Berdasarkan data yang didapatkan terlihat dengan waktu inkubasi selama 3 minggu pada substrat fruktosa memberikan nilai *power density* yang lebih tinggi dibandingkan 1 minggu atau 2 minggu. Sedangkan untuk substrat asam butirat menghasilkan nilai *power density* optimum pada lama waktu inkubasi 2 minggu. Mikroba membutuhkan waktu untuk bereproduksi dan beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama agar terbentuk *biofilm* yang stabil. *Biofilm* yang stabil akan membantu mendegradasi senyawa organik dengan sempurna sehingga produksi listrik hasil metabolisme mikroba yang terbentuk di awal penelitian agak kecil namun cenderung mengalami peningkatan seiring dengan berjalannya waktu karena kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik dalam substrat. Waktu inkubasi yang terlalu lama menyebabkan senyawa organik yang terdapat dalam substrat akan terus

terdegradasi, jika tidak ada senyawa organik yang tersisa maka akan menyebabkan produksi listrik turun. Hal ini disebabkan karena tidak ada lagi senyawa organik untuk dioksidasi. Selain itu, *biofilm* yang terus berkembang seiring berjalannya waktu dapat menutupi elektroda (Kim et al., 2007) dan meningkatkan hambatan internal anoda sehingga menyebabkan penurunan nilai *power density* (Zahara, 2011).



PRAKATA

Puji syukur atas segala rahmat dan karunia yang dilimpahkan Allah Subhanahuwata'ala, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Penambahan Fruktosa dan Asam Butirat Dalam Produksi Listrik Menggunakan Metode *Single Chamber Microbial Fuel Cell*". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Tri Mulyono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Zulfikar, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Suwardiyanto, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Penguji I, dan Dr. Donatus Setyawan Purwo Handoko, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
4. Segenap dosen pengajar Fakultas MIPA, terutama dosen-dosen Jurusan Kimia Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan;
5. Keluarga tercinta yang setia mendukung baik moril maupun materiil, mendoakan, mendidik, serta memberi kasih sayang dan pengorbanan yang tidak terhingga selama ini;
6. Teman-teman Kimia angkatan 2012 (Lanthanida), terima kasih atas semangat, bantuan, saran, perhatian, dan kenangan yang telah diberikan;
7. Sahabat ukhtifillah Novin, Anyaring, serta asatidz STDI Imam Syafi'i Jember;
8. Sahabat terkasih Emre Kharis, terima kasih atas kesabaran dan perhatian yang telah diberikan;
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 24 Mei 2019

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKARTA	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Fuel Cell	6
2.2 Microbial Fuel Cell (MFC)	6
2.2.1 Mekanisme Transfer Elektron.....	8
2.2.2 Jenis Sistem MFC).....	10
2.2.3 Faktor yang mempengaruhi Sistem MFC).....	14
2.3 Material Elektroda	16
2.3.1 Elektroda Anoda.....	16
2.3.2 Elektroda Katoda.....	17
2.4 Aplikasi MFC	17
2.4.1 Pengolahan Limbah.....	17
2.4.2 Biosensor.....	18
2.4.3 Produksi Bahan Bakar Sekunder.....	18
2.5 Hukum Ohm	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.2.1 Alat.....	20
3.2.2 Bahan.....	20
3.3 Diagram Alir Penelitian	21
3.4 Prosedur Penelitian	22
3.4.1 Preparasi Substrat.....	22
3.4.2 Preparasi Eksperimen Single Chamber Microbial Fuel Cel.....	22
3.4.3 Eksperimen Single Chamber Microbial Fuel cell.....	24

3.4.4 Pengukuran Tegangan dan Kuat Arus Sistem MFC.....	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Microbial Fuel Cell.....	26
4.2 Hasil Pengukuran Tegangan dan Kuat arus pada Variasi Substrat.....	27
4.2.1 Hasil Pengukuran nilai tegangan substrat dengan variasi konsentrasi.....	27
4.2.2 Hasil Pengukuran nilai Kuat Arus substrat dengan variasi konsentrasi.....	30
4.2.1 Hasil Pengukuran nilai <i>power density</i> substrat dengan variasi konsentrasi.....	32
4.3 Pengaruh variasi lama waktu inkubasi dengan pengukuran <i>power density</i>	34
BAB 5. PENUTUP.....	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Fuel Cell</i>	5
Gambar 2.2 Prinsip <i>Microbial Fuel Cell</i>	7
Gambar 2.3 Mekanisme tranfer elektron melalui membran luar sel.....	8
Gambar 2.4 Mekanisme transfer elektron dengan mediator.....	9
Gambar 2.5 Mekanisme transfer elektron melalui <i>bacterial nanowires</i>	10
Gambar 2.6 Desain MFC <i>Dual Chamber</i>	11
Gambar 2.7 Desain MFC <i>Single Chamber</i>	12
Gambar 2.8 Desain <i>Stacked MFC</i>	12
Gambar 2.9 Desain <i>Up-Flow MFC</i>	13
Gambar 2.10 Bakteri pada MFC.....	15
Gambar 2.11 Hubungan filogenetik berdasarkan analisis komparatif sekuen 16S rRNA ditemukan dari bakteri anoda.....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Desain Alat <i>Single Chamber Microbial Fuel Cell</i>	23
Gambar 3.3 Desain <i>Hacker Board</i>	23
Gambar 4.1 Nilai tegangan pada substrat fruktosa dengan variasi konsentrasi....	27
Gambar 4.2 Nilai kuat arus pada substrat fruktosa dengan variasi konsentrasi....	30
Gambar 4.3 Nilai kuat arus pada substrat asam butirat dengan variasi konsentrasi.....	31
Gambar 4.4 Nilai <i>power density</i> pada substrat fruktosa dengan variasi konsentrasi.....	32
Gambar 4.5 Nilai <i>power density</i> pada substrat asam butirat dengan variasi konsentrasi.....	33

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

LAMPIRAN 1. Perhitungan Nilai *Power Density*39



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi di dunia beberapa dekade terakhir memiliki kecenderungan tren yang meningkat. Sumber energi biasa diklasifikasikan menjadi tiga yaitu bahan bakar fosil, sumber terbarukan dan sumber nuklir (Akdeniz, 2002). Sumber energi berbahan bakar fosil memiliki dampak negatif karena menghasilkan gas emisi berupa CO₂ yang dapat menimbulkan efek *global warming* di bumi semakin parah, selain itu penggunaan yang digunakan terus menerus dapat menyebabkan jumlah persediaan bahan bakar ini semakin menipis. Oleh karena itu, diperlukan adanya sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (Rahimnejad *et al*, 2012).

Negara-negara di seluruh dunia telah mengupayakan menemukan solusi untuk krisis energi dengan beralih ke sumber energi terbarukan seperti energi surya, energi yang dihasilkan dari angin dan air. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah microbial fuel cell (MFC) yang menggunakan mikroorganisme aktif sebagai biokatalis dalam kompartemen anoda untuk produksi *bioelectricity* yang berasal dari proses biologis dalam tubuhnya (Rahimnejad *et al*, 2015). Biokatalis aktif dalam anoda mengoksidasi substrat organik dan menghasilkan elektron dan proton. Proton dan elektron bereaksi di katoda dengan pengurangan oksigen ke air karena oksigen dalam anoda dapat menghambat produksi listrik (Antonopoulou *et al*. 2010). Menurut Potter (1991) Arus listrik yang dihasilkan oleh mikroorganisme akan menjadi perangkat yang jauh lebih bermanfaat dan dianggap sebagai teknologi yang menjanjikan.

Mikroorganisme memainkan peran penting pada proses oksidasi materi organik sehingga menghasilkan energi listrik (Ramadhan dan Wibowo, 2013). Mikroorganisme banyak terdapat dalam tanah, khususnya tanah organik yang tidak tercemar oleh pestisida. Beberapa jenis mikroorganisme atau bakteri tanah dapat membantu menghasilkan listrik disebut dengan bakteri elektrogenik, termasuk spesies *Shewanella* dan spesies *Geobacter*. Bakteri tanah makan apa yang tersedia di tanah seperti nutrisi mikroskopis dan gula (Lohner, 2016).

Mikroorganisme menggunakan berbagai biodegradable material seperti asetat, glukosa, sistein, etanol dan butirat (Chang et al, 2005; Chaudhuri dan Lovley, 2003; Kim et al,2007; Liu et al 2005; Logan et al,2005)

Menurut Rahimnejad *et al.* (2015) mikroorganisme dapat menghasilkan listrik yang berasal dari proses metabolisme dalam tubuhnya. Logan (2009) membuktikan bahwa aktivitas bakteri *Saccharomyces Cerevisiae* dalam substrat glukosa menghasilkan kuat arus dan tegangan sebesar 224 μA , 196 mV. Sedangkan *power density* yang dihasilkan dari berbagai jenis substrat yaitu glukosa sebesar 156.0 mW/m^2 , asetat sebesar 64.3 mW/m^2 , propionat sebesar 58.0 mW/m^2 dan butirat sebesar 61,4 mW/m^2 (Min dan Logan, 2004). Kondisi ini memungkinkan elektron yang dihasilkan dalam metabolisme mikroorganisme dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Menurut Kristin (2012) Elektron yang berasal dari metabolisme mikroorganisme dapat dialirkan menuju anoda dalam kondisi anerob, sehingga elektron dari proses kimia (metabolisme) dapat diubah menjadi energi listrik dengan bantuan sel elektrokimia berupa sel galvani. Penerapan sel galvani sudah mulai diterapkan pada media *Microbial Fuel Cell* (MFC) sejak tahun 1991

Kemampuan MFC dalam menangkap elektron dari metabolisme bakteri dipengaruhi oleh komponen-komponen MFC seperti: elektroda (anoda dan katoda), *proton exchang membrane* (PEM), desain MFC, dan jumlah kultur mikroorganisme pada MFC. Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu keberadaan substrat dalam tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai produksi listrik pada *microbial fuel cell* menggunakan substrat yang berbeda yaitu butirat dan fruktosa, sehingga nantinya *microbial fuel cell* dapat dimanfaatkan sebagai salah satu energi alternatif dalam menghasilkan listrik dengan memanfaatkan tanah yang kurang dimanfaatkan.

1.2 Rumusan Masalah

Uraian diatas menghasilkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan variasi konsentrasi fruktosa terhadap *power density* yang dihasilkan oleh sistem *single chamber microbial fuel cell*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan asam butirat terhadap *power density* yang dihasilkan oleh sistem *single chamber microbial fuel cell* ?
3. Bagaimana hubungan antara lama waktu inkubasi dengan *power density* yang dihasilkan oleh sistem *single chamber microbial fuel cell* ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh penambahan variasi konsentrasi fruktosa terhadap *power density* yang dihasilkan oleh sistem *single chamber microbial fuel cell*
2. Mengetahui pengaruh penambahan asam butirat terhadap *power density* yang dihasilkan oleh sistem *single chamber microbial fuel cell*
3. Mengetahui hubungan antara lama waktu inkubasi dengan *power density* yang dihasilkan oleh sistem *single chamber microbial fuel cell*

1.4 Batasan Masalah

1. Reaktor *Microbial Fuel Cell* yang digunakan menggunakan satu bejana atau *single chamber* dengan volume kompartemen sebesar 500 mL
2. Tanah yang digunakan merupakan tanah organik yang berasal dari pertanian organik Wonosari, Jember
3. Penelitian ini tidak membahas mengenai identifikasi mikroba pada tanah organik
4. Variasi substrat yang digunakan adalah substrat fruktosa dengan konsentrasi 0.1 M, 0.3 M, dan 0.5 M, serta asam butirat dengan konsentrasi 600 mg/L, 800 mg/L dan 1000 mg/L
5. Suhu yang digunakan pada pengukuran tegangan dan kuat arus menggunakan suhu ruangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi secara ilmiah di bidang ilmu kimia kepada sesama mahasiswa dan khususnya masyarakat terkait dengan kemampuan mikroorganisme dalam metabolismenya yang dapat dimanfaatkan sebagai penghasil elektron (listrik) dengan menggunakan media *microbial fuel cell*.

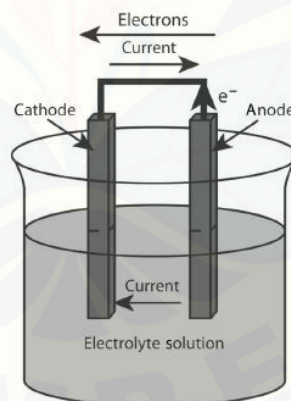


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fuel Cell

Fuel cell adalah teknologi elektrokimia yang secara kontinyu mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik selama terdapat bahan bakar dan pengoksidan. *Fuel cell* tersusun atas anoda, katoda dan elektrolit. Anoda berperan sebagai tempat terjadinya pemecahan hidrogen (H_2) menjadi proton dan elektron (listrik). Katoda berperan sebagai tempat terjadinya reaksi penggabungan proton, elektron dan oksigen untuk membentuk air sedangkan elektrolit sebagai media untuk mengalirkan proton (Shukla *et al.*, 2004).

Reaksi oksidasi terjadi pada anoda dan reaksi reduksi terjadi pada katoda. Reaksi oksidasi menghasilkan elektron yang dialirkan menuju katoda melalui sirkuit eksternal. Sirkuit menjadi sempurna dengan adanya pergerakan ion positif melalui elektrolit menuju ruang katoda (Bullen *et al.* 2006). Secara umum, prinsip kerja *fuel cell* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Fuel cell
(Mench 2008)

Fuel cell konvensional beroperasi dengan menggunakan bahan kimia anorganik sederhana, seperti hidrogen dan metanol (MeOH), dan menghasilkan energi, air, dan karbondioksida (pada kasus metanol). *Fuel cell* konvensional dianggap bersuhu rendah jika beroperasi pada kisaran suhu $80^{\circ}C$ (Bullen *et al.*

2006). Saat ini berbagai jenis *fuel cell* telah diteliti dan dikembangkan. Berbagai tipe *fuel cell* dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Jenis *fuel cell*

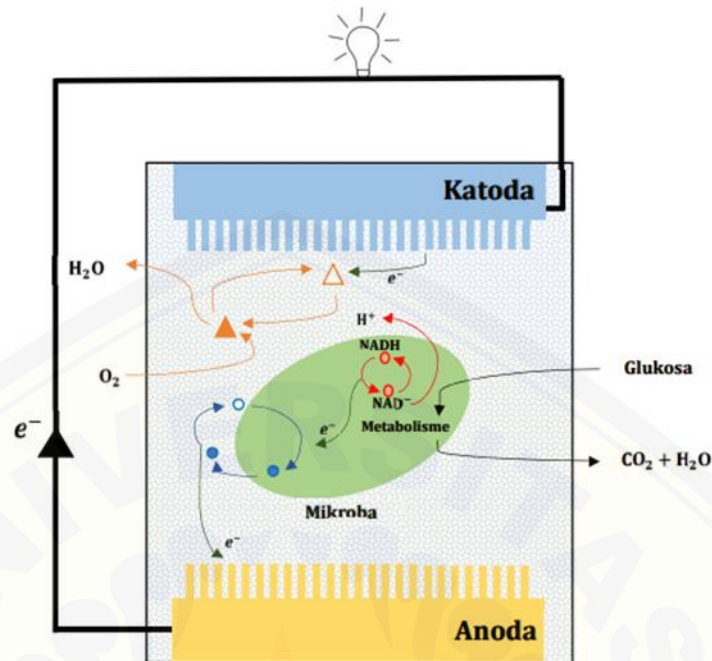
Tipe <i>Fuel cell</i>	Ion	Suhu Operasi (°C)
Alkalin (AFC)	OH ⁻	50-200
Proton exchange membran (PEMFC)	H	50-100
Phosphoric acid (PAFC)	H	220
Molten carbonat (MCFC)	CO ₃ ²⁻	650
Solid oxide (SOFC)	O ²⁻	500-1000

(Larminie dan Dicks, 2000).

2. 2 Microbial Fuel Cell (MFC)

Microbial fuel cell (MFC) merupakan teknologi terbaru yang ramah lingkungan dari proses degradasi bahan organik maupun anorganik dengan bantuan mikroorganisme sebagai katalis sehingga menghasilkan energi listrik (Logan, 2008). Mikroorganisme yang sering digunakan dalam MFC dapat berupa mikroorganisme yang bersifat aerob, anaerob fakultatif dan anaerob obligat (Kim *et al.*, 2006). MFC terdiri atas komponen yang sama dengan *fuel cell* yaitu anoda, katoda, sirkuit listrik dan membrane (elektrolit) (Idham, dkk., 2009). Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sensitifitas dari komponen-komponen MFC (anoda, katoda, dan PEM), jenis dan jumlah kultur mikroorganisme dalam MFC, serta desain MFC (Sengodan *et al.*, 2012).

Prinsip kerja dari MFC dengan memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis pada proses degradasi materi organik maupun anorganik di medium anoda sehingga menghasilkan energi listrik yang berasal dari perbedaan (selisih) beda potensial listrik antara kedua elektroda dan menyebabkan elektron dapat mengalir dari anoda ke katoda melalui sirkuit eksternal (Novitasari, 2011).

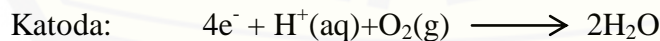


Gambar 2.2 Prinsip *Microbial Fuel Cell* (Sumber: Lovely, 2006).

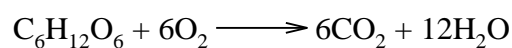
Mikroba memiliki kemampuan menguraikan substrat dari fruktosa maupun butirat. Tanah yang mengandung substrat fruktosa dan butirat akan menjadi sumber makanan untuk mikroba melakukan metabolisme.



Elektron mengalir keluar sistem MFC melalui sirkuit eksternal berupa kawat, sedangkan ion hidrogen akan berpindah menuju katoda melewati proses difusi. Bagian katoda dalam sistem MFC akan terbuka sehingga udara terutama O₂ dapat masuk ke dalam sel katoda. Oksigen ini akan bereaksi dengan ion hidrogen sehingga menghasilkan air. Berikut reaksi yang terjadi



Berikut reaksi keseluruhan pada sistem MFC dengan adanya bakteri selulolitik:



(Kurniawati, dkk., 2013).

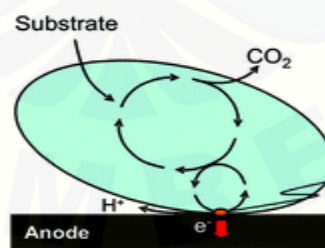
Kemampuan transfer elektron pada anoda yang dimiliki oleh bakteri menyebabkan MFC mampu mentransfer elektron yang berasal dari metabolisme mikroorganisme melalui sirkuit eksternal menuju katoda sehingga dapat dihasilkan arus listrik yang berasal dari beda potensial antara kedua elektroda bersamaan dengan aliran elektronnya (Kristin, 2012).

2.2.1 Mekanisme Transfer Elektron Mikroorganisme

Menurut Liu, terdapat 3 cara mikroorganisme dapat mentransfer elektronnya menuju ke elektroda. Berikut cara-cara yang dilakukan oleh mikroorganisme:

a. Transfer Elektron Melalui Protein Membran Luar Sel Secara Langsung

Mekanisme transport elektron menggunakan sitokrom sebagai media untuk mentransfer elektron secara langsung menuju ke elektroda. Sitokrom yang digunakan yaitu sitokrom yang terdapat pada membrane luar sel mikroba. Sitokrom harus berkontak langsung dengan elektroda untuk melakukan transfer elektron. Jenis mikroba yang menggunakan cara ini yaitu *Geobacter sulfurreducens* dan *Shewanella putrefaciens* (Liu, dalam Kurniawati, dkk., 2013). Berikut mekanisme transfer elektron oleh mikroorganisme secara langsung dengan membrane luar sel yang ditunjukkan pada Gambar 2.3:

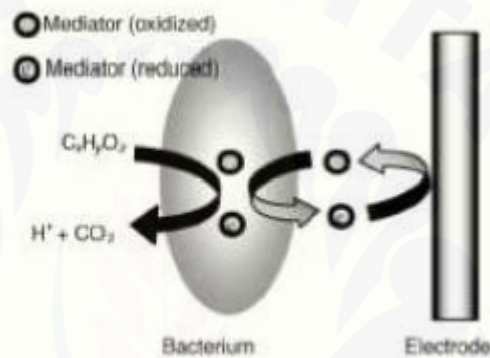


**Gambar 2.3 Mekanisme tranfer elektron melalui membran luar sel
(Sumber: Schroder, 2007).**

b. Transfer Elektron dengan Mediator

Transfer elektron dapat berlangsung secara efisien dengan menambahkan mediator yang membantu transfer elektron menuju permukaan elektroda. Mediator

kimia ada beberapa, yaitu metilen biru dan merah netral. Mediator ini dapat melewati membrane sel, dapat menerima elektron dari pembawa elektron intraselluler, dapat meninggalkan sel dalam bentuk tereduksi dan kemudian mengeluarkan elektron ke permukaan elektroda. Contoh mikroorganisme yang membutuhkan mediator yaitu *Escherichia coli*. Mekanisme ini tidak sesuai ketika digunakan pada MFC dengan substrat limbah karena akan memakan biaya yang cukup mahal, memungkinkan munculnya racun dari beberapa mediator (Liu, dalam Kurniawati, dkk., 2013). Berikut mekanisme transfer elektron dengan mediator yang ditunjukkan pada Gambar 2. 4

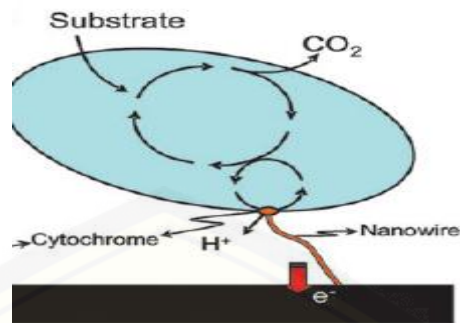


Gambar 2.4 Mekanisme tranfer elektron dengan mediator

(Sumber: Liu, 2008).

c. Transfer Elektron melalui *Bacterial Nanowires* (pili)

Pili pada mikroorganisme disebut sebagai *nanowires*. Pili tumbuh pada membrane sel bakteri. Pili juga terlibat dalam transfer elektron ekstraseluler dan dapat membantu reduksi langsung dari akseptor elektron yang jauh. Pili (*nanowires*) yang telah diidentifikasi terdapat pada mikroorganisme seperti *G. sulfurreducens* PCA, *Pelotomaculum thermoproponicum*, *Shewanella oneidensis* MR-1, dan *Synechocystis* PCC6803 (Liu, dalam Kurniawati, dkk., 2013). Berikut mekanisme transfer elektron melalui *bacterial nanowires* yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Mekanisme transfer elektron melalui *bacterial nanowires* (Sumber: Liu, 2008)

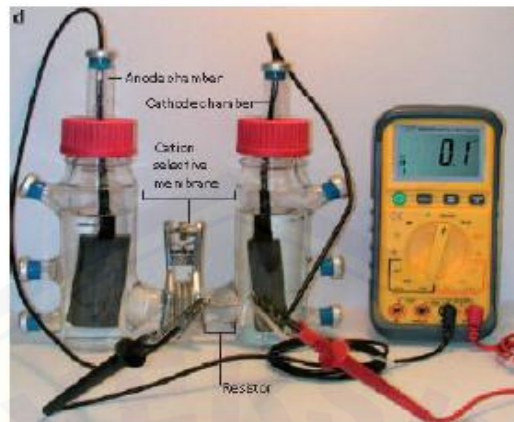
2.2.2 Jenis Sistem MFC

MFC terbagi dalam beberapa jenis berdasarkan aplikasinya. Sistem MFC secara umum dibagi berdasarkan desain kompartemen, penggunaan PEM dan kultur mikroorganisme yang digunakan dalam MFC tersebut

a. MFC Berdasarkan Desain Kompartemen

1. MFC *dual chamber*

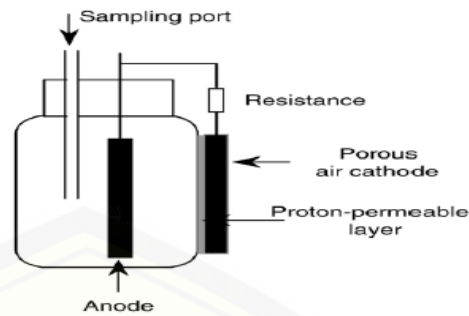
MFC *dual chamber* merupakan jenis MFC yang paling banyak digunakan sebagai desain MFC. MFC *dual chamber* memiliki dua ruang yang dipisahkan oleh membran penukar kation (PEM) atau jembatan garam. Ruang anoda merupakan ruangan yang berisi substrat dan bakteri, sementara ruang katoda berisi larutan elektrolit (Logan, 2008). MFC jenis ini digunakan pada tahap penelitian dasar. Daya yang dihasilkan oleh MFC ini rendah karena sistemnya yang kompleks, resisten internal yang tinggi dan elektron yang mudah hilang (Du *et al.*, 2007). Berikut desain dari MFC *dual chamber*:



Gambar 2.6 Desain MFC *Dual Chamber*
(Sumber: Lovely, 2006).

2. MFC *single chamber*

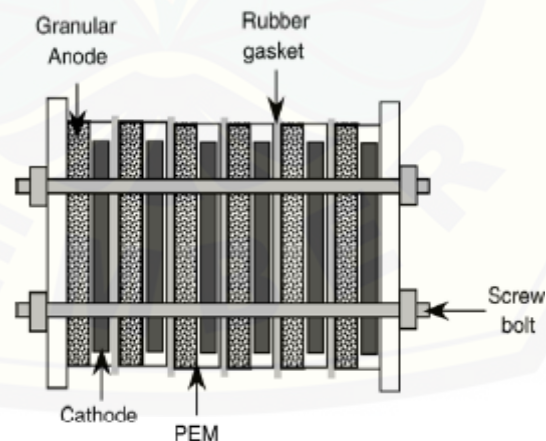
MFC *single chamber* merupakan MFC yang terdiri dari satu kompartemen yang didalamnya mengandung anoda dan katoda. sehingga substrat dan larutan elektrolit bercampur. Desain ini bisa menggunakan PEM ataupun tanpa PEM. (Logan, 2008). Desain dari MFC *single chamber* lebih sederhana dibandingkan dengan desain MFC *dual chamber*, dapat menghemat biaya dan daya yang dihasilkan lebih efisien (Du *et al.*, 2007). Berikut desain dari MFC *single chamber* yang ditunjukkan pada Gambar 2.7:



Gambar 2.7 Desain MFC *Single Chamber*
(Sumber: Lovley, 2006)

3. *Stacked MFC*

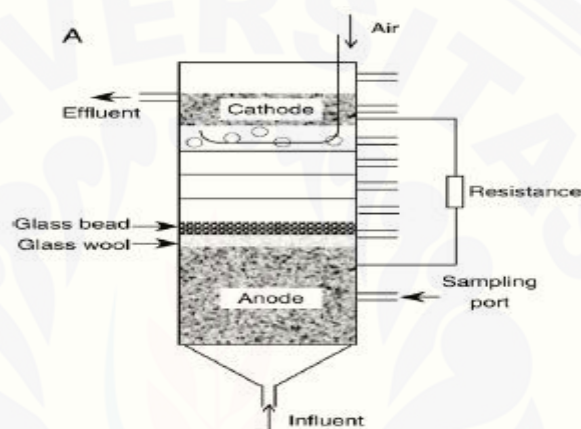
Stacked MFC merupakan gabungan beberapa *MFC single chamber* yang dihubungkan secara bersama-sama pada posisi seri maupun paralel sehingga diperoleh daya yang tinggi (Du *et al.*, 2007). Posisi paralel akan menghasilkan energi yang lebih besar karena laju reaksi elektrokimia yang dihasilkan pada posisi paralel lebih besar dibanding posisi seri. Kelemahan dari *Stacked MFC* posisi paralel yaitu ketika dioperasikan pada aliran volumetric yang sama rentang terhadap arus pendek listrik. Berikut desain *Stacked MFC* pada Gambar 2.8:



Gambar 2.8 Desain *Stacked MFC*
(Sumber: Sengodon *et al.*, 2012).

4. *Up-flow* MFC

Up-flow MFC merupakan MFC yang berbentuk silinder, yang mana elektroda anoda diletakkan dibawah dan katoda diletakkan diatas serta dipisahkan dengan *glass wool* dan *glass bead layers*. Substrat (bahan bakar) dialirkan dari bahan menuju anoda menuju ke atas (katoda) dan keluar melalui jalur atas. berikut desain *up-flow* MFC pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Desain *Up-flow* MFC (Sengodon *et al.*, 2012)

b. Berdasarkan Ada Tidaknya Membran

MFC tanpa membran merupakan salah satu alternatif untuk meminimalisir biaya. Sistem membran yang mahal dan rumit bisa dihindari dengan memanfaatkan perkembangan biofilm yang terjadi di permukaan katoda. Biofilm merupakan sebuah populasi bakteri yang bisa berfungsi sebagai membran untuk meminimalisir difusi oksigen ke anoda. Densitas daya yang lebih tinggi dapat diperoleh pada sistem MFC tanpa membran, karena kemampuan sistem dalam menurunkan hambatan internal (Logan, 2008).

c. Berdasarkan Kultur yang digunakan

Sistem MFC menggunakan kultur sel tunggal telah banyak diteliti, diantaranya dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* (Zahara, 2010), *E. coli* (Scott and Murano, 2007), *Geobacter sulfurreducens* (Yia *et al.*, 2009). Penggunaan kultur sel tunggal memerlukan pemeliharaan dan pekerjaan

yang lebih rumit dan memakan biaya. Selain itu kultur sel tunggal menghasilkan energi yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *mix culture*.

2.2.3 Faktor yang mempengaruhi sistem MFC

Liu *et al.* 2005 menyatakan bahwa faktor lain yang mempengaruhi kinerja MFC adalah jenis substrat dan mikroorganisme dalam MFC.

a. Substrat

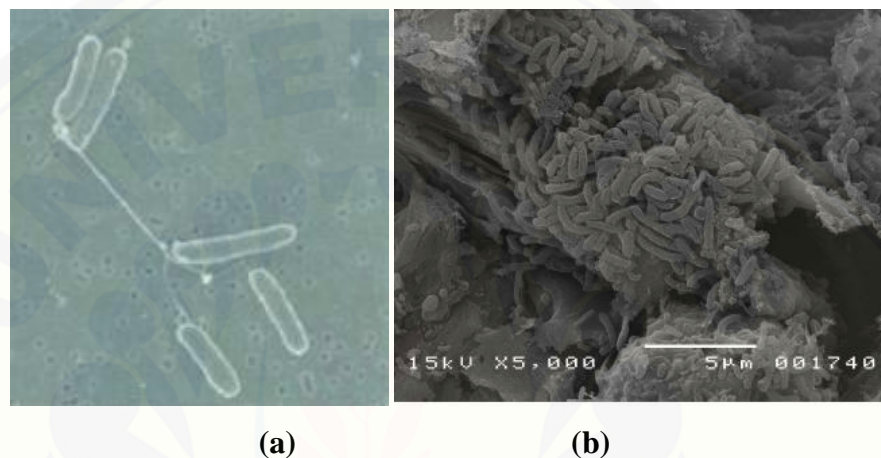
Substrat merupakan faktor kunci produksi listrik yang efisien dalam sistem MFC. Substrat yang digunakan mulai dari bahan organik sederhana sampai campuran kompleks seperti asetat, glukosa, sistein, etanol dan butirat (Chang *et al.*, 2005; Chaudhuri dan Lovley, 2003; Kim *et al.*, 2007; Liu *et al.* 2005; Logan *et al.*, 2005)

Berbagai jenis substrat telah digunakan dalam MFC, mulai dari bahan organik sederhana (glukosa) hingga limbah rumah tangga. Tiap-tiap jenis substrat memiliki komposisi kimia, kekuatan ion, pH, dan jenis bakteri yang berbeda. Jenis mikroorganisme yang terlibat juga berpengaruh terhadap kondisi lingkungan yang dibutuhkan, jenis substrat yang didegradasi, dan kemampuan dalam menghantarkan elektron. Menurut Liu *et al.* (2005) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kinerja MFC adalah kecepatan degradasi substrat, kecepatan transfer elektron dari bakteri ke anoda, dan transfer proton dalam larutan. Sedangkan Chaudhuri dan Lovley (2003) menyatakan bahwa kinerja MFC dapat dipengaruhi oleh aktivitas mikroba dan substrat yang digunakan. Selain itu kinerja MFC ini dapat juga dipengaruhi oleh suhu, karena berkaitan langsung dengan kinetik bakteri, kecepatan reaksi oksigen yang dikatalis pada katoda, dan kecepatan transfer proton melalui larutan (Liu *et al.* 2005).

b. Mikroorganisme yang digunakan dalam MFC

Beberapa jenis bakteri yang dapat menghasilkan listrik disebut *electrogenic bacteria*. Bakteri ini dapat ditemukan di hampir tanah apapun di muka bumi. Hasil penelitian yang lain menunjukkan sebagian besar bakteri yang

dapat menghasilkan energi listrik adalah bakteri pereduksi logam, yaitu *Geobacter sulfurreducens* (Pham *et al.* 2003), *Geobacter metallireducens* (Bond dan Lovley 2003), *Shewanella putrefaciens* (Kim *et al.* 2002), *Clostridium butyricum* (Park *et al.* 2001), *Rhodospirillum rubrum* (Chaudhuri dan Lovley 2003), dan *Aeromonas hydrophila* (Pham *et al.* 2003). Bakteri yang digunakan dalam MFC dapat dilihat pada Gambar 2.10

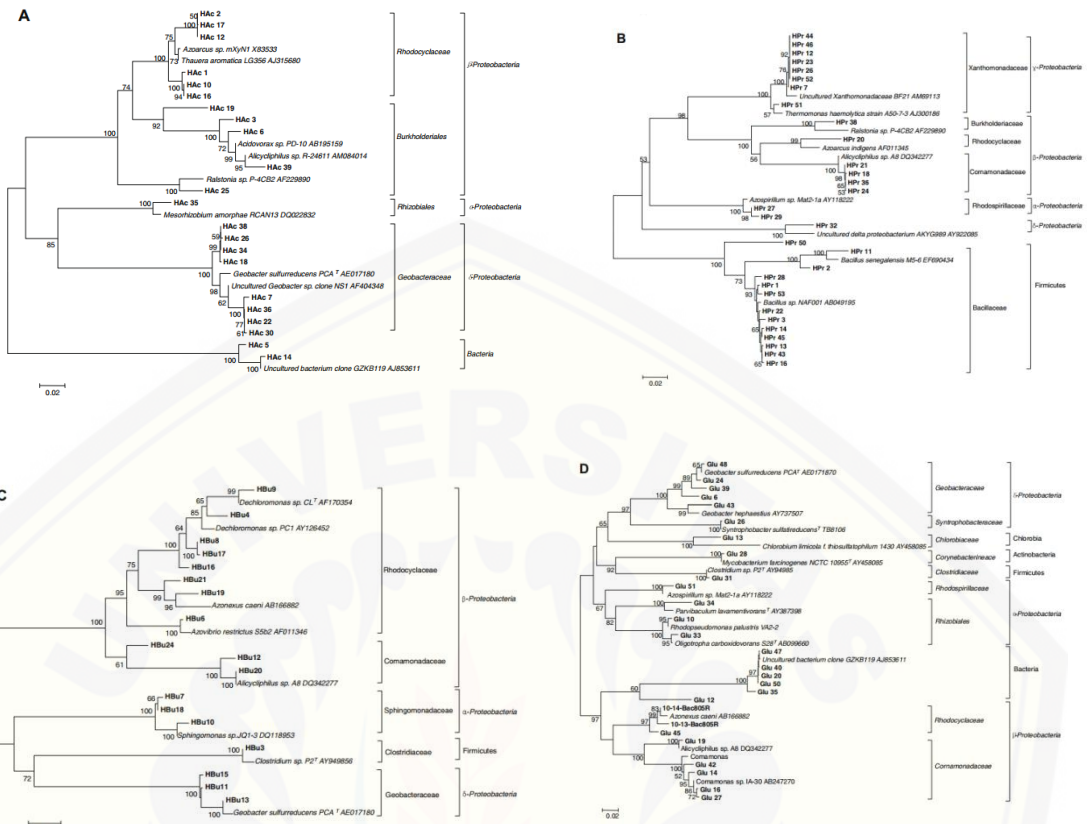


Gambar 2.10 Bakteri pada MFC

(a) *Shewanella oneidensis* (Sumber: Logan 2008).

(b) *Geobacter sulfurreducens* (Sumber: Bond dan Lovley 2003).

Mikroorganisme memiliki kemampuan untuk mentransfer elektron yang berasal dari metabolisme bahan organik pada anoda. Identifikasi mikroba menggunakan skrining ekstraksi DNA, cloning gen dan 16 rRNA sequencing gen (Chae *et al.*, 2008). Universal primer bacteria 805R (50-GAC TAC CAG GGT ATC TAA T-30) digunakan untuk sequencing produk yang dimurnikan sedangkan sequencing gen 16 Rrna dianalisis menggunakan alat pencarian NCBI dengan mengidentifikasi urutan yang paling sesuai. Urutan kemudian diendapkan di GenBank dengan nomor aksesori tertentu (Hall, 1999).



Gambar 2.11 Hubungan filogenetik berdasarkan analisis komparatif sekuen 16S rRNA ditemukan dari bakteri anoda (A) asetat; (B) propionat; (C) butirrat; (D) glukosa (Sumber: Cheng et al., 2009)

2.3 Material Elektroda

Sistem MFC ini memerlukan material elektroda berupa anoda dan katoda

2.3.1 Elektroda Anoda

Anoda berfungsi sebagai tempat penguraian hidrogen (H_2) sehingga menghasilkan proton dan electron. Jenis bahan dan struktur anoda berdampak pada penempelan mikroba, transfer elektron, dan pada beberapa kasus oksidasi substrat. Bahan yang biasa digunakan sebagai anoda adalah karbon (*carbon cloth* atau *graphite felt*) karena stabil terhadap kultur mikroba, memiliki konduktivitas yang tinggi, dan luas permukaan yang besar (Watanabe, 2008).

Lempengan atau batang grafit banyak dipakai karena relatif murah, sederhana, dan memiliki luas permukaan tertentu. Karbon aktif adalah karbon dengan

struktur *amorphous* atau monokristalin yang telah melalui perlakuan khusus sehingga memiliki luas permukaan yang sangat besar (300-2000 m²/g). Karakteristik karbon yang ideal adalah pada rentang pH antara 5-6 (50g/L H₂O, 20°C), titik leleh 3800°C, dan ukuran partikel ≤ 50 μm. Resin perekat berguna untuk merekatkan karbon aktif sehingga memiliki struktur yang kuat dan tidak rapuh selama MFC dioperasikan. Resin perekat ini digunakan karena memiliki konduktivitas yang rendah yaitu 10⁻¹⁰/Ω.m – 10⁻¹⁵/Ω.m (Zahara, 2011).

2.3.1 Elektroda Katoda

Katoda berfungsi sebagai tempat pembentukan air akibat reaksi penggabungan antara proton, elektron dan oksigen. Bahan yang digunakan sebagai katoda berbasis karbon. Penggunaan karbon pada katoda akan mengakibatkan ketidakefisienan (Kim *et al.* 2007), sehingga perlu dilakukan pelapisan dengan katalis, misalnya platinum (Pham *et al.* 2004).

Selain itu bisa juga digunakan kalium ferrisianida (K₃[Fe(CN)₆]) yang dikenal sangat baik sebagai aseptor elektron dalam sistem MFC. (K₃[Fe(CN)₆]) merupakan spesies elektroaktif yang mampu menangkap elektron dengan baik dengan harga potensial reduksi standar sebesar + 0.36 V. Keuntungan terbesar dalam penggunaan kalium ferrisianida adalah dihasilkannya *overpotensial* yang rendah bila menggunakan katoda karbon. Akan tetapi kerugian terbesar adalah terjadinya proses reoksidasi yang tidak sempurna oleh oksigen sehingga larutannya harus diganti secara teratur (Zahara, 2011).

2.4 Aplikasi MFC

Sistem MFC sejauh ini sudah diaplikasi dalam beberapa bidang, diantaranya untuk pengolahan limbah cair dan penghasil energi listrik, biosensor, dan produksi bahan bakar sekunder.

2.4.1 Pengolahan limbah

Teknologi MFC menarik untuk pengolahan limbah karena sistem ini memungkinkan kita untuk mengambil energi dari limbah untuk produksi listrik

(Patra, 2008). MFC menggunakan mikroba tertentu memiliki kemampuan untuk menghilangkan kandungan sulfida yang merupakan salah satu parameter penting pada pengolahan limbah. Substrat MFC memiliki kandungan promotor pertumbuhan yang bisa meningkatkan pertumbuhan mikroba bioelektrokimia selama proses pengolahan limbah.

Pemanfaatan teknologi MFC juga telah diterapkan pada pengolahan air limbah untuk menurunkan nilai *chemical oxygen demand* (COD). Pada pengolahan *Starch Processing Wastewater* (SPW) (Ghangrekar dan Shinde 2006) dan *artificial wastewater* (Moon *et al.* 2006), MFC mampu menurunkan COD berturut-turut sebesar 9703 mg/l menjadi 4852 mg/l dan 100 mg/l menjadi < 2 mg/l. Selain itu MFC juga telah digunakan sebagai sensor *biological oxygen demand* (BOD)

2.4.2 Biosensor

Sistem MFC dengan komunitas *consortium* anaerobik yang bisa diganti bisa digunakan sebagai biosensor untuk *on-line monitoring* senyawa organik. Meskipun beberapa metode konvensional telah digunakan untuk menghitung nilai BOD pada limbah, namun metode - metode tersebut tidak cocok untuk *on-line monitoring* dan kontrol proses pengolahan limbah secara biologis (Lovely, 2006).

2.4.3 Produksi Bahan Bakar Sekunder

Dengan sedikit modifikasi, MFC bisa digunakan untuk memproduksi bahan bakar sekunder seperti hidrogen sebagai alternatif listrik. Kondisi eksperimen standard, proton dan elektron yang dihasilkan pada ruang anoda ditransfer ke katoda yang kemudian bisa berkombinasi dengan oksigen membentuk air. Pembentukan hidrogen secara termodinamika merupakan proses yang sulit pada sebuah sel untuk mengkonversi proton dan elektron menjadi hidrogen. Peningkatan potensial eksternal pada katoda bisa mengatasi kerumitan termodinamika dan bisa menghasilkan pembentukan hidrogen. Sebagai hasilnya, proton dan elektron pada anoda berkombinasi di katoda membentuk hidrogen. MFC diperkirakan bisa memproduksi hidrogen ekstra dibandingkan

dengan jumlah yang dikeluarkan oleh metode fermentasi glukosa klasik (Lovely, 2006).

2.5 Hukum Ohm

George Simon Ohm (1781-1854) secara eksperimen menunjukkan bahwa arus listrik dalam kawat logam (I) sebanding dengan beda potensial atau tegangan (V) yang diberikan pada kedua ujungnya

$$I \propto V$$

Besarnya arus yang mengalir dalam kawat tidak hanya bergantung pada tegangan, tetapi juga pada hambatan yang diberikan oleh kawat terhadap aliran elektron. Mengambil analogi dengan aliran air, dinding pipa, pinggir sungai dan batu di tengahnya memberikan hambatan terhadap aliran air. Hal yang serupa, elektron diperlambat oleh interaksi dengan atom dalam kawat. Hambatan yang lebih tinggi akan mengurangi arus listrik untuk suatu tegangan tertentu. Sehingga hambatan dapat didefinisikan sebagai suatu besaran yang berbanding terbalik dengan arus.

$$I = \frac{V}{R}$$

Di mana R adalah hambatan dari kawat atau komponen elektronik lainnya, V adalah beda potensial yang melewati komponen dan I adalah arus yang mengalir melalui komponen tersebut yang dikenal sebagai Hukum Ohm

$$V = I R$$

(Giancolli, 1999)

Seiring hubungan ini dinamai hukum Ohm. Akan tetapi, Ohm juga menyatakan bahwa R adalah suatu konstanta yang tidak bergantung pada V dan I . Bagian kedua ini tidak seluruhnya benar. Hubungan $V = I R$ dapat diterapkan pada resistor apa saja, dimana V adalah beda potensial antara kedua ujung hambatan dan I adalah arus yang mengalir di dalamnya, sedangkan R adalah hambatan (Resistensi) resistor tersebut (Bueche, 1989).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai selesai.

3.2 Alat dan Bahan

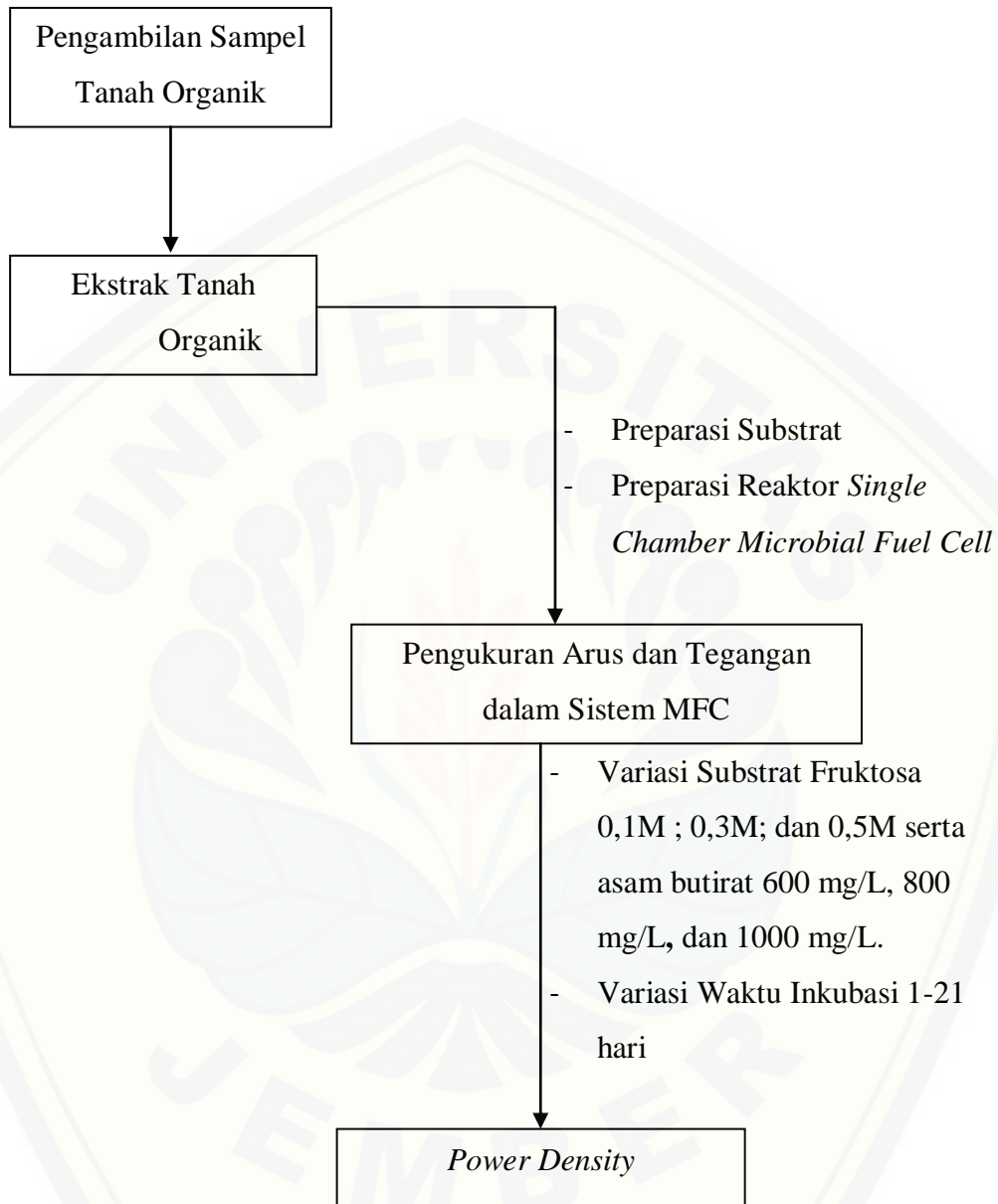
3.2.1 Alat

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain : sekop tanah, gelas ukur, labu ukur, gelas *beaker*, erlenmeyer, pipet tetes, ayakan 0.5 mm, neraca analitik, *ball* pipet, pipet volume, multimeter digital, mikroampere analog, anoda, katoda, elektroda karbon, tabung *single chamber microbial fuel cell* lengkap dengan penutup, lampu *LED*, kapasitor, *stopwatch*, dan termometer.

3.2.2 Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain : tanah organik dari perkebunan organik Wonosari Bondowoso, aquades, asam butirat 600 mg/L, 800 mg/L, dan 1000 mg/L. Fruktosa ($C_6H_{12}O_6$) 0.1 M, 0.3 M dan 0.5 M.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan terdiri dari preparasi sampel tanah organik kemudian dilanjutkan dengan eksperimen *single chamber microbial fuel cell* dengan variasi substrat dan waktu inkubasi substrat, serta penentuan *power density*.

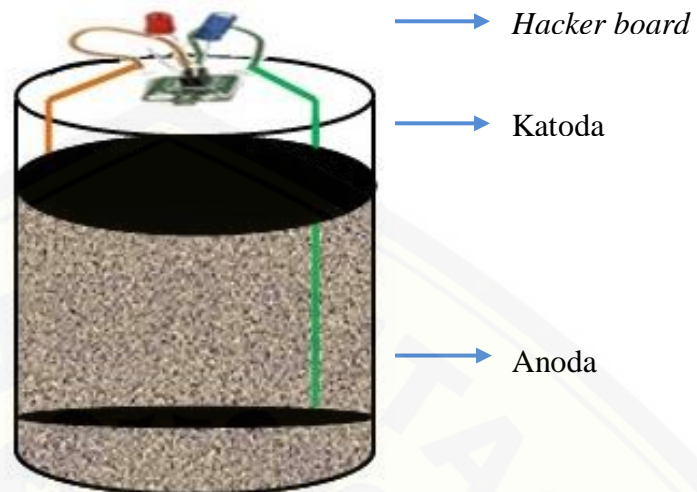
3.4.1 Preparasi Substrat

Substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah fruktosa dan asam butirat. Fruktosa dan asam butirat dicampurkan dengan sampel tanah sebagai substrat. Fruktosa ($C_6H_{12}O_6$) yang digunakan terbuat dari 0.5 gram fruktosa dalam 6 mL aquades. Larutan fruktosa dengan konsentrasi 0,3 M dari 0.5 gram glukosa dalam 10 mL aquades. Sedangkan larutan fruktosa 0,1 M dibuat dari 0.5 gram fruktosa dalam 30 mL aquades. Asam butirat merupakan senyawa organik yang digunakan sebagai variasi jenis substrat pada penelitian ini. Asam butirat yang digunakan pada penelitian ini sebesar 600 mg/L, 800 mg/L dan 1000 mg/L.

3.4.2 Preparasi Eksperimen *Single Chamber Microbial Fuel Cell*

a. Desain Alat *Single Chamber Microbial Fuel Cell*

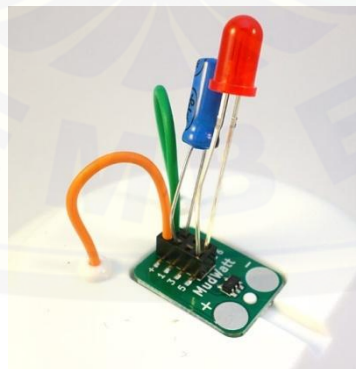
Desain *Single Chamber Microbial Fuel Cell* yang digunakan terdiri dari satu bejana (*Single Chamber*) yang memiliki volume bejana sebesar 500 mL dan dilengkapi dengan penutupnya. Anoda dan katoda terbuat dari serat grafit yang dihubungkan menggunakan kawat titanium dengan warna hijau sebagai kawat yang menghubungkan dengan anoda dan warna *orange* sebagai kawat yang menghubungkan dengan katoda. Anoda diletakkan diatas substrat, pada ketinggian 1 cm didalam bejana, sedangkan katoda diletakkan 5 cm diatas substrat dari jarak anoda. Kawat pada anoda dan katoda akan terhubung menuju *Hacker Board* yang nantinya akan menghasilkan nilai *Power Density*. Berikut adalah gambar dari desain *single Chamber Microbial Fuel Cell* :



Gambar 3.2 Desain Alat *Single Chamber Microbial Fuel Cell* (Sumber: Lohner, 2016).

b. Desain *Hacker Board*

Hacker Board terletak pada tutup dari bejana terdiri dari 8 pin yang memiliki fungsi yang berbeda. Pin dengan tanda (+) tersambung dengan katoda dan (-) tersambung dengan anoda, pin 1 dan 2 tersambung dengan kapasitor sedangkan pin 5 dan 6 tersambung dengan lampu LED. Berikut adalah gambar desain dari *hacker board* :



Gambar 3.2 Desain *Hacker Board* (Lohner, 2016).

3.4.3 Eksperimen *Single Chamber Microbial Fuel cell*

a. Variasi Jenis Dan Konsentrasi Substrat

Substrat merupakan faktor kunci pada produksi listrik yang efisien dalam sistem *Microbial Fuel Cell*. Jenis substrat yang digunakan merupakan senyawa organik yang dapat membantu pertumbuhan dari mikroba aktif (Das dan Mangwani., 2010). Tanah organik dengan variasi jenis substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah fruktosa dan asam butirat. Variasi fruktosa sebesar 0.1 M, 0.3 M dan 0.5 M. Sedangkan variasi jenis substrat yang digunakan adalah asam butirat sebesar 600 mg/L, 800 mg/L dan 1000 mg/L serta adanya perlakuan terhadap tanah organik tanpa penambahan substrat yang digunakan sebagai kontrol.

Larutan fruktosa 0.1 M sebanyak 10 mL ditambahkan kedalam 450 mL sampel tanah. Substrat fruktosa kemudian diaduk secara mekanik hingga semua bercampur. Substrat fruktosa tersebut akan dimasukkan kedalam kompartemen *single chamber microbial fuel cell* sebagai variasi konsentrasi dari substrat fruktosa. Hal yang sama dilakukan pada variasi konsentrasi fruktosa sebesar 0.3 M dan 0.5 M.

Tanah organik tanpa penambahan substrat digunakan sebagai kontrol. Kontrol ini berfungsi untuk membandingkan nilai dari *power density* tanpa penambahan substrat serta dengan penambahan substrat. Tanah organik dimasukkan kedalam kompartemen dengan penambahan aquades sebesar 450 mL tanpa penambahan substrat senyawa organik.

b. Variasi Lama Inkubasi Substrat

Substrat yang telah di masukkan kedalam kompartemen *single chamber microbial fuel cell* di inkubasi selama 7 hari, 14 hari dan 21 hari. Waktu yang dibutuhkan oleh mikroba membentuk biofilm pada anoda adalah sekitar 7 hari. Selama waktu tersebut pengukuran arus, dan beda potensial, dan *power output* dilakukan mulai dari hari pertama hingga 21 hari. Pada waktu 7 hari keatas diharapkan nilai kuat arus, tegangan akan

meningkat, sedangkan pada waktu 21 hari diharapkan nilai pengukuran akan stabil (Lohner, 2016).

3.4.4 Pengukuran Tegangan dan Kuat Arus Sistem MFC

Tegangan dari sistem MFC diukur menggunakan multimeter digital. Sedangkan kuat arus dari sistem MFC diukur menggunakan mikroampere analog. Data yang berupa tegangan dan kuat arus kemudian diolah sehingga didapatkan nilai *power density* (mW/m^2), yaitu daya persatuan luas permukaan elektroda. *Power Density* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Kristin, 2012).

$$\text{Power Density } \left(\frac{\text{mW}}{\text{m}^2} \right) = \frac{I (\text{mA}) \times V (\text{Volt})}{A (\text{m}^2)} \quad (3.1)$$

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan variasi konsentrasi fruktosa pada sistem *single chamber microbial fuel cell* menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 20.25 mW/m^2 pada variasi konsentrasi 0.5 M.
2. Penambahan variasi konsentrasi asam butirat pada sistem *single chamber microbial fuel cell* menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 19.70 mW/m^2 pada variasi konsentrasi 800 mg/L.
3. Nilai *power density* fruktosa mencapai optimum pada waktu inkubasi selama 3 minggu sedangkan substrat asam butirat pada waktu inkubasi selama 2 minggu. .

5.2 Saran

Perbaikan pada desain sistem MFC dan substrat yang digunakan akan meningkatkan nilai *power density* optimum yang dihasilkan. Usaha peningkatan kinerja sistem *microbial fuel cell* dapat dilakukan dengan merangkai bejana secara seri dan paralel.

DAFTAR PUSTAKA

- Bullen RA, Arnot TC, Lakeman JB, dan Walsh FC. 2006. Biofuel Cell and Their Development: *J. Biosensors and Bioelectronics*
- Chadhuri SK dan Lovley DR. 2003. Electricity Generation by Direct Oxidation of Glucose in Mediatorless Microbial Fuel Cell. *J. Nat. Biotechnol.*
- Cheng, S., Liu, H., Logan, B.E., 2006. *Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure*. *Electrochem. Commun.* 8, 489–494
- Das dan Mangwani. 2010. Recent developments in Microbial Fuel Cells : a review. *Scientific & Industrial Research.* 69:727-731.
- Kim G.T., Webster G., Wimpenny J.W.T., Kim B.H., Kim H.J., Weightman A.J. 2006. Bacterial Community Structure, Compartmentalization and Activity in a Microbial Fuel Cell. *J. Appl. Microbiol.*
- Kristin, E. 2012. Produksi Energi Listrik melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Kurniawati, L. dan Sanjaya, I G. M. 2013. *Pengaruh Jenis Bakteri Selulolitik Terhadap Efisiensi Sel Bakar Mikroba*. Surabaya: UNESA.
- Liu, Cheng, Logan. 2005. Production of electricity from acetate or butyrate using a single-chamber microbial fuel cell. *Environmental Science Technology.* 39: 658 – 662.
- Liu, H. 2008. Microbial fuel cell: Novel anaerobic biotechnology for energy generation from wastewater. *Anaerobic biotechnology for bioenergy production : principles and application*. S. K. Khanal. Iowa, Blackwell Publishing:221-234.
- Logan and Regan. 2006. Electricity-producing Bacterial communities in Microbial Fuel Cells. *Trends in Microbiology.*
- Logan B.E. 2014. *Microbial Fuel Cell*. Department of Civil and Environment Engineering : The Pennsylvania State University.
- Lohner, Svenja. 2016. *How Do Bacteria Produce Power in a Microbial Fuel Cell?*. <http://www.sciencebuddies.org/science-fairprojects/projectideas/MicroBio032/microbiology/bacteria-microbial-fuel-cell.shtml#procedure>. [Diakses pada 20 November 2016].

- Lovely, DR. 2006. Microbial Fuel Cells: Novel Microbial Physiologies And Engineering Approaches. *Curr Opin Biotech.* 17:327-32.
- Lovely, DR. 2006. Bug Juice: Harvest Electricity With Microorganism. *Nat Rev/Microbial.* 4:479-508
- Lovley, Philips EJP. 1989. Requirement for microbial consortium to completely oxidize glucose in Fe(III)-reducing sediments. *Appl. Enviroment Microbial.* 55:3234-3236
- Novitasari, D. 2011. Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus Bulgaricus*. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Park HS, Kim BH, Kim HS, Kim HJ, Kim GT, Kim M, Chang IS, Park YK, dan Chang HI. 2001. A Novel electrochemically active and Fe (III)-reducing bacterium phylogenetically related to *Clostridium butyricum* isolated from microbial fuel cell. *J. Anaerobe*
- Pham CA, Jung SJ, Phung NT, Lee J, Chang IS, Kim BH, Yi H, dan Chun J. 2003. A novel electrochemically active and Fe (III)-reducing bacterium phylogenetically related to *Aeromonas hydrophila*, isolated from microbial fuel cell. *J. FEMS Microbiol.*
- Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari S., Zirepour, A., Oh, S. 2015. Microbial Fuel Cell as New Technology for Bioelectricity Generation: a Review. *Alexandria Engineering Journal.*
- Schroder, U. 2007. *Anodic Electrone Transfer Mechanisms in Microbial Fuel Cells and Their Energy Efficiency*. German: Institut for Biochemie.
- Scott and Murano. 2007. Microbial Fuel Cells Utilising Carbohydrates. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology.*
- Sengodan, P. dan Hays B.D. 2012. *Microbial Fuel Cell*. National Petroleum Council (NPC) Study.
- Shukla, A.K., Suresh, P., Berchmans, S., Rajendran, A. 2004. *Review Article Biological Fuel Cell and Their Application*. Current Science.
- Sitorus B. 2010. Diversifikasi sumber energi terbarukan melalui penggunaan air buangan dalam sel elektrokimia berbasis mikroba. *Jurnal ELKHA* 2 (1): 10-15.

Watanabe K. 2008. Recent developments in microbial fuel cell technologies for sustainable bioenergy: *Bioscience and Bioengineering*.

Zahara, N. C. 2011. Pemanfaatan *Saccharomyces Cerevisiae* dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Nilai *Power Density*

1.1 Sistem Kontrol (Tanpa Penambahan Substrat)

Persamaan *Power Density* =

$$Power\ Density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{I\ (mA) \times V\ (Volt)}{A\ (m^2)}$$

- Waktu Inkubasi 1-7 Hari

$$Power\ Density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{23.10^{-3}\ mA \times 0.62\ Volt}{7.85 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$= 1.82\ mW/m^2$$

- Waktu Inkubasi 8-14 Hari

$$Power\ Density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{48.4 \times 10^{-3}\ mA \times 0.71\ Volt}{7.85 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$= 4.37\ mW/m^2$$

- Waktu Inkubasi 15-21 Hari

$$Power\ Density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{44.6 \times 10^{-3}\ mA \times 0.74\ Volt}{7.85 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$= 4.20\ mW/m^2$$

1.2 Variasi Penambahan Substrat Fruktosa

a. Fruktosa 0.1M

- Waktu Inkubasi 1-7 Hari

$$Power\ Density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{157 \times 10^{-3}\ mA \times 0.24\ Volt}{7.85 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$= 4.8\ mW/m^2$$

- Waktu Inkubasi 8-14 Hari

$$Power\ Density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{279 \times 10^{-3}\ mA \times 0.39\ Volt}{7.85 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$= 13.9\ mW/m^2$$

- Waktu Inkubasi 15-21 Hari

$$Power\ Density\ \left(\frac{mW}{m^2}\right) = \frac{226 \times 10^{-3}\ mA \times 0.65\ Volt}{7.85 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$= 18.7\ mW/m^2$$

b. fruktosa 0.3 M

- Waktu Inkubasi 1-7 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2} \right) &= \frac{93.5 \times 10^{-3} mA \times 0.35 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 4.2 \text{ mW/m}^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 8-14 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2} \right) &= \frac{196 \times 10^{-3} mA \times 0.73 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 18.22 \text{ mW/m}^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 15-21 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2} \right) &= \frac{192 \times 10^{-3} mA \times 0.80 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 19.5 \text{ mW/m}^2 \end{aligned}$$

c. fruktosa 0.5 M

- Waktu Inkubasi 1-7 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2} \right) &= \frac{112 \times 10^{-3} mA \times 0.47 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 6.70 \text{ mW/m}^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 8-14 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2} \right) &= \frac{212 \times 10^{-3} mA \times 0.72 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 19.5 \text{ mW/m}^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 15-21 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2} \right) &= \frac{199 \times 10^{-3} mA \times 0.80 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 20.25 \text{ mW/m}^2 \end{aligned}$$

1.2 Variasi Penambahan Substrat Asam Butirat

a. Asam Butirat 600 mg/L

- Waktu Inkubasi 1-7 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2} \right) &= \frac{150 \times 10^{-3} mA \times 0.52 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 10 \text{ mW/m}^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 8-14 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{183 \times 10^{-3} mA \times 0.75 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 17.5 mW/m^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 15-21 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{163 \times 10^{-3} mA \times 0.76 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 15.8 mW/m^2 \end{aligned}$$

b. Asam Butirat 800 mg/L

- Waktu Inkubasi 1-7 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{162 \times 10^{-3} mA \times 0.72 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 15 mW/m^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 8-14 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{189 \times 10^{-3} mA \times 0.80 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 19.40 mW/m^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 15-21 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{190 \times 10^{-3} mA \times 0.82 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 19.70 mW/m^2 \end{aligned}$$

c. Asam Butirat 1000 mg/L

- Waktu Inkubasi 1-7 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{137 \times 10^{-3} mA \times 0.76 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 13.0 mW/m^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 8-14 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{136 \times 10^{-3} mA \times 0.74 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 12.8 mW/m^2 \end{aligned}$$

- Waktu Inkubasi 15-21 Hari

$$\begin{aligned} \text{Power Density } \left(\frac{mW}{m^2}\right) &= \frac{130 \times 10^{-3} mA \times 0.65 \text{ Volt}}{7.85 \times 10^{-3} m^2} \\ &= 10.8 mW/m^2 \end{aligned}$$