



**OPTIMASI KINERJA ELEKTRODA DALAM *MICROBIAL FUEL CELL*  
PADA SUBSTRAT TANAH DAN SAMPAH**

**SKRIPSI**

Oleh

**Winda Intan Novalia**

**NIM 121810301062**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**



**OPTIMASI KINERJA ELEKTRODA DALAM *MICROBIAL FUEL CELL* PADA SUBSTRAT TANAH DAN SAMPAH**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Winda Intan Novalia**

**NIM 121810301062**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**

**PERSEMBAHAN**

Saya Persembahkan tulisan ini kepada:

Bapak Sumirin, Ibu Hartatik, adik Gledy serta seluruh keluarga. Terimakasih atas do'a, dukungan, semangat, kasih sayang, motivasi, dan nasihat yang selalu diberikan selama ini. Tidak lupa kepada seluruh guru di TK Khadijah Grajagan Banyuwangi, MI NU 1 Grajagan Banyuwangi, MTs Negeri Sidorejo Banyuwangi, SMAN Purwoharjo Banyuwangi, dan dosen-dosen di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbing dengan penuh kesabaran;

**MOTTO**

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain”

(Terjemahan surat Al-Insyiroh ayat 6-7)\*

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah (Nasib) suatu kaum sampai mereka mengubah diri mereka sendiri”

(Terjemahan surat Al-Ra’d ayat 11)\*

“Bertakwalah kepada Allah maka Allah akan mengajarimu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu”

(Terjemahan surat Al-Baqarah ayat 282)\*

---

\* Departemen agama Proyek Pengadaan Kitab Suci Al’Qur’an.197. Al’Qur’an dan terjemahannya.Jakarta : PT. Bumi Restu.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Winda Intan Novalia

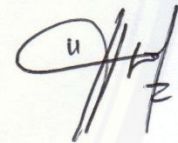
NIM : 121810301062

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Optimasi Kinerja Elektroda dalam *Microbial Fuel Cell* pada Substrat Tanah dan Sampah” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 12 April 2018

Yang menyatakan,



Winda Intan Novalia

NIM 121810301062

**SKRIPSI**

**OPTIMASI KINERJA ELEKTRODA DALAM *MICROBIAL FUEL CELL* PADA SUBSTRAT TANAH DAN SAMPAH**

Oleh

Winda Intan Novalia  
NIM 121810301062

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Hardian Susilo Addy, S.P., M.P., Ph.D.

PENGESAHAN

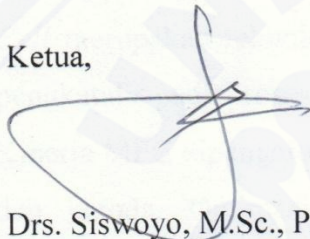
Skripsi berjudul “Optimasi Kinerja Elektroda dalam *Microbial Fuel Cell* pada Substrat Tanah dan Sampah” karya Winda Intan Novalia telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : **SENIN 07 MAY 2018**

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji:

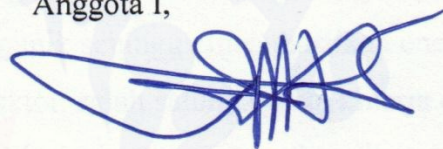
Ketua,



Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.

NIP. 196605291993031003

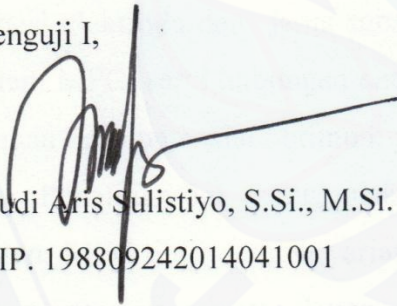
Anggota I,



Hardian Susilo Addy, S.P., M.P., Ph.D.

NIP. 198011092005011001

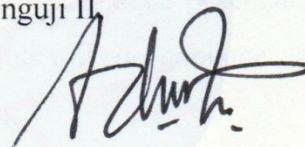
Penguji I,



Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si.

NIP. 198809242014041001

Penguji II,



I Nyoman Adi Winata, S.Si., M.Si.

NIP. 197105011998021002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Jember



Drs. Sujito, Ph.D.

NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Optimasi Kinerja Elektroda dalam *Microbial Fuel Cell* pada Substrat Tanah dan Sampah;** Winda Intan Novalia, 121810301062; 2018: 72 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Konsumsi energi listrik di Indonesia bergantung pada bahan bakar fosil yang cadangannya semakin menipis. Selain itu, terdapat masalah yang ditimbulkan akibat penggunaannya yaitu menimbulkan efek pemanasan global. Oleh karena itu, energi alternatif yang ramah lingkungan sangat dibutuhkan, salah satunya *Microbial Fuel Cell* merupakan teknologi terbaru yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai pengkatalis pada proses oksidasi materi organik sehingga menghasilkan energi listrik. Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu kinerja dari anoda dan katoda. Optimasi kinerja dari anoda dan katoda perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi terbaik elektroda dalam menghasilkan beda potensial optimum pada sistem MFC. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu mengetahui perbedaan variasi elektroda dan jenis substrat dalam penentuan beda potensial optimum pada sistem MFC, serta hubungan antara jumlah kultur mikroorganisme pada media MFC dengan beda potensial optimum yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan variasi elektroda, substrat dan massa substrat. Sistem MFC diuji dengan variasi elektroda karbon (C) dan *stainless steel* (SS) pada masing-masing substrat dengan variasi massa 100, 200, dan 300 g selama 78 jam untuk diukur nilai beda potensialnya serta ditentukan sistem MFC terbaik dengan nilai beda potensial optimum. Masing-masing sistem akan diuji persen karbon, pH, dan bakteri pada kondisi sebelum dan sesudah MFC untuk dibandingkan satu dengan yang lain.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem MFC menggunakan elektroda karbon dengan substrat sampah dan tanah saat kondisi optimum mampu menghasilkan nilai beda potensial sebesar 488-715 milivolt (mV), nilai beda



potensial ini lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda *stainless steel* sebesar 439-566 mV. Hal ini dikarenakan elektroda karbon bersifat *biocompatible* terhadap aktivitas bakteri dalam transfer elektronnya sehingga memudahkan transfer elektron dan mampu menghasilkan nilai beda potensial yang lebih tinggi. Penentuan kondisi optimum sistem MFC dilakukan dengan uji ANOVA. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam identifikasi pengaruh masing-masing perlakuan dengan analisis statistika. Hasil uji ANOVA menunjukkan sistem yang mampu menghasilkan nilai beda potensial yang optimum yaitu sistem yang menggunakan elektroda karbon dengan substrat tanah. Hal ini dikarenakan bahan organik pada substrat tanah lebih sedikit dibandingkan sampah sehingga aktivitas bakteri pada MFC tidak terhambat dalam proses degradasinya. Semakin tinggi konsentrasi substrat dapat mengakibatkan efek penghambatan pada aktivitas bakteri. MFC dengan kultur bakteri campuran memiliki ketahanan yang tinggi terhadap gangguan, konsumsi substrat yang dibutuhkan dan hasil energi yang dihasilkan akan lebih tinggi. Produk degradasi yang dihasilkan oleh bakteri satu dengan lainnya akan berbeda. Hal ini membuat bakteri yang berbeda jenis dapat memanfaatkan hasil metabolit bakteri lainnya, sehingga hasil energi yang diperoleh sistem MFC dengan kultur campuran lebih tinggi dibandingkan dengan koloni tunggal.

## PRAKATA

Puji syukur atas ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Kinerja Elektroda dalam Mikrobial Fuel Cell pada Substrat Tanah dan Sampah”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan, waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Hardian Susilo Addy, S.P., M.P., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan, waktu, pikiran, perhatian, dan dan dalam penulisan skripsi ini;
5. Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I serta I Nyoman Adi Winata, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, dan memberikan kritik serta saran demi kesempurnaan skripsi ini;
6. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I awal dan Agung Budi Santoso, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II awal, yang telah meluangkan waktunya guna menguji, dan telah memberi kritik serta saran demi kelancaran penelitian skripsi ini;
7. Erlia Narulita, S.Pd., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing dalam *Bacteriophage Team* yang telah meluangkan, waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;

8. Keluarga tercinta, Bapak Sumirin, Ibu Hartatik dan adik Gledy, yang selalu memberikan do'a, dukungan, semangat, nasehat dan kasih sayang yang tiada henti;
9. Sahabat-sahabatku, Vike Putri Ana, Mufrihah Nurhayati, Yulia Agustin, Dewi Adriana Putri, dan Retno Marhaeni, terima kasih atas semangat, saran, doa, dan motivasinya;
10. Teman-teman seperjuangan *Phage Team*, Febri, Angga, Guruh, Azam, Isna, Lutfi, Agnes, Desi, Mbak Raras, Mbak Tita, Ifa, Gerda, Udin, Amin, Wulan, Fiqih, Umi, dan Laily terimakasih atas doa, dukungan, semangat, saran, kerjasama, pengalaman, dan bantuannya;
11. Teman-teman angkatan 2012 "LANTHANIDA" terimakasih atas semangat, dukungan, bantuan, kritik, saran serta pengalaman yang telah diberikan;
12. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih atas bantuan dan doa yang telah terpanjat;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh sebab itu diperlukan kritik dan saran yang membangun bagi penulis demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi pembaca.

Jember, April 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Sel Elektrokimia</b> .....	5
<b>2.2 Fuel Cell</b> .....	5
<b>2.3 Proton Exchange Membran Fuel Cell (PEMFC)</b> .....	7
<b>2.4 Proton Exchange Membran Biological Fuel Cell (PEMBFC)</b> ...	8
<b>2.5 Microbial Fuel Cell (MFC)</b> .....	9
<b>2.6 Jenis Sistem MFC</b> .....	10
2.6.1 MFC Berdasarkan Desain Kompartemen .....	10
a. <i>MFC Dual Chamber</i> .....	10
b. <i>MFC Single Chamber</i> .....	10
c. <i>Stacked MFC</i> .....	11
d. <i>Up-flow MFC</i> .....	12
2.6.2 MFC Berdasarkan Penggunaan PEM .....	12
2.6.3 MFC Berdasarkan Kultur .....	13

<b>2.7 Prinsip MFC</b> .....	13
<b>2.8 Mekanisme Transfer Elektron Mikroorganisme</b> .....	16
2.8.1 Transfer Elektron Melalui Protein Membran Luar Sel Secara Langsung .....	16
2.8.2 Transfer Elektron dengan Mediator .....	16
2.8.3 Transfer Elektron melalui <i>Bacterial Nanowire</i> .....	17
<b>2.9 Komponen dalam MFC</b> .....	18
2.9.1 Anoda .....	18
2.9.2 Katoda.....	19
2.9.3 <i>Proton Exchange Membrane</i> (PEM) .....	20
<b>2.10 Substrat MFC</b> .....	21
<b>2.11 Mikroorganisme dalam Sistem MFC</b> .....	22
<b>2.12 Spektrofotometri</b> .....	25
<b>2.13 Perhitungan</b> .....	26
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	27
<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	27
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	27
3.2.1 Alat.....	27
3.2.2 Bahan .....	27
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian</b> .....	28
<b>3.4 Prosedur Kerja</b> .....	28
3.4.1 Preparasi Sampel .....	28
3.4.2 Preparasi Media MFC .....	28
a. Desain Kompartemen MFC .....	29
b. Preparasi <i>Proton Exchange Membrane</i> .....	29
c. Preparasi Elektroda .....	29
d. Preparasi Elektrolit .....	30
3.4.3 Eksperimen MFC .....	30
3.4.4 Analisis Kadar C dan pH pada Tanah dan Sampah .....	31
a. Analisis Karbon (Metode Kurmis) .....	31
b. Pengukuran pH .....	32
3.4.5 Analisis Jumlah Mikroorganisme dalam Tanah dan Sampah pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Proses MFC .....	32
a. Isolasi Bakteri pada Tanah dan Sampah Sebelum MFC .....	32
b. Isolasi Bakteri pada Tanah dan Sampah Sesudah MFC .....	32
c. Identifikasi Secara Makroskopik dan Mikroskopik .....	34
d. Penghitungan Total Bakteri .....	34

<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	35
<b>4.1 <i>Microbial Fuel Cell</i></b> .....	35
4.1.1 Penentuan Nilai Beda Potensial Optimum.....	35
4.1.2 Hubungan Bahan Organik dengan Nilai Beda Potensial yang Dihasilkan .....	39
<b>4.2 Analisis pada Tanah dan Sampah</b> .....	40
4.2.1 Analisis Karbon pada Substrat Tanah dan Sampah .....	40
4.2.2 Analisis pH pada Substrat Tanah dan Sampah .....	43
<b>4.3 Identifikasi Mikroba pada Substrat Tanah dan Sampah</b> .....	45
4.3.1 Morfologi Bakteri Hasil Inokulasi Bakteri dari Sampel Tanah dan Sampah Sebelum Proses MFC .....	45
a. Sampel Tanah Sebelum Proses MFC .....	45
b. Sampel Sampah Sebelum Proses MFC.....	46
4.3.2 Morfologi Bakteri Hasil Inokulasi Bakteri dari Sampel Tanah dan Sampah Sesudah Proses MFC .....	46
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	49
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	49
<b>5.2 Saran</b> .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	50
<b>LAMPIRAN</b> .....	56

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Jenis-jenis <i>Fuel Cell</i> .....	7
2.2 Perbandingan kondisi <i>Fuel Cell</i> dan MFC .....	9
2.3 Komposisi yang terkandung dalam <i>Austenitic SS</i> .....	19
4.1 Hasil klasifikasi uji ANOVA jenis elektroda dan substrat .....	38
4.2 Hasil klasifikasi uji ANOVA jenis variasi massa .....	38
4.3 Karakteristik isolat sampel tanah sebelum proses MFC .....	45
4.4 Karakteristik isolat sampel sampah sebelum proses MFC .....	46
4.5 Karakteristik isolat sampel tanah dan sampah sesudah proses MFC .....	47

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Skema kerja PEMC .....	8
2.2 Desain MFC <i>dual chamber</i> .....	10
2.3 Desain MFC <i>single chamber</i> .....	11
2.4 Desain <i>stacked</i> MFC .....	11
2.5 Desain <i>up-flow</i> MFC .....	12
2.6 Mekanisme tranfer elektron melalui membran luar sel.....	16
2.7 Mekanisme tranfer elektron dengan mediator.....	17
2.8 Mekanisme transfer elektron melalui <i>bacterial nanowires</i> .....	17
2.9 Struktur kimia dari membran Nafion 117 .....	20
2.10 Skema siklus Carbon .....	22
2.11 Ringkasan tahap-tahap yang terjadi pada katabolisme glukosa dalam sel mikroorganisme .....	24
3.1 Desain MFC <i>dual chamber</i> .....	29
4.1 Proses umum dalam MFC <i>dual chamber</i> .....	35
4.2 Grafik hasil beda potensial sistem MFC <i>dual chamber</i> .....	37
4.3 Grafik panjang gelombang maksimum .....	41
4.4 Kurva standar glukosa dengan panjang gelombang 586 nm .....	41
4.5 Nilai persen karbon organik sistem <i>dual chamber</i> .....	42
4.6 Nilai pH sistem <i>dual chamber</i> .....	44
4.7 Koloni bakteri sampel tanah pengenceran $10^{-4}$ .....	45
4.8 Koloni bakteri sampel sampah pengenceran $10^{-5}$ .....	46



**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. Hasil uji ANOVA dalam menentukan sistem MFC dengan nilai beda potensial optimum.....	56
B. Hasil panjang gelombang maksimum dan absorbansi maksimum pada uji C organik.....	61
C. Hasil kadar air, faktor koreksi, PPM kurva, dan kadar C organik .....	64
D. Hasil inokulasi bakteri sebelum dan sesudah proses MFC .....	65
E. Hasil foto, tabel morfologi, dan sel bakteri sesudah proses MFC .....	67
F. Hasil beda potensial, pH, dan Uji C organik kontrol (tanpa bakteri) .....	72

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kehidupan masyarakat di era modern tidak dapat lepas dari energi listrik. Banyak aktivitas sehari-hari yang melibatkan penggunaan energi listrik. Konsumsi energi listrik di Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan yang disertai dengan meningkatnya jumlah penduduk. Menurut data dari Pusat Data dan Sistem Pertanian Kementerian Pertanian (2014), jumlah penduduk Indonesia tahun 2014 sebanyak 252,2 juta jiwa dengan konsumsi listrik 180 TWh sedangkan tahun 2015 terdapat 255,5 juta jiwa dengan konsumsi sebesar 200 TWh (Muchlis *et al.*, 2015).

Konsumsi energi listrik di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian ESDM (2015) menyebutkan bahwa total cadangan minyak bumi di Indonesia sebesar 7.305,02 juta barel. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2014) sumber daya dan cadangan batubara di Indonesia tahun 2013 sebesar 151.882,5 juta ton. Persediaan minyak bumi hanya bertahan dalam kurun waktu 12 tahun, sedangkan untuk batu bara dapat bertahan untuk 80 tahun (Anonim, 2015a). Selain itu, terdapat masalah yang ditimbulkan akibat penggunaan bahan bakar fosil yaitu dapat meningkatkan kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer, yang menimbulkan efek pemanasan global. Oleh karena itu, energi alternatif yang ramah lingkungan sangat dibutuhkan untuk menggantikan energi konvensional, salah satunya pemanfaatan biomassa sebagai sumber untuk menghasilkan energi alternatif.

Salah satu jenis biomassa yang dapat digunakan sebagai energi alternatif yaitu biomassa mikroorganisme. Biomassa mikroorganisme akan melakukan aktivitas metabolisme dengan memanfaatkan materi organik untuk menghasilkan metabolit, didalamnya termasuk energi (ATP). Menurut Nelson *et al.* (2004) aktivitas metabolisme tidak hanya menghasilkan ATP, tetapi juga elektron (pada proses transport elektron). Elektron yang dihasilkan akan ditangkap oleh akseptor elektron terminal (TEA) seperti O<sub>2</sub>, nitrat dan sulfat (Logan, 2008).

Menurut Rahimnejad *et al.* (2015) mikroorganisme dapat menghasilkan listrik yang berasal dari proses metabolisme dalam tubuhnya. Zahara (2011) membuktikan bahwa aktivitas bakteri *Saccharomyces cerevisiae* dalam substrat glukosa menghasilkan kuat arus dan tegangan sebesar 224 mikroampere ( $\mu\text{A}$ ) dan 196 milivolt (mV). Kondisi ini memungkinkan elektron dari metabolisme mikroorganisme dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Menurut Kristin (2012) Elektron dari metabolisme mikroorganisme dapat dialirkan menuju anoda dalam kondisi anerob, sehingga elektron dapat diubah menjadi energi listrik dengan bantuan sel elektrokimia berupa sel galvanik. Penerapan sel galvanik sudah mulai diterapkan pada media *Microbial Fuel Cell* (MFC) sejak tahun 1911 oleh Potter (Logan, 2008).

MFC adalah teknologi terbaru yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai pengkatalis pada proses oksidasi materi organik sehingga menghasilkan energi listrik (Ramadhan dan Wibowo, 2013). Menurut Sengodan *et al.* (2012) kemampuan MFC dalam menangkap elektron (metabolisme) dipengaruhi oleh komponen-komponen MFC seperti: elektroda, *proton exchange membrane* (PEM), desain MFC, dan jumlah kultur mikroorganisme pada MFC. Penelitian mengenai MFC telah dilakukan oleh Zahara (2011) dan Novitasari (2011) menggunakan substrat sama (glukosa), jenis bakteri berbeda dan perlakuan yang berbeda. Kuat arus dan tegangan yang dihasilkan sebesar 224  $\mu\text{A}$ , 196 mV dan 0,302 miliampere (mA), 208 mV.

Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu kinerja dari anoda dan katoda. Optimasi kinerja dari anoda dan katoda perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi terbaik elektroda dalam menghasilkan beda potensial optimum pada sistem MFC. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai kondisi kinerja optimum elektroda pada MFC menggunakan substrat tanah dan limbah organik (sampah) yang kurang dimanfaatkan, sehingga MFC dapat dimanfaatkan sebagai salah satu energi alternatif dalam menghasilkan listrik.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbedaan variasi elektroda dalam penentuan beda potensial optimum pada sistem MFC?
2. Bagaimana perbedaan substrat tanah dan sampah dalam penentuan beda potensial optimum pada sistem MFC?
3. Bagaimana hubungan antara jumlah kultur mikroorganisme yang terdapat dalam media MFC dengan beda potensial optimum yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perbedaan variasi elektroda dalam penentuan beda potensial optimum pada sistem MFC.
2. Mengetahui perbedaan substrat tanah dan sampah dalam penentuan beda potensial optimum pada sistem MFC.
3. Mengetahui hubungan antara jumlah kultur mikroorganisme yang terdapat dalam media MFC dengan beda potensial optimum yang dihasilkan.

## 1.4 Batasan Masalah

1. Sistem yang digunakan pada media MFC yaitu sistem *Dual Chamber*.
2. Jenis elektroda *stainless steel* yang digunakan pada media MFC yaitu SUS 304.
3. Suhu yang digunakan dalam pengukuran beda potensial pada media MFC yaitu suhu ruangan.
4. Jarak anoda dan katoda diletakkan berdekatan (katoda diletakkan bersebelahan dengan PEM).
5. Variasi elektroda yang digunakan elektroda grafit batang (*rod*), dan *stainless steel* serta variasi substrat tanah, sampah.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari 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 MFC.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia merupakan perangkat yang mampu mengkonversi energi listrik dan energi kimia. Sel elektrokimia dibagi menjadi dua yaitu sel galvanik/sel volta dan sel elektrolisis. Sel galvanik/sel volta merupakan perangkat yang mampu menghasilkan listrik dari reaksi redoks spontan, sedangkan sel elektrolisis merupakan perangkat yang mampu menggunakan energi listrik supaya reaksi kimia nonspontan dapat terjadi (Chang, 2003). Sel galvanik sudah mulai diterapkan dalam *microbial fuel cell* sejak tahun 1911 oleh Potter (Logan, 2008). Kompartemen yang digunakan dalam sel galvanik yaitu elektroda (anoda dan katoda), larutan elektrolit, dan medium penghantar (jembatan garam, kawat, membran penukar ion). Anoda dalam sel galvanik merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi, sedangkan katoda merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi. Senyawa kimia saat kondisi-standar memiliki kemampuan untuk mengalami reaksi reduksi maupun oksidasi. Kemungkinan hasil redoks pada kondisi-standar dapat diketahui melalui setengah reaksi dan potensial reduksi standar pada masing-masing senyawa kimia. Nilai beda potensial maksimum yang dicapai oleh sel dapat terukur ketika nilai Emf terukur. Nilai Emf sel dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E^{\circ}_{\text{sel}} = E^{\circ}_{\text{katoda}} - E^{\circ}_{\text{anoda}} \dots\dots\dots(2.1)$$

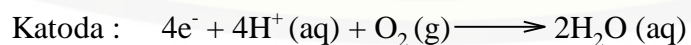
(Chang, 2003).

### 2.2 Fuel Cell

*Fuel Cell* merupakan sistem elektrokimia yang bekerja terus menerus untuk mengubah energi kimia yang berasal dari hidrogen (H<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>) langsung menjadi energi listrik selama terdapat bahan bakar dan agen pengoksidan (Shukla *et al.*, 2004). Sistem *fuel cell* memiliki proses yang berkebalikan dengan elektrolisis. Proses yang terjadi di elektrolisis yaitu penguraian H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dengan menggunakan arus listrik, sedangkan pada sistem *fuel cell* proses tersebut terjadi

kebalikannya, yaitu direaksikan  $H_2$  dan  $O_2$  untuk menghasilkan  $H_2O$  dan energi listrik. *Fuel cell* menjadi salah satu penghasil energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki tingkat efisiensi konversi energi yang cukup tinggi sebesar 60-80% dibanding jenis pengubah energi lain (Sitorus, 2010).

Sistem *fuel cell* terdiri atas beberapa susunan yaitu anoda, katoda dan membran (sebagai elektrolit). Anoda berfungsi sebagai tempat penguraian hidrogen ( $H_2$ ) sehingga menghasilkan proton dan elektron. Katoda berfungsi sebagai tempat pembentukan air akibat reaksi penggabungan antara proton, elektron dan oksigen. Anoda dan katoda dipisahkan dengan membran polimer sebagai elektrolit. Membran berfungsi sebagai media penghantar proton (Zahara, 2011; Sitorus, 2010). *Fuel cell* dialiri dengan hidrogen yang menuju pada anoda, oksigen ( $O_2$ ) atau udara dialirkan menuju katoda. Hidrogen dan oksigen yang dialirkan tidak akan tercampur dengan adanya membran, membran ini dilapisi dengan platina tipis (katalisator) yang berfungsi untuk memecah atom hidrogen menjadi elektron dan proton. Proton yang dihasilkan di anoda akan mengalir menuju katoda melalui membran, sedangkan elektron akan menumpuk di anoda karena membran hanya mengizinkan materi yang bermuatan positif sehingga elektron tidak dapat menembus membran dan proton (ion bermuatan positif) akan menumpuk di katoda. Anoda dan katoda yang terhubung dengan penghantar listrik akan mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda yang nantinya dapat menghasilkan arus listrik. Elektron yang mengalir menuju katoda akan bereaksi dengan proton dan oksigen untuk membentuk air. Berikut reaksi yang terjadi pada *fuel cell*:



(Sitorus, 2010).

*Fuel cell* berdasarkan perbedaan elektrolit dibagi menjadi enam jenis. Berikut data jenis *fuel cell* pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Jenis-jenis *Fuel Cell*

Jenis Fuel Cell	Ion	Suhu (°C)
<i>Proton Exchange Membran Fuel Cell</i> (PEMFC)	H <sup>+</sup>	30-100
<i>Alkalin Fuel Cell</i> (AFC)	OH <sup>-</sup>	50-200
<i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i> (PAFC)	H <sup>+</sup>	220
<i>Solid Oxide Fuel Cell</i> (SOFC)	O <sup>2-</sup>	500-1000
<i>Molten Carbonat Fuel Cell</i> (MCFC)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	650
<i>Direct Methanol</i> (DMFC)	H <sup>+</sup>	20-90

(Sumber: Larminie *et al.*, 2003)

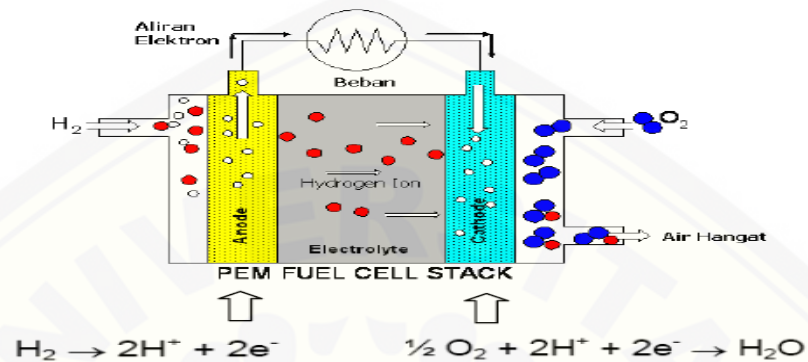
### 2.3 Proton Exchange Membran Fuel Cell (PEMFC)

*Proton Exchange Membran Fuel Cell* (PEMFC) merupakan *fuel cell* yang memanfaatkan membran polimer sebagai elektrolit. PEMFC beroperasi pada suhu ~80 °C. *Fuel cell* ini memiliki efisiensi konversi energi sebesar 40-50 %. PEMFC mentransfer proton melalui membran polimer (elektrolit). Membran polimer hanya dapat melewatkan ion hidrogen karena bersifat sebagai isolator elektron, sehingga elektron akan terperangkap di *chamber* anoda. Membran polimer memisahkan antara kedua elektroda dan memiliki ketebalan yang tipis (berukuran micrometer) (Zahara, 2011).

*Stack* (tumpukan) PEMFC tersusun atas anoda dan katoda yang dimasukkan dalam elektrolit yang terpisah satu sama lain. Gas H<sub>2</sub> bertekanan (bahan bakar) dialirkan pada permukaan anoda. Oksigen sebagai oksidan yang berasal dari udara dialirkan pada permukaan katoda. Masing-masing elektroda dilapisi dengan *platinum-based catalyst* (mengubah H<sub>2</sub> menjadi 2 proton dan 2 elektron). Elektron bergerak melalui kawat yang terhubung dengan sirkuit luar menuju ke katoda, sehingga



menghasilkan arus listrik. Proton akan menembus lapisan membran menuju katoda dan bereaksi dengan oksigen dan elektron sehingga terbentuk air dan panas (Chandrasa *et al.*, 2006). Skema kerja PEMFC terletak pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema kerja PEMFC (Chandrasa *et al.* 2006).

#### 2.4 Proton Exchange Membran Biological Fuel Cell (PEMBFC)

*Proton Exchange Membran Biological Fuel Cell* (PEMBFC) merupakan *biofuel cell* yang memanfaatkan proses metabolisme mikroba yang mengubah sumber bahan bakar (materi organik dan anorganik) dengan mengkonversi energi biokimia menjadi energi listrik dengan melibatkan enzim. Perbedaan *biofuel cell* dengan *fuel cell* yaitu *biofuel cell* tidak menggunakan katalis yang berupa logam mulia, sistem dioperasikan dalam larutan netral, dan suhu kamar. *Biofuel cell* memanfaatkan reaksi redoks spontan dari substrat seperti karbohidrat. Reaksi oksidasi substrat pada permukaan anoda dan reaksi reduksi suatu oksidator pada permukaan katoda dapat menyebabkan perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Arus listrik mengalir dari anoda ke katoda karena adanya perbedaan (selisih) energi potensial listrik antara kedua elektroda (Zahara, 2011).

PEMBFC dibagi menjadi dua jenis yaitu *Microbial Fuel Cell* (MFC) dan *Enzymatic Fuel Cell* (EFC). MFC memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis sedangkan EFC memanfaatkan enzim sebagai katalis untuk mengubah substrat melalui proses biokimia untuk menghasilkan energi listrik. Perbedaan MFC dengan EFC yaitu MFC menggunakan sel mikroorganisme utuh tanpa perlu mengisolasi

enzim pada mikroorganisme tersebut, sehingga MFC lebih praktis dibanding dengan EFC (Shukla *et al.*, 2004).

### 2.5 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 digunakan dalam MFC dapat bersifat aerob, anaerob fakultatif dan anaerob obligat (Kim *et al.*, 2006). MFC memiliki komponen yang sama dengan *fuel cell* yaitu elektroda, sirkuit listrik dan membran (sebagai elektrolit) (Idham *et al.*, 2009). Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sensitifitas dari komponen-komponen MFC (elektroda dan PEM), jenis dan jumlah kultur mikroorganisme dalam MFC, serta desain MFC (Sengodan *et al.*, 2012).

MFC memiliki kelebihan dibandingkan *fuel cell*. MFC dapat menghasilkan energi listrik yang berasal dari degradasi sampah organik maupun biomassa. MFC menggunakan katalis berupa mikroorganisme yang lebih murah dibandingkan dengan katalis *fuel cell* berupa platina yang merupakan logam mahal. Perbandingan kondisi *fuel cell* dan MFC pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan kondisi *Fuel Cell* dan MFC

Kondisi Operasi	Jenis	
	Fuel Cell	MFC
Katalis	Logam mulia	Mikroorganisme/enzim
Suhu	>200 °C	22-25 °C
Elektrolit	Asam fosfat	Larutan fosfat
pH	pH < 1	pH 7-9
Kapasitas	Tinggi	Rendah
Efisiensi	40-60%	>40%
Tipe Bahan Bakar	Gas alam	Karbohidrat dan hidrokarbon

(Sumber: Idham *et al.*, 2009).

## 2.6 Jenis Sistem MFC

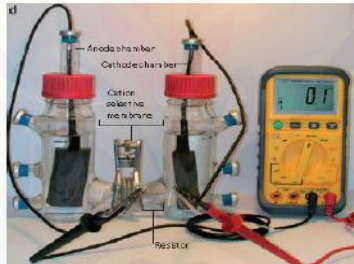
MFC terbagi dalam beberapa jenis berdasarkan aplikasinya. Sistem MFC secara umum dibagi berdasarkan desain kompartemen, penggunaan *proton exchange membrane* (PEM) dan kultur mikroorganisme.

### 2.6.1 MFC Berdasarkan Desain Kompartemen

Desain MFC ada beberapa jenis yang umumnya digunakan yaitu MFC *dual chamber*, MFC *single chamber*, *stacked MFC*, dan *Up-flow MFC*.

#### a. MFC Dual Chamber

MFC *dual chamber* merupakan jenis MFC yang paling banyak digunakan sebagai desain. MFC *dual chamber* memiliki dua chamber dengan elektroda yang dipisahkan oleh PEM. 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). Desain dari MFC *dual chamber* pada Gambar 2.2.

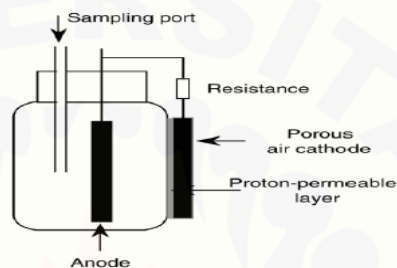


Gambar 2.2 Desain MFC *dual chamber* (Sengodan *et al.*, 2012).

#### b. MFC Single Chamber

MFC *single chamber* merupakan MFC yang terdiri dari satu *chamber*, di dalamnya mengandung elektroda. Anoda dan katoda dipisahkan dengan PEM dan letak anoda bisa berada didekat maupun berjauhan dari katoda. MFC *single chamber* memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut: kelebihan yang dimiliki oleh MFC *single chamber* menurut Liang *et al.* (2007), letak anoda yang berada dekat dengan katoda akan mengurangi *resisten ohmic* internal dengan menghindari penggunaan *catholyte* sebagai hasil kombinasi dari *dual chamber*

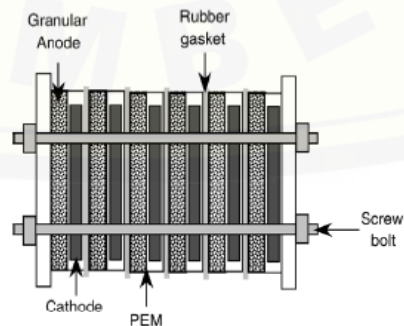
sehingga dapat meningkatkan *power density* yang dihasilkan. Desain dari MFC *single chamber* lebih sederhana dibandingkan dengan desain MFC *dual chamber*, dapat menghemat biaya dan daya yang dihasilkan lebih efisien (Du *et al.*, 2007). Kekurangan MFC *single chamber* yaitu umumnya tidak menggunakan PEM, sehingga memungkinkan untuk terjadi kontaminasi mikroba dan difusi oksigen dari katoda menuju anoda (Kim *et al.*, 2008). Desain MFC *single chamber* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Desain MFC *single chamber* (Sengodon *et al.*, 2012).

c. *Stacked MFC*

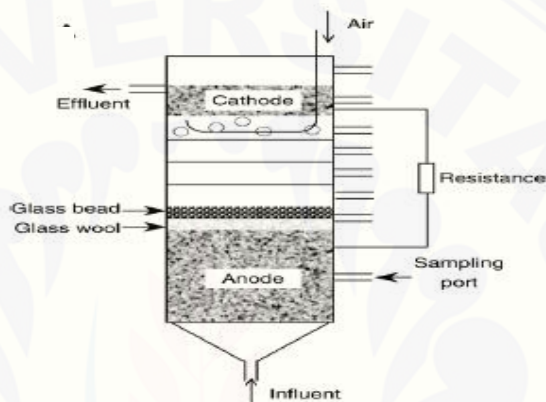
*Stacked MFC* merupakan gabungan beberapa MFC *single chamber* yang dihubungkan secara bersama-sama pada posisi seri maupun paralel sehingga diperoleh daya yang tinggi (Du *et al.*, 2007). Posisi paralel akan menghasilkan energi yang lebih besar karena laju reaksi elektrokimia yang dihasilkan pada posisi paralel lebih besar dibanding posisi seri. Kelemahan *Stacked MFC* posisi paralel yaitu ketika dioperasikan pada aliran volumetrik yang sama, rentan terhadap arus pendek listrik. Desain *Stacked MFC* terdapat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Desain *stacked MFC* (Sengodon *et al.*, 2012).

d. *Up-flow* MFC

*Up-flow* MFC merupakan MFC yang berbentuk silinder, mengandung anoda terletak dibawah dan katoda terletak 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. Desain *up-flow* MFC pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Desain *up-flow* MFC (Sengodon *et al.*, 2012).

### 2.6.2 MFC Berdasarkan Penggunaan PEM

PEM pada MFC selain berfungsi sebagai penghantar proton dari anoda menuju katoda, memiliki fungsi lain berdasarkan pada desain kompartemen MFC. PEM pada MFC *dual chamber* berfungsi untuk menghindari difusi yang berasal dari akseptor elektron beracun seperti ferrisianida menuju *chamber* anoda. PEM pada MFC *single chamber* berfungsi untuk menghalangi difusi oksigen dari katoda ke anoda. Jenis PEM yang umum digunakan pada MFC yaitu Nafion dan Ultrex CMI-7000. PEM ini digunakan karena memiliki kestabilan mekanis, kestabilan termal dan konduktifitas proton yang tinggi. Kendala penggunaan PEM Nafion yaitu harganya yang mahal. Membran jenis baru dengan harga murah, mulai diteliti saat ini seperti tanah liat. Alternatif lain yang dapat digunakan untuk meminimalisir biaya yaitu dengan menggunakan MFC tanpa PEM. MFC tanpa membran memanfaatkan biofilm yang terdapat pada permukaan anoda. Biofilm adalah kumpulan populasi

mikroorganisme yang berada dipermukaan anoda, berfungsi sebagai membran untuk mengurangi difusi oksigen menuju anoda. MFC tanpa membran memiliki kemampuan untuk mengurangi hambatan internal dalam sistem sehingga desitas daya yang dihasilkan lebih tinggi (Ladewig *et al.*, 2015).

### 2.6.3 MFC Berdasarkan Kultur

MFC berdasarkan kultur yang umumnya diteliti menggunakan dua jenis kultur yaitu MFC dengan kultur sel tunggal dan MFC dengan kultur campuran. Banyak jenis mikroorganisme dalam MFC kultur sel tunggal yang sudah diteliti, salah satunya yaitu *Escherichia coli* (Scott and Murano, 2007). MFC dengan kultur sel tunggal memiliki kelemahan yaitu membutuhkan pemeliharaan yang lebih rumit, memakan biaya, dan energi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan MFC dengan kultur campuran. Menurut Rabaey *et al.* (2005), MFC dengan kultur campuran memiliki ketahanan yang tinggi terhadap gangguan, konsumsi substrat yang dibutuhkan dan hasil energi yang dihasilkan lebih tinggi. Kultur campuran lebih banyak digunakan pada sistem MFC dengan memanfaatkan substrat *wastewater* dan limbah. Komunitas mikroorganisme yang berkembang sangat beragam yaitu  $\delta$ -Proteobacteria yang lebih mendominasi pada MFC sedimen, komunitas bakteri yang terdiri dari  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -Proteobacteria, dan koloni yang masih belum terkarakterisasi (Logan and Regan, 2006).

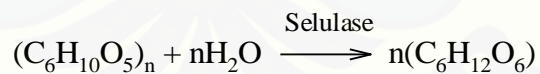
## 2.7 Prinsip MFC

MFC bekerja dengan memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis pada proses degradasi materi organik maupun anorganik dalam medium anoda. Proses ini akan 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. Elektron yang mengalir ke katoda akan ditangkap oleh ion kompleks yang memiliki elektron bebas (oksidan) (Novitasari, 2011).

Mikroorganisme memiliki kemampuan dalam mendegradasi berbagai senyawa organik maupun anorganik menjadi produk dan energi. Energi yang

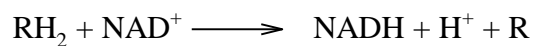
dihasilkan oleh mikroorganismenya akan digunakan untuk melakukan aktivitas metabolisme. Teknologi MFC akan membantu mengambil energi yang telah dihasilkan dalam bentuk energi listrik. Mikroorganismenya yang hidup pada medium anoda mengubah substrat menjadi produk yang mengandung hidrogen seperti gas metana, methanol dan etanol (sebagai sumber hidrogen, mengalami serangkaian proses hingga menghasilkan elektron, proton dan arus listrik). Kondisi anoda yang anaerob menyebabkan bakteri yang umumnya pada kondisi aerob menggunakan oksigen dan nitrat sebagai akseptor elektron terminal (TEA), harus mengubah akseptor elektronnya menjadi akseptor yang tidak larut (*insoluble*) seperti menggunakan anoda pada MFC sebagai akseptor elektron. Kemampuan transfer elektron pada anoda yang dimiliki oleh bakteri, menyebabkan MFC mampu mentransfer elektron yang berasal dari metabolismenya melewati sirkuit eksternal menuju katoda sehingga dihasilkan arus listrik (berasal dari beda potensial antara kedua elektroda bersamaan dengan aliran elektronnya) (Kristin, 2012).

Bakteri selulolitik sebagai salah satu mikroorganismenya yang mampu menguraikan substrat jenis selulosa. Substrat dari tanah umumnya mengandung bahan organik berupa selulosa. Bakteri selulolitik akan menghidrolisis selulosa menjadi glukosa. Berikut hasil proses metabolisme bakteri selulolitik untuk menghasilkan CO<sub>2</sub> dan energi:



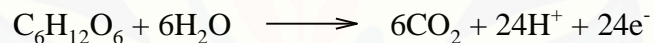
(Kurniawati *et al.*, 2013).

Ion H<sup>+</sup> pada *chamber* anoda yang diperoleh dari metabolisme bakteri akan diterima oleh senyawa NAD<sup>+</sup> yang berperan sebagai penerima dan pendonor elektron dalam reaksi redoks pada proses metabolisme. Reaksi pembentukan ion hidrogen pada proses metabolisme:



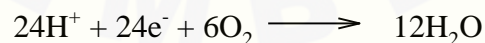
Reaksi tersebut melepaskan 2 atom hidrogen dari reaktan (R) menghasilkan ion hidrida (H<sup>-</sup>) dan proton (H<sup>+</sup>). Proton dihasilkan ketika reduktor RH<sub>2</sub> akan dioksidasi dan NAD<sup>+</sup> direduksi menjadi NADH melalui transfer hidrida menuju cincin nikotinamida (Kurniawati *et al.*, 2013).

Transport elektron pada metabolisme bakteri mengakibatkan H<sup>+</sup> terpompa keluar sel bakteri. H<sup>+</sup> akan terpompa dari matriks menuju ke medium luar akibat aktivitas transport elektron yang terjadi pada membran dalam. Energi yang dihasilkan ketika elektron mengalir dari substrat menuju O<sub>2</sub> sepanjang rantai respirasi, pada keadaan tertentu akan menyebabkan H<sup>+</sup> terpompa dari matriks mitokondria ke dalam medium. Hal ini akan menyebabkan ruang matriks dalam menjadi lebih basa dan medium lingkungan menjadi lebih asam. Membran dalam mengandung pompa H<sup>+</sup> dengan menggunakan energi bebas yang berasal dari transport elektron sebagai tenaga penarik untuk memompa H<sup>+</sup> ke luar sel (Lehninger, 1994). Berikut reaksi yang terjadi pada anoda:

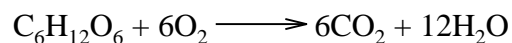


(Kurniawati *et al.*, 2013).

Elektron mengalir keluar sistem MFC melalui sirkuit eksternal berupa kawat, sedangkan H<sup>+</sup> akan berpindah menuju katoda melewati PEM sehingga nantinya dapat dihasilkan arus listrik. Bagian katoda dalam sistem MFC akan terbuka sehingga udara terutama O<sub>2</sub> dapat masuk ke dalam sel katoda. Oksigen ini akan bereaksi dengan ion hidrogen hingga menghasilkan air. Berikut reaksi yang terjadi di katoda:



Berikut reaksi keseluruhan pada sistem MFC dengan adanya bakteri selulolitik:



(Kurniawati *et al.*, 2013).

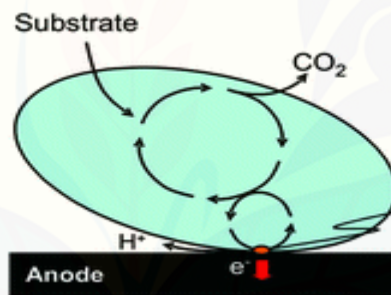


## 2.8 Mekanisme Transfer Elektron Mikroorganisme

Menurut Liu (2009) terdapat 3 cara mikroorganisme dapat mentransfer elektronnya menuju elektroda. Berikut cara-cara yang dilakukan oleh mikroorganisme:

### 2.8.1 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 membran 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, 2009). Mekanisme transfer elektron oleh mikroorganisme secara langsung dengan membran luar sel yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.

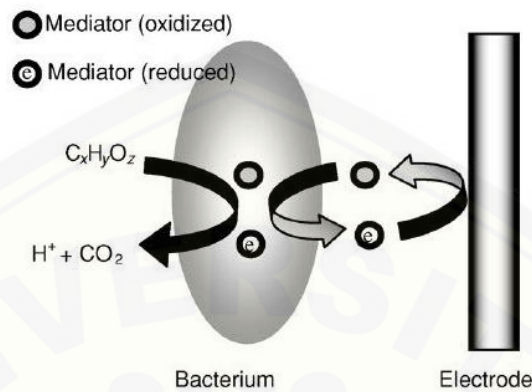


Gambar 2.6 Mekanisme tranfer elektron melalui membran luar sel (Schroder, 2007).

### 2.8.2 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 dapat melewati membran 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 *E.coli*. Mekanisme ini tidak sesuai ketika digunakan pada MFC dengan substrat limbah karena akan memakan biaya yang cukup mahal, memungkinkan munculnya

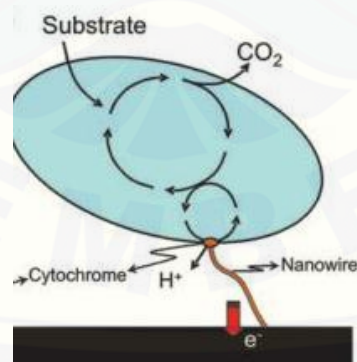
racun dari beberapa mediator (Liu, 2009). Mekanisme transfer elektron dengan mediator yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Mekanisme tranfer elektron dengan mediator (Liu, 2009).

### 2.8.3 Transfer Elektron melalui *Bacterial Nanowires*

Pili pada mikroorganisme disebut *nanowires*. Pili tumbuh pada membran sel bakteri. Pili 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, 2009). Mekanisme transfer elektron melalui *bacterial nanowires* yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Mekanisme transfer elektron melalui *bacterial nanowires* (Schroder, 2007).

## 2.9 Komponen dalam MFC

### 2.9.1 Anoda

Anoda merupakan materi yang secara kimia bersifat stabil dalam larutan bioreaktor, konduktif, sesuai dengan makhluk hidup (*biocompatible*) (Zahara, 2011). Anoda yang sering digunakan dalam MFC yaitu anoda karbon. Hal ini karena karbon inert, sederhana, lebih murah, stabil, memiliki sifat konduktifitas yang tinggi, struktur kuat, dan permukaan karbon yang sesuai untuk perkembangan biofilm (Liu, 2009). Karbon yang dimanfaatkan sering dalam bentuk batang maupun lempengan grafit, bentuk berserat (*fiber*), dan karbon dalam bentuk *glass carbon*.

Karbon aktif merupakan karbon yang memiliki struktur *amorphous* atau monokristalin yang telah melewati perlakuan khusus sehingga karbon aktif ini, memiliki luas permukaan yang sangat besar yaitu 300-2000 m<sup>2</sup>/g. Karbon ideal memiliki karakteristik pada rentang pH 5-6 (50 g/L H<sub>2</sub>O, 20 °C), titik leleh 3800 °C dan karbon memiliki ukuran partikel ≤ 50 μm. Karbon aktif dapat pula ditambahkan dengan resin perekat, resin perekat ini akan berfungsi untuk merekatkan struktur karbon sehingga struktur karbon menjadi kuat dan tidak rapuh selama MFC dioperasikan. Konduktivitas resin perekat ini rendah sebesar 10<sup>-10</sup>/Ωm – 10<sup>-15</sup>/Ωm (Zahara, 2011).

*Stainless steel* (SS) merupakan alloy (materi metalik yang mengandung 2 atau lebih kombinasi elemen yang tidak dapat dipisahkan secara fisik) besi yang mengandung ~ 10,5 kromium. *Stainless steel* umumnya tipis, namun padatan film kromium oksida yang terbentuk pada permukaan SS membuat bahan ini tahan terhadap korosi. *Stainless steel* terbagi menjadi lima jenis yang tergantung pada kandungan alloy didalamnya, dan *range stainless steel* dari *fully austenitic* sampai *fully ferritic*. Jenis *Austenitic SS* dengan tipe 304 merupakan *stainless steel* nonmagnetik yang tidak dapat dipanaskan dengan suhu tinggi, namun dapat diregangkan dengan dalam kondisi dingin. *Stainless alloy* dapat bertahan pada asam pengoksidasi dan biasanya dapat menahan korosi. Jenis *Austenitic SS* dengan

tipe 304 merupakan *stainless steel* yang sering digunakan. Kandungan elemen yang terdapat didalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi yang terkandung dalam *Austenitic SS*

Tipe	UNS Number	Komposisi (%)						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
304	S30400	0.08	2	1	18 - 20	8 -10.5	0.045	0.03

(Sumber: Kotecki *et al.*, 2003).

### 2.9.2 Katoda

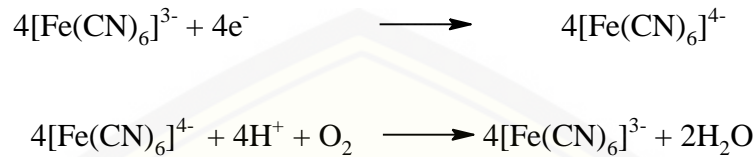
Katoda yang sering digunakan dalam sistem MFC berupa bahan karbon biasa seperti plat karbon. Umumnya karbon pada katoda akan dilengkapi dengan katalis seperti platinum (Liu, 2009). *Chamber* katoda dalam sistem MFC, umumnya juga ditambahkan larutan elektrolit yang memiliki sifat konduktif. Kinerja dari  $K_3[Fe(CN)_6]$  diketahui memiliki kemampuan yang sangat baik sebagai akseptor elektron pada MFC.  $K_3[Fe(CN)_6]$  merupakan larutan elektroaktif yang memiliki kemampuan untuk menangkap elektron dengan sangat baik.  $K_3[Fe(CN)_6]$  memiliki harga potensial standar sebesar + 0,36 V (Logan, 2008).

Penggunaan  $K_3[Fe(CN)_6]$  sebagai larutan elektrolit dalam sistem MFC memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

1. Kelebihan menggunakan  $K_3[Fe(CN)_6]$  yaitu ketika menggunakan elektroda karbon maka akan dihasilkan overpotensial yang kecil.
2. Kerugian menggunakan  $K_3[Fe(CN)_6]$  yaitu akibat proses reoksidasi tidak sempurna dari oksigen maka larutan kalium ferrisianida harus diganti secara teratur. Kinerja kalium ferrisianida pada MFC dipengaruhi oleh efisiensi difusi proton dalam melewati PEM menuju katoda (Logan, 2008).

Materi yang terdapat pada katoda akan mengalami reaksi reduksi ( $Fe^{3+}$  mejadi  $Fe^{2+}$ , karena adanya elektron yang berasal dari anoda).  $Fe^{2+}$  yang dihasilkan akan mengalami oksidasi menjadi  $Fe^{3+}$  dengan melepaskan elektron. Elektron ini akan

bereaksi dengan proton yang berasal dari anoda melalui PEM serta bereaksi dengan  $O_2$  untuk menghasilkan air. Berikut reaksi yang terjadi pada elektroda katoda MFC:

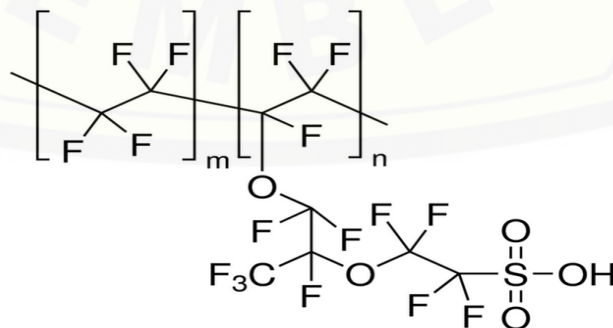


(Novitasari, 2011).

### 2.9.3 Proton Exchange Membrane (PEM)

PEM merupakan sebuah membran yang membatasi antara anoda dan katoda pada MFC. Proton yang dihasilkan dari *chamber* anoda akan berpindah menuju katoda dengan melalui PEM. PEM hanya selektif pada proton sehingga elektron tetap di *chamber* anoda (menumpuk disana). Akibat adanya perbedaan potensial listrik antara kedua elektroda akan menyebabkan elektron mengalir dari anoda menuju katoda sehingga dapat dihasilkan arus listrik. PEM yang sering digunakan dalam sistem MFC adalah Nafion 117 (Novitasari, 2011).

Nafion adalah kopolimer dari *tetrafluoroethylene*. Nafion dapat bertahan dari serangan kimia. Nafion merupakan membran yang permeabel terhadap oksigen (Kim *et al.*, 2007). Menurut Chae (2008) Nafion tidak dapat beroperasi melebihi kurun waktu 50 hari, karena lapisan dari membran dapat terkontaminasi sehingga dapat menyebabkan kinerja transfer massa yang melalui membran menjadi menurun. Struktur kimia dari membran Nafion 117 pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur kimia dari membran Nafion 117 (Anonim, 2016).

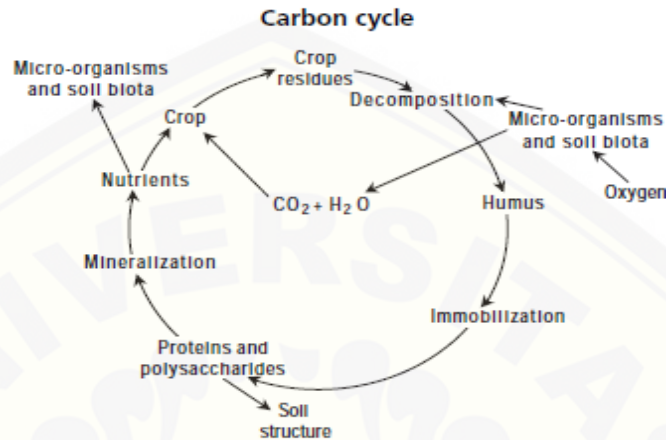
## 2.10 Substrat MFC

Substrat MFC merupakan bahan bakar yang digunakan untuk sistem MFC. penelitian kali ini akan memanfaatkan substrat berupa bahan organik yang terkandung di dalam tanah dan limbah buangan organik (sampah). Bahan organik merupakan segala sesuatu yang mengandung senyawa karbon yang dibentuk oleh organisme hidup. Bahan organik ini mencakup berbagai hal seperti daun, batang, rumput, cabang, lumut, ganggang, limbah, limbah, lumpur, serangga, cacing tanah dan mikroba. Komponen bahan organik dalam tanah dibagi menjadi 3 yaitu: bahan organik mati yang berasal dari bagian tanaman yang mati (terkandung dalam tanah sekitar 85%), bagian yang berasal bagian tanaman yang hidup seperti akar (terkandung dalam tanah sekitar 10%) dan berasal dari organisme hidup serta mikroorganisme (sebanyak 5%) (Anonim, 2015b).

Bahan organik tanah merupakan kumpulan berbagai materi organik kompleks yang sedang atau telah mengalami dekomposisi, dapat berupa humus dari humifikasi dan materi anorganik hasil mineralisasi (Hanafiah, 2005). Bahan organik tanah merupakan hasil degradasi mikroorganisme dan organisme tanah. Bahan organik tanah berasal dari jaringan tumbuhan yang terdiri dari residu tanaman mengandung 60-90 % air dan materi kering tumbuhan yang mengandung Karbon, (C), Oksigen (O), Hidrogen (H), dan sejumlah kecil Sulfur (S), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca) serta Magnesium (Mg). Komponen-komponen yang berasal dari residu tanaman akan didekomposisi oleh mikroorganisme dan organisme tanah. Mikroorganisme tanah akan saling bersimbiosis antar sesamanya, organisme tanah lain dan tumbuhan untuk melakukan penguraian residu tanaman sehingga menghasilkan bahan organik sebagai sumber nutrisi bagi makhluk hidup tanah (Bot *et al.*, 2005).

Dekomposisi merupakan proses biologis yang terkait dengan pemutusan fisik dan perubahan kimia dari molekul organik kompleks menjadi sederhana dan materi anorganik (Juma, 1998). Pembusukan dari residu tanaman dipermukaan tanah

menyumbang aktivitas biologis dan proses siklus karbon dalam tanah. Skema siklus karbon pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Skema siklus Carbon (Bot *et al.*, 2005).

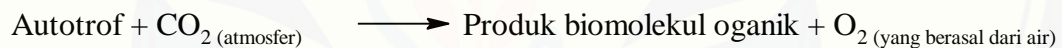
Bahan organik yang dihasilkan dari proses dekomposisi mikroorganisme dan organisme tanah terdiri dari lignin, pektin, polisakarida (selulosa, hemiselulosa, pati), protein dan bahan organik yang lain yang berasal dari mineral dan batuan. Tanah yang mengandung banyak bahan organik (humus) merupakan tanah yang berada dilapisan atas (*top soil*). Bahan organik tanah memiliki peranan penting yaitu dalam memperbaiki struktur tanah baik secara fisik maupun kimia, menyediakan ketersediaan unsur hara bagi tanaman, dan meningkatkan proses biologis tanah (Islami, 1995).

### 2.11 Mikroorganisme dalam Sistem MFC

Mikroorganisme merupakan makhluk hidup yang memiliki ukuran yang sangat kecil. Umumnya mikroorganisme sering disebut sebagai jasad renik. Mikroorganisme sangat sulit dilihat dengan mata tanpa menggunakan alat bantu. Mikroorganisme memiliki metabolisme yang lebih sederhana dibandingkan dengan organisme tingkat tinggi (Sumarsih, 2003).

Mikroorganisme menjadi salah satu aspek penting dalam pembentukan suatu ekosistem. Berbagai mikroorganisme akan ikut serta dalam aktivitas biologis yang terjadi dalam media hidupnya, termasuk mikroorganisme tanah. Mikroorganisme tanah berperan dalam degradasi bahan organik kompleks dan pendauran unsur hara yang nantinya akan mempengaruhi sifat fisik dan sifat kimia tanah (Anas, 1989). Mikroorganisme tanah berperan dalam siklus energi yang akan menghasilkan molekul organik sebagai nutrisi dan molekul lain yang kembali ke atmosfer, sehingga siklus energi ini terus berlangsung. Siklus energi ini dilakukan oleh dua grup besar organisme (mikroorganisme) yaitu autotrof dan heterotrof.

Autotrof merupakan kelompok organisme yang dapat menggunakan  $\text{CO}_2$  dari atmosfer sebagai sumber C tunggalnya. Sedangkan heterotrof merupakan kelompok organisme yang tidak dapat menggunakan  $\text{CO}_2$  atmosfer, sehingga harus mendapat C dari lingkungan seperti glukosa. Berikut skema rangkuman raw material dan produk yang dihasilkan oleh mikroorganisme autotrof dan heterotroph:



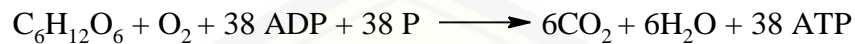
Produk-produk yang dihasilkan oleh kedua mikroorganisme diatas berasal dari metabolisme yang dilakukan keduanya (Lehninger, 1994).

Aktivitas mikroorganisme pada sistem metabolisme inilah yang dimanfaatkan dalam sistem MFC. MFC memanfaatkan kemampuan mikroorganisme (jenis bakteri *exoelectrogens*) dalam mendegradasi bahan organik sehingga menghasilkan energi berupa listrik. Mikroorganisme yang melakukan degradasi bahan organik sehingga menjadi energi yaitu mikroorganisme golongan heterotrof. Metabolisme heterotrof terkait dengan proses katabolisme. Proses katabolisme yaitu hidrolisis (penguraian) polimer menjadi molekul sederhana seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Katabolisme glukosa tidak terjadi dalam satu reaksi kimia dan juga tidak langsung membentuk ATP. Glukosa akan diproses perlahan hingga menghasilkan

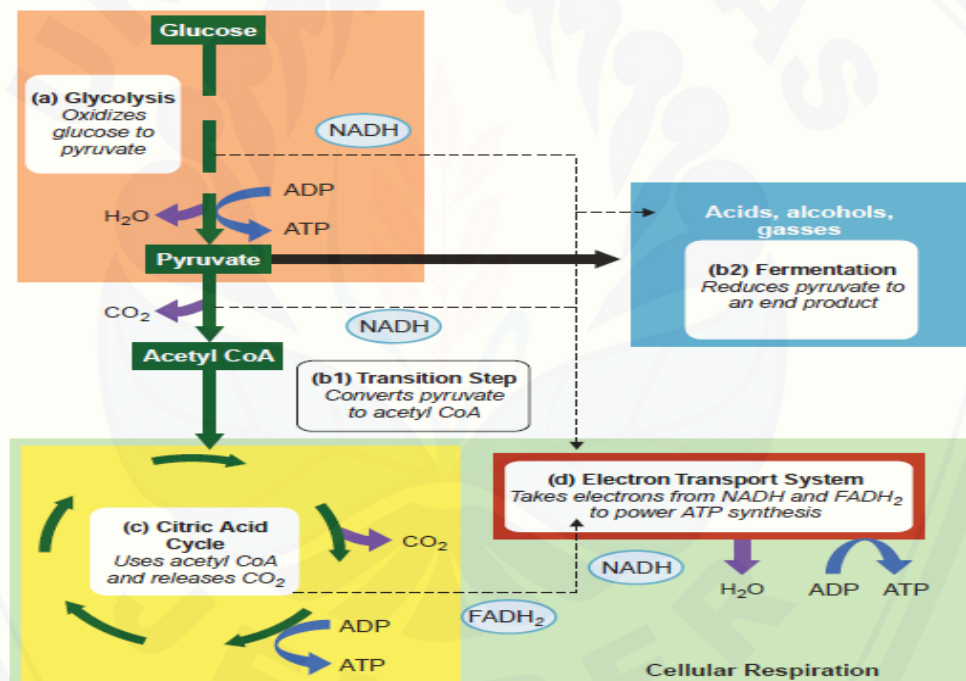


ATP melalui jalur metabolisme. Proses awal terkait dengan kondisi respirasi aerob (karena ini terjadi dalam kondisi aerob obligat). Berikut ringkasan raw material dan produk yang akan dihasilkan:



(Pommerville, 2010).

Keseluruhan reaksi terjadi dalam 3 tahapan yaitu: glikolisis, siklus asam sitrat dan fosforilasi oksidatif. Ringkasan tahap-tahap yang terjadi pada katabolisme glukosa dalam sel mikroorganisme pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Ringkasan tahap-tahap yang terjadi pada katabolisme glukosa dalam sel mikroorganisme (Pommerville, 2010).

Metabolisme mikroorganisme heterotrof pada kondisi anaerob akan melibatkan katabolisme secara keseluruhan terkait proses glikolisis, siklus krebs dan transport elektron. Namun, jika mikroorganisme dalam kondisi anaerob maka proses

katabolisme yang terjadi hanya glikolisis, fermentasi dan transport elektron sehingga energi berupa ATP yang dihasilkan lebih sedikit.

### 2.12 Spektrofotometri

Spektrofotometri merupakan sebuah metode analisa secara kimia berdasarkan pengukuran jumlah radiasi elektromagnetik (foton) yang berinteraksi dengan sampel yang diidentifikasi (analit) (Skoog *et al.*, 2004). Interaksi yang terjadi dapat berupa emisi, hamburan, absorpsi, dan luminesensi. Energi tertentu yang dimiliki oleh sebuah foton dapat menyebabkan transisi tingkat energi pada suatu atom maupun molekul (Day dan Underwood, 2011).

Identifikasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis berdasarkan interaksi pada penyerapan energi radiasi pada daerah ultraviolet (190-380 nm) dan daerah *visible* (380-780 nm). Penyerapan radiasi menyebabkan transisi elektron di orbital terluar dari tingkat energi elektron dasar menuju tingkat energi elektron tereksitasi lebih tinggi. Semakin banyak molekul analit yang mengabsorpsi energi radiasi maka akan semakin besar pula serapan radiasinya. Jumlah energi yang terserap oleh analit membuat sampel dapat diidentifikasi secara kuantitatif. Menurut Hukum Lambert-Beer dalam persamaan:

$$A = \log (P_0/P) = abc \dots\dots\dots(2.2)$$

A (nilai absorpsi),  $P_0$  (intensitas sinar), P (intensitas sinar diteruskan), a (absorptivitas molar), b (ketebalan sel), dan c (konsentrasi zat). Analisis secara kuantitatif dilakukan melalui *scanning* panjang gelombang pada interval tertentu sehingga dapat diketahui absorbansi panjang gelombang maksimumnya. Syarat utama yang harus terpenuhi pada sampel yang akan diidentifikasi yaitu sampel tidak boleh keruh (bebas partikel koloid dan suspensi) dan sampel harus homogen (Khopkar, 1990).

### 2.13 Perhitungan

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan daya. Daya diketahui nilainya dengan mengukur arus dan tegangan. Tegangan dan arus dapat diukur menggunakan

multimeter digital. Hasil pengukuran dapat diubah menjadi daya, dengan rumus berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Faktor yang berhubungan dengan tahanan dari sel bahan bakar, dijelaskan melalui hukum ohm:

$$V = I \times R \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana R adalah tahanan (Ohm) (Behera *et al.*, 2010).

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di gedung laboratorium CDAST (*Center for Development of Advanced Sciences and Technology*), Universitas Jember. Penelitian dilakukan pada bulan April 2016 sampai September 2017.

### 3.2 Alat dan Bahan

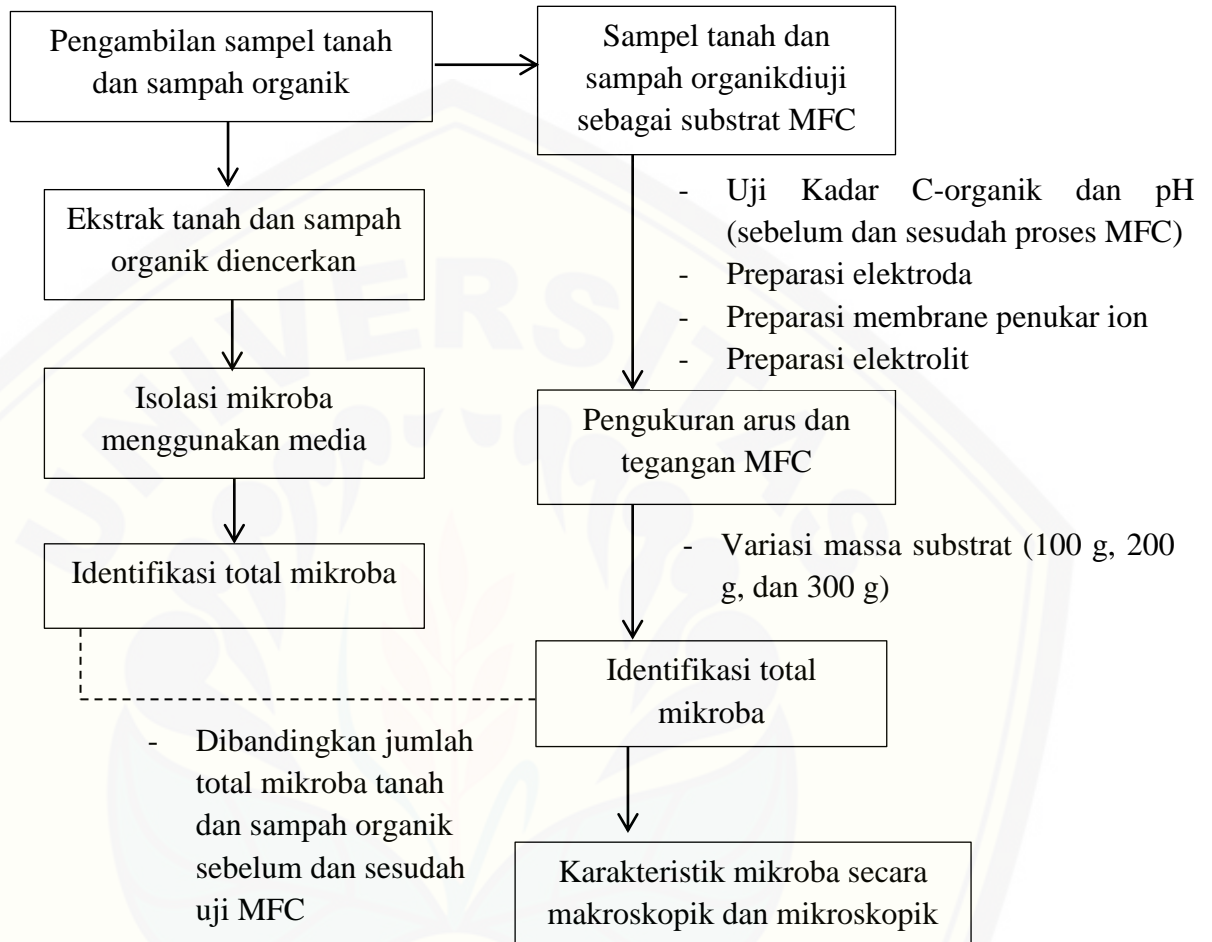
#### 3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sekop tanah, ayakan dengan ukuran 0,5 mm, wadah sampel dengan menggunakan plastik, box es, neraca analitik (Precisa, ES 2200 C), oven (*Air Concept Froilabo*), stirer magnetik, beaker glass, gelas ukur, erlenmeyer, Bunsen, mikropipet, mikrotube 1,5 mL, *spreder*, ball pipet, tip, vortex (*Genie 2, Scientific Industries*), *laminar air flow*, autoklaf (*Tomy* otoklaf *High Pressure Steam Sterilizer ES-315*), inkubator, sentrifugasi (Hitachi High speed Refrigerated Centrifuges CR 226 III/ CR 216 G III), cawan petri dan penutupnya, lemari pendingin, pipet tetes, pipet mohr, tabung reaksi, labu ukur, alu, mortar, pH meter, elektroda karbon *rod, stainless steel*, kawat titanium, penjepit buaya, multimeter digital (Sanwa, PC 500), spektrofotometer UV-Vis, mikroskop.

#### 3.2.2 Bahan

Tanah persawahan (pertanian Sumbersari), sampah (pasar Tanjung, Jember), aquades, larutan NaCl 0,85%, *Nutrient Broth*, medium *Nutrient Agar* (NA), membran Nafion 117<sup>®</sup> (Lyntech, Amerika), larutan HCl, larutan NaOH, larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3%, Larutan K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] 0,1M, alkohol 70%, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 2N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,1M, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0,1 M, gas N<sub>2</sub>.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



### 3.4 Prosedur Kerja

#### 3.4.1 Preparasi Sampel

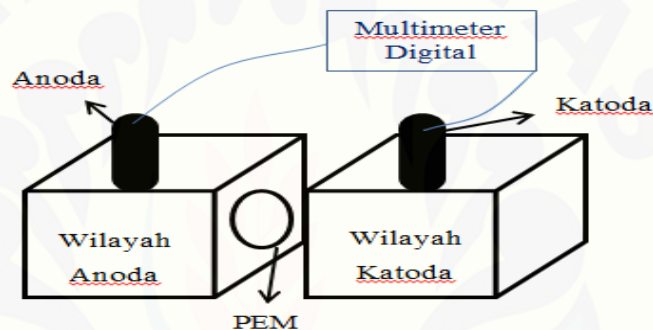
Sampel tanah dan sampah diambil pada bulan Mei 2016. Sampel tanah diambil dengan kedalaman 20 cm. Sampel tanah yang diambil sebanyak  $\pm 1$  Kg. Sedangkan sampel sampah diambil pada pembuangan sampah organik pasar Tanjung. Sampel diambil sebanyak  $\pm 1$  Kg.

#### 3.4.2 Preparasi Media MFC

Preparasi media MFC terkait dengan komponen yang digunakan pada media seperti elektroda (anoda dan katoda), sirkuit eksternal, dan PEM.

a. Desain Kompartemen MFC

Desain MFC yang digunakan yaitu jenis MFC *dual chamber* dengan ukuran chamber 10 cm x 10 cm x 10 cm (panjang x lebar x tinggi). *Proton exchange membran* yang digunakan sebagai pemisah antara kompartemen anoda dan katoda yaitu Nafion 117<sup>®</sup>, Lyntech, Amerika dengan ukuran 4 x 4 cm. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda karbon batang dan *stainless steel* (5 cm x 1 cm) sebagai elektroda. Kompartemen akan dihubungkan dengan kawat titanium karena tidak korosif dan bersifat racun pada mikroba. Kombinasi elektroda yang digunakan yaitu C.rod/C.rod; S.steel/S.steel. Desain MFC terdapat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Desain MFC *dual chamber* (Kristin, 2012).

b. Preparasi *Proton Exchange Membrane*

*Proton exchange membrane* dilakukan *pre-treatment* dengan cara sebagai berikut: membran direbus dalam aquades selama 1 jam. Membran selanjutnya dididihkan dalam 10 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3 % selama 1 jam, selanjutnya dicuci dengan aquades sebanyak 3 kali. Membran dididihkan dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M selama 1 jam, lalu dicuci dengan aquades sebanyak 3 kali. Membran selanjutnya disimpan dalam rendaman aquades hingga waktu penggunaan. Membran harus diangin-anginkan ketika akan digunakan pada media MFC (Zahara, 2011).

c. Preparasi Elektroda

Elektroda karbon *rod* harus direndam dalam 50 mL larutan HCL 1M selama 1 hari, selanjutnya dicuci dengan aquades. Elektroda direndam kembali dengan 50 mL NaOH 1M selama 1 hari, selanjutnya dicuci dengan aquades. Elektroda

selanjutnya direndam dengan aquades sampai waktunya digunakan pada media MFC (Zahara, 2011).

d. Preparasi Elektrolit

Elektrolit yang digunakan yaitu kalium heksasianoferrat  $K_3[Fe(CN)_6]$  dengan konsentrasi 0,1 M dan larutan buffer fosfat 0,1 M pH 7. Larutan buffer fosfat 0,1 M pH 7 dibuat dengan melarutkan 0,844 g *monobasic sodium phosphate* ( $NaH_2PO_4$ ) dalam 100 mL aquades dan dilarutkan 0,548 g *dibasic sodium phosphate* ( $Na_2HPO_4$ ) dalam 100 mL. Kedua larutan dicampur dengan penambahan larutan asam dalam larutan basa, lalu dicampurkan hingga membentuk pH sekitar 7 (Zahara, 2011).

3.4.3 Eksperimen MFC

Eksperimen MFC dilakukan dengan pengukuran beda potensial dengan variasi massa substrat:

*Chamber* anoda yang berisi sampel tanah dengan variasi 100 g, 200 g, dan 300 g yang telah diinkubasi pada suhu 30 °C sebelumnya selama 1 hari. Sampel tanah ditambahkan dengan 100 mL buffer fosfat 0,1M pH 7 dan ditambah *Nutrient Broth* pH 7 sebanyak 50 mL sebagai sumber nutrisi. *Chamber* anoda harus dibuat anaerob, sehingga *chamber* anoda dialiri dengan gas  $N_2$  selama 5 menit (berfungsi untuk mengikat  $O_2$  dan sistem menjadi anaerob). *Chamber* katoda yang berisi campuran larutan kalium heksasianoferrat  $K_3[Fe(CN)_6]$  0,1 M sebanyak 100 mL dan larutan buffer fosfat 0,1M pH 7 sebanyak 100 mL. Kedua elektroda dipisahkan dengan membran penukar ion berupa Nafion 117. Kedua elektroda dihubungkan dengan rangkaian kawat titanium yang akan terhubung dengan alat digital multimeter. Alat multimeter digital diatur untuk pengukuran beda potensial, nilai beda potensial yang tertera pada layar multimeter digital diamati sampai menghasilkan nilai yang stabil dan dicatat nilai stabil yang tertera. Pengukuran data dilakukan setiap 4 jam sekali selama 78 jam. Sistem MFC selanjutnya dianalisis dan ditentukan susunan sistem MFC yang mampu menghasilkan nilai beda potensial optimum. Perlakuan diatas

diulangi dengan menggunakan substrat sampah dengan variasi 100, 200, dan 300 g (Zahara, 2011).

#### 3.4.4 Analisis Kadar C dan pH pada Tanah dan Sampah

Uji pada tanah dan sampah dilakukan dengan mengukur kandungan persen C organik dan pH pada kedua sampel dengan menggunakan metode berikut:

##### a. Analisis Karbon (Metode Kurmis)

Pembuatan Kurva standar dilakukan dengan cara mengambil 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, dan 400 ppm dari larutan standar glukosa anhidrat 5000 ppm, dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL. Penggunaan larutan standar glukosa anhidrat bertujuan untuk mewakili karbohidrat dalam komposisi C organik pada sampel (Islam *et al.*, 1998). Sampel selanjutnya ditambahkan dengan 0,5 mL  $K_2Cr_2O_7$  2N, kemudian sampel dikocok. Secara perlahan ditambahkan 0,75 mL  $H_2SO_4$  pekat. Sampel dikocok dan dibiarkan hingga suhunya turun. Sampel ditambahkan dengan aquades hingga tanda batas pada labu ukur. Sampel dilakukan scanning panjang gelombang dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Sebanyak 2 g tanah diambil dan dipanaskan pada oven dengan suhu  $105^\circ C$  untuk pengukuran kadar air (hingga massa konstan). Tanah dihaluskan dengan mortar dan alu, lalu diayak dengan saringan berukuran 0,5 mm. Tanah diambil sebanyak 0,05 g, dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL. Tanah lalu ditambahkan dengan 0,5 mL  $K_2Cr_2O_7$  2N, kemudian sampel dikocok. Secara perlahan ditambahkan 0,75 mL  $H_2SO_4$  pekat. Sampel dikocok dan dibiarkan hingga suhunya turun. Sampel ditambahkan dengan aquades hingga tanda batas pada labu ukur. Sampel diukur absorbansinya pada panjang gelombang 586 nm (yang sudah dilakukan scanning panjang gelombang sebelumnya). Perlakuan diatas diulangi dengan menggunakan substrat sampah, substrat tanah sesudah proses MFC, dan substrat sampah sesudah proses MFC. Persamaan 3.1 dapat digunakan untuk mengetahui persen C organik yang terkandung pada sampel.



$$\text{Kadar C-Organik (\%)} = \frac{\frac{\text{mL ekstrak}}{\text{g sampel}} \times \text{ppm kurva} \times \text{FP} \times \text{FK}}{10000} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

ppm kurva = kadar contoh yang di dapat dari hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko

FK = faktor koreksi kadar air =  $100/(100-\% \text{ kadar air})$

FP = faktor pengenceran

10000 = konversi ppm ke persen (%)

(Program Studi Ilmu Tanah, 2015)

#### b. Pengukuran pH

Tanah diayak menggunakan ayakan ukuran 0,5 mm. Tanah diambil sebanyak 1 g. Sampel dimasukkan dalam botol vialkon. Sampel ditambahkan dengan aquades sebanyak 5 mL, lalu divortex selama 5 menit. Sampel diukur pH dengan pH meter. Sedangkan pada sampah diambil sebanyak 5 mL, lalu dimasukkan dalam botol vialkon. Sampel divortex selama 5 menit. Sampel diukur pH dengan pH meter (Agus, 1998).

#### 3.4.5 Analisis Jumlah Mikroorganisme dalam Tanah dan Sampah pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Proses MFC

Analisis jumlah mikroorganisme yang dilakukan dalam tanah dilakukan dengan melakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

##### a. Isolasi Bakteri pada Tanah dan Sampah Sebelum MFC

Sampel Tanah dan sampah organik diambil sebanyak 1 g. Sampel tanah dimasukkan dalam 10 mL larutan aquades steril. Campuran divortex selama 2 menit. Sampel diambil sebanyak 100  $\mu\text{L}$  untuk dimasukkan dalam 900  $\mu\text{L}$  larutan NaCl 0,85% steril (pengenceran  $10^{-1}$ ). Larutan pengenceran  $10^{-1}$  dikocok dengan vortex, lalu diambil sebanyak 100  $\mu\text{L}$  untuk dimasukkan dalam 900  $\mu\text{L}$  larutan NaCl 0,85% steril (pengenceran  $10^{-2}$ ). Perlakuan ini terus dilakukan sampai diperoleh pengenceran  $10^{-4}$  dan  $10^{-5}$  (pada sampel tanah). Sampel sampah diambil

sebanyak 1 mL kemudian divortex, lalu diambil sebanyak 100  $\mu\text{L}$  untuk dimasukkan dalam 900  $\mu\text{L}$  larutan NaCl 0,85% steril (pengenceran  $10^{-1}$ ). Larutan pengenceran  $10^{-1}$  dikocok dengan vortex, lalu diambil sebanyak 100  $\mu\text{L}$  untuk dimasukkan dalam 900  $\mu\text{L}$  larutan NaCl 0,85% steril (pengenceran  $10^{-2}$ ). Perlakuan ini terus dilakukan sampai diperoleh pengenceran  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$  (pada sampel sampah). Nilai pengenceran ini diambil bertujuan untuk memperkecil jumlah sel koloni yang nantinya tumbuh pada media agar sehingga lebih mudah diamati. Sampel hasil pengenceran tersebut diambil sebanyak 10  $\mu\text{L}$  yang diteteskan dibagian tengah cawan petri yang berisi *Nutrient Agar* (NA) (3 g *beef extract* ditambahkan dengan 5 gram agar, 5 gram pepton dan aquades sebanyak 1000 mL). Sampel diinokulasi secara merata dengan batang spreder. Media NA diinkubasi pada suhu  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  selama 24-48 jam dengan posisi cawan petri terbalik. Koloni bakteri yang tumbuh pada media diamati (Saraswati *et al.*, 2007).

b. Isolasi Bakteri pada Sampel Tanah dan Sampah Sesudah MFC

Isolasi bakteri pada permukaan anoda dilakukan dengan mencuci elektroda dengan aquades steril sebanyak 15 mL dan menggores permukaan anoda menggunakan jarum ose steril lalu dicelupkan pada aquades steril. Aquades steril kemudian divortex, lalu diambil sebanyak 100  $\mu\text{L}$  untuk dimasukkan dalam 900  $\mu\text{L}$  larutan NaCl 0,85% steril (pengenceran  $10^{-1}$ ). Larutan pengenceran  $10^{-1}$  dikocok dengan vortex, lalu diambil sebanyak 100  $\mu\text{L}$  untuk dimasukkan dalam 900  $\mu\text{L}$  larutan NaCl 0,85% steril (pengenceran  $10^{-2}$ ). Perlakuan ini terus dilakukan sampai diperoleh pengenceran  $10^{-4}$  dan  $10^{-5}$  (pada sampel tanah) serta  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$  (pada sampel sampah). Larutan hasil pengenceran tersebut diambil sebanyak 10  $\mu\text{L}$  yang diteteskan dibagian tengah cawan petri yang berisi *Nutrient Agar* (NA). Sampel diinokulasi secara merata dengan batang spreder. Media NA diinkubasi pada suhu  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  selama 24-48 jam dengan posisi cawan petri terbalik. Koloni bakteri yang tumbuh pada media diamati (Saraswati *et al.*, 2007).

c. Identifikasi Secara Makroskopik dan Mikroskopik

Pengamatan makroskopi dilakukan pada koloni bakteri yang tumbuh pada cawan petri dengan mengamati morfologi bakteri meliputi tepi koloni, bentuk koloni, warna dan elevasi (Cappuccino and Sherman, 2002).

Pengamatan mikroskopi meliputi pembuatan preparat olesan bakteri. Preparat olesan bakteri dibuat dengan cara meletakkan sedikit bakteri dengan cara mengambil sampel bakteri dengan ujung ose atau jarum. Sampel diletakkan pada kaca preparat, selanjutnya ditetaskan larutan safranin sebanyak 3  $\mu$ L. Sampel diratakan sampai membentuk lapisan tipis dengan luas  $\pm$  1 cm. Tetesan lalu ditutup dengan gelas objek, kemudian diamati bentuk sel koloni bakterinya (Cappuccino and Sherman, 2002).

d. Penghitungan Total Bakteri

Bakteri yang dihitung hanya yang berasal dari cawan petri. Cawan petri bakteri mempunyai koloni sebanyak 30-300 koloni/cawan. Jumlah total koloni dihitung dengan metode *Standard Plate Count* (SPC). Metode ini berdasarkan pertumbuhan bakteri dalam media cawan petri dan dihitung koloni yang berkembang. Perhitungan bakteri dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Total\ sel\ \left(\frac{CFU}{mL}\right) = \frac{Koloni\ yang\ Terhitung}{Volume\ tetes\ (mL) \times tingkat\ pengenceran} \dots\dots\dots (3.2)$$

(Addy, 2015).

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yaitu:

1. Elektroda karbon memiliki kemampuan yang lebih baik dari pada elektroda *stainless steel* dalam menghasilkan beda potensial optimum dengan sistem MFC.
2. Substrat tanah menjadi substrat yang mampu menghasilkan beda potensial optimum dengan sistem MFC dibandingkan substrat sampah.
3. Mikroba (bakteri) yang berperan dalam sistem MFC terdiri lebih dari satu jenis bakteri.

### 5.2 Saran

Jumlah dan jenis bakteri yang terkandung pada sampel tanah dan sampah tidak diketahui, sehingga membuat kondisi sistem dalam menghasilkan nilai beda potensial yang sama cukup sulit. Optimasi jumlah dan jenis bakteri yang terakumulasi akan memudahkan dalam mengamati nilai beda potensial yang dihasilkan untuk membuat kondisi sistem yang sama seperti sebelumnya. Kondisi kedua elektroda seharusnya dibuat pada posisi tetap. Posisi elektroda yang berubah-ubah akan membuat nilai beda potensial yang dihasilkan juga berbeda-beda. Selain itu, perlu adanya pengadukan pada sistem sehingga kondisi sistem homogen (akan membuat bahan organik tersebar merata atau tidak terendap didasar wadah).

**DAFTAR PUSTAKA**

- Addy, H. S. 2015. *Prinsip Metode Dasar dan Bakteriologi Tumbuhan*. Jember: Universitas Jember Press.
- Agus, C. 1998. *Bahan Assistensi dan Petunjuk Praktikum Ilmu Tanah Hutan*. Yogyakarta: Fakultas kehutanan UGM.
- Anas, I. 1989. *Biologi Tanah dalam Praktek*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antara Universitas Bioteknologi. Bogor: IPB Press.
- Anonim. 2015a. Sektor Pasokan Energi Produksi Minyak, Gas, dan Batubara Indonesia 2050 Pathway Calculator. [http://papua2050.wwf.id/assets/mini\\_paper/energy/id/Panduan%20Pengguna%20untuk%20Produksi%20Fosil.pdf](http://papua2050.wwf.id/assets/mini_paper/energy/id/Panduan%20Pengguna%20untuk%20Produksi%20Fosil.pdf). [Diakses pada 3 Mei 2018].
- Anonim. 2015b. Organik Matter. <http://www.soilhealth.com/soil-health/organic/>. [Diakses pada 3 Mei 2018].
- Anonim. 2016. Nafion® Perfluorinated Membrane. <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/nafionperfluorinatedmembrane123453117520911?lang=en&region=ID>. [Diakses pada 3 Mei 2018].
- Anonim. 2017a. Conductivity of Metal Sorted by Resistivity. <http://eddy-current.com/conductivity-of-metals-sorted-by-resistivity/>. [Diakses pada 3 Mei 2018].
- Anonim. 2017b. Environmental Standard Reduction Potentials. <https://web.viu.ca/krogh/chem331/Environmental%20Standard%20Reduction%20Potentials%202008.pdf>. [Diakses pada 3 Mei 2018].
- Behera, M., Jana, P. S., More, T. T., and Ghangrekar, M. M. 2010. Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH. *Journal of Bioelectrochemistry*. 79: 228-233.
- Bot, A. and Benites, J. 2005. The Importance of Soil Organic Matter. <http://www.fao.org/3/a-a0100e.pdf>. [Diakses pada 3 Mei 2018].
- Cappuccino, J. G., and Sherman, N., 2002. *Microbiology: A Laboratory Manual*. Fifth Edition. Amerika: Addison Wesley Longman, Inc.

- Chae, K. Y., Choi, M., Ajayi, F. F., Park W., Chang, I. S., and Kim, I. S. 2008. Mass transport through a proton exchange membrane (Nafion) in microbial fuel cells. *Journal of Energy and Fuels*. 22 (1): 169-176.
- Chae, K., Choi, M., Lee J., Kim, K., and Kim, I. S. 2009. Effect of different substrate on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells. *Journal of Bioresource Technology*. 100: 3518-3525.
- Chandrasa, G. T., Zuhail, Dalimi R., dan Hoetman, A. R. 2006. Fuel cell hidrogen tipe PEM sebagai sumber energi mobil listrik ultra ringan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*. 1 (2): 31-40.
- Chang, R. 2003. General Chemistry: The Essential Concepts. Third Edition. United States: McGraw-Hill. Terjemahan oleh S. S. Achmadi. 2005. *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti*. Jilid 2. Edisi Ketiga. Jakarta : Erlangga.
- Cucu, A., Costache, T. A., Tilikos, A., Stamatina, I., and Ciocanea A. 2013. Microalgae as native oxygen suppliers in bicameral microbial fuel cell. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 8 (3): 1301-1312.
- Dangar, J. D. T. K. 2008. Microbial population dynamics, especially stress tolerant *Bacillus thuringiensis*, in partially anaerobic rice field soils during post-harvest period of the Himalayan, island, brackish water and coastal habitats of India. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 24: 1403-1410.
- Day Jr. A., dan Underwood, A. L. 2001. *Analisa Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Du, Z., Li, H., and Gu, T. 2007. A state of the art review on microbial fuel cell; a promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Journal Biotechnology Advances*. 25: 464-482.
- Gandia, L. M., Arzamedi, G., and Dieguez P. M. 2013. *Renewable Hydrogen Technologies: Production, Purification, Storage, Applications and Safety*. 1<sup>st</sup> Edition. Newnes-Elsevier Science.
- Hanafiah, K. A. 2005. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- He, Z., Huang, Y., Manohar, A. K., and Mansfeld, F. 2008. Effect of electrolyte pH on the rate of the anodic and cathodic reactions in an air-cathode microbial fuel cell. *Journal of Bioelectrochemistry*. 74: 78-82.

- Huang, L., and Angelidaki, I. 2008. Effect of humic acids on electricity generation integrated with xylose degradation in microbial fuel cell. *Journal of Biotechnology and Bioengineering*. 100 (3): 413-422.
- Idham F., Halimi, S., dan Latifah S. 2009. *Alternatif Baru Sumber Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell*. Program Kreativitas Mahasiswa. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Islami, T. 1995. *Klasifikasi Tanah*. Jakarta: Aka Press.
- Islam, K. R., and Weil, R. R. 1998. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic carbon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 29 (15 and 16): 2269-2284.
- Jafary, T., Ghoreyshi, A. A., Najafpour, G. D., Fatemi, S., and Rahimnejad, M. 2012. Investigation on performance of microbial fuel cells based on carbon sources and kinetic models. *International Journal of Energy Research*. 37 (12): 1539-1549.
- Juma, N. G. 1998. *The pedosphere and its dynamics: a system approach to soil science*. Volume 1. Canada: Salman Productions.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2011. *Statistik Minyak Bumi*. Jakarta: Ditjen Minyak dan Gas, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2013. *Handbook of Energy & Economics of Indonesia*. Jakarta: Pusdatin, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Ketocki, D., and Armao, F. 2003. *Stainless Steels Welding Guide*. United States: Lincoln Global, Inc.
- Kim G. T., Webster G., Wimpenny J. W. T., Kim B. H., Kim H. J., and Weightman A. J. 2006. Bacterial community structure, compartmentalization and activity in a microbial fuel cell. *Journal of Applied Microbiology*. 101: 689-710.
- Kim, I. S., Chae, K., Choi, M., and Vestraete, W. 2008. Microbial fuel cells: recent advances, bacterial communities and application beyond electricity generation. *Journal of Environmental Engineering Research*. 13 (2): 51-65.

- Kim J. R., Cheng, S., Oh, S., and Logan B. E. 2007. Power generation using different cation, anion, and ultrafiltration membranes in microbial fuel cells. *Journal of Environmental Science and Technology*. 41 (3): 1004-1009.
- Kim, Y., Park S., Won K., Kim, H. J., and Lee, S. H. 2013. Bacterial cellulose-carbon nanotube composite as a biocompatible electrode for the direct electron transfer of glucose oxidase. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 88 (6): 1067- 1070.
- Kristin, E. 2012. *Produksi Energi Listrik melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Khopkar S M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.
- Kurniawati, L., dan Sanjaya, I G. M. 2013. Pengaruh jenis baketri selulotik terhadap efisiensi sel bakar mikroba. *UNESA Journal of Chemistry*. 2 (2): 17-22.
- Ladewig, B., Jiang, S. P., and Yan, Y. 2015. *Material for Low-Temperature Fuel Cell*. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Larminie J and Dicks A. 2000. *Fuel Cell System Explained*. 1<sup>st</sup> ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Lehninger, A. L. 1994. *Biochemistry*. 2<sup>nd</sup> Edition. New York: Worth. Terjemahan oleh M. Thenawijaya. 2000. *Dasar-dasar Biokimia*. Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Liang, P., Huang X., Fan M., Cao, X., and Wang, C. 2007. Composition and distribution of internal resistance in three types of microbial fuel cells. *Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*. 77 : 551-558.
- Liu, H. 2009. *Microbial Fuel Cell: Novel Anaerobic Biotechnology for Energy Generation from Wastewater*. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications*. S. K. Khanal. UK: Willey-Blackwell.
- Logan, B. E., and Regan, J. M. 2006. Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Journal Trends in Microbiology*. 4 (12): 512-518.
- Logan, B. E. 2008. *Microbial Fuel Cell*. New Jersey: John Willey & Sons, Inc.
- Muchlis, M., dan Permana, A. D. 2015. *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 S.D 2020*. [http://www.oocities.org/markal\\_bppt/publish/slistrk/slmuch.pdf](http://www.oocities.org/markal_bppt/publish/slistrk/slmuch.pdf). [Diakses pada 3 Mei 2018].



- Nelson, D. L. and Cox, M. M. 2015. *Lehninger Principles of Biochemistry*. Fourth edition. New York: W.H. Freeman and Company.
- Novitasari, D. 2011. *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus Bulgaricus*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Oppliger, A., and Duquenne, P. 2015. *Highly Contaminated Workplaces. Environmental Mycology in Public Health: Fungi and Mycotoxins Risk Assessment and Management*. Edited by C. Viegas, A. C. Pinheiro, R. Sabino, S. Viegas, J. Brandao, and C. Verissimo. United States: Elsevier Inc.
- Pommerville, J. C. 2010. *Alcamo's fundamentals of microbiology*. 9th ed. USA: Jones and Bartlett Publishers, LLC.
- Program Studi Ilmu Tanah. 2015. *Petunjuk Praktikum Analisis Tanah, Air, dan Jaringan*. Semester Genap 2015-2016. Jember: Fakultas Pertanian Universitas Jember.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal-Kementerian Pertanian. 2014. *Statistika Penduduk 1971-2015*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal-Kementerian Pertanian.
- Rabaey, K., and Verstraete, W. 2005. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Journal Trends in Biotechnology*. 23 (6): 291-298.
- Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari S., Zirepour, A., and Oh, S. 2015. Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: a review. *Alexandria Engineering Journal*. 54 (3): 745-756.
- Ramadhan, R. R., dan Wibowo, A. I. 2013. Studi Komparasi Microbial Fuel Cell dengan Imobilisasi Lactobacillus Bulgaricus Menggunakan Metode Enkapsulasi dan Adsorpsi untuk Menghasilkan Energi Listrik yang Tinggi. Tidak Diterbitkan. Proposal Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Saraswati, R., Husen E., dan Simanungkalit, R. D. M. 2007. *Metode Analisis Biologi Tanah*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Schroder, U. 2007. Anodic electron transfer mechanisms in microbial fuel cells and their energy efficiency. *Journal of Physical Chemistry Chemical. Physics*. 9: 2619-2629.

- Scott, K., and Murano C. 2007. Microbial fuel cells utilizing carbohydrates. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 82: 92-100.
- Sengodan, P., and Hays B. D. 2012. *Microbial Fuel Cell. National Petroleum Council (NPC) Study*. Texas: Texas A&M University.
- Sharma, Y., and Li, B. 2010. The variation of power generation with organic substrates in single-chamber microbial fuel cells (SCMFCs). *Journal of Bioresource Technology*. 101: 1844-1850.
- Shukla, A. K., Suresh, P., Berchmans, S., and Rajendran, A. 2004. Biological fuel cell and their application. *Current Science*. 87 (4): 455-468.
- Sitorus, B. 2010. Diversifikasi sumber energi terbarukan melalui penggunaan air buangan dalam sel elektrokimia berbasis mikroba. *Jurnal ELKHA*. 2 (1): 10-14.
- Skoog D.A, West D.U, Holler F.J, and Crouch S.R. 2004. *Fundamentals of Analytical Chemistry, Ed. ke-8*. Belmont: Thomson Learning.
- Sumarsih, S. 2003. *Mikrobiologi Dasar*. Yogyakarta: Fakultas Pertanian UPN Veteran.
- Thygesen, A., Poulsen, F. W., Min, B., Angelidaki, I., Thomsen, A. B. 2008. The effect of different substrates and humic acid on power generation in microbial fuel cell operation. *Journal of Bioresource Technology*. 100:1186-1191.
- Utomo, B. S., Nuraini, Y., dan Widiyanto. 2015. Kajian kemantapan agregat tanah pada pemberian beberapa jenis bahan organik di perkebunan kopi robusta. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 2 (1): 111-117.
- Zahara, N. C. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces Cerevisiae dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

**LAMPIRAN A. Hasil uji ANOVA dalam menentukan sistem MFC dengan nilai beda potensial optimum**

a. Tes Homogenitas

**Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>**

Dependent Variable: Beda\_Potensial

F	df1	df2	Sig.
1.617	11	12	.211

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Elektroda\_Substrat + Variasi\_Massa

Hasil diatas menunjukkan bahwa data memnuhi syarat homogenitas, yang mana menyatakan bahwa data tersebut homogen (memiliki varian yang sama / identik).

b. Tes Normalitas

**Tests of Normality**

		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Beda_Potensial	Karbon-tanah	.201	6	.200*	.923	6	.525
	Karbon-Sampah	.215	6	.200*	.942	6	.674
	Stainless steel-Tanah	.272	6	.187	.835	6	.118
	Stainless steel-Sampah	.182	6	.200*	.979	6	.944

a. Lilliefors Significance Correction

\*. This is a lower bound of the true significance.

## Tests of Normality

	Variasi_Massa	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Beda_Potensial	100	.174	8	.200*	.935	8	.566
	200	.260	8	.120	.901	8	.296
	300	.148	8	.200*	.918	8	.418

a. Lilliefors Significance Correction

\*. This is a lower bound of the true significance.

Identifikasi yang digunakan yaitu tes Shapiro-Wilk. Hal ini dilakukan karena ketika data yang akan diidentifikasi terdiri dari  $\leq 50$  data, maka digunakan tes Shapiro-Wilk. Namun jika sebaliknya ( $> 50$ ), maka digunakan tes Kolmogorov-Smirnov. Hasil diatas memiliki nilai signifikansi  $> 0,05$  maka data terdistribusi normal, sehingga data sudah memenuhi syarat untuk uji *two way* ANOVA.

## c. Uji ANOVA

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Beda\_Potensial

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	235510.875 <sup>a</sup>	5	47102.175	51.082	.000
Intercept	6840540.375	1	6840540.375	7.418E3	.000
Elektroda_Substrat	234186.125	3	78062.042	84.657	.000
Variasi_Massa	1324.750	2	662.375	.718	.501
Error	16597.750	18	922.097		
Total	7092649.000	24			
Corrected Total	252108.625	23			

a. R Squared = .934 (Adjusted R Squared = .916)

Hasil dari uji *two way* ANOVA, menunjukkan bahwa pada perlakuan elektroda\_substrat memiliki nilai signifikansi  $< 0.05$  sehingga perlakuan ini memiliki

nilai yang berbeda nyata. Oleh karena itu, perlakuan elektroda\_substrat perlu dilakukan uji lanjutan berupa uji Tukey.

d. Uji Tukey

**Multiple Comparisons**

Beda\_Potensial

Tukey HSD

(I) Elektroda_Substrat	(J) Elektroda_Substrat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Karbon-tanah	Karbon-Sampah	164.0000*	10.73093	.000	132.1409	195.8591
	Stainless steel-Tanah	155.0000*	10.73093	.000	123.1409	186.8591
	Stainless steel-Sampah	277.8333*	10.73093	.000	245.9743	309.6924
Karbon-Sampah	Karbon-tanah	-164.0000*	10.73093	.000	-195.8591	-132.1409
	Stainless steel-Tanah	-9.0000	10.73093	.835	-40.8591	22.8591
	Stainless steel-Sampah	113.8333*	10.73093	.000	81.9743	145.6924
Stainless steel-Tanah	Karbon-tanah	-155.0000*	10.73093	.000	-186.8591	-123.1409
	Karbon-Sampah	9.0000	10.73093	.835	-22.8591	40.8591
	Stainless steel-Sampah	122.8333*	10.73093	.000	90.9743	154.6924
Stainless steel-Sampah	Karbon-tanah	-277.8333*	10.73093	.000	-309.6924	-245.9743
	Karbon-Sampah	-113.8333*	10.73093	.000	-145.6924	-81.9743
	Stainless steel-Tanah	-122.8333*	10.73093	.000	-154.6924	-90.9743

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 345.458.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

**Homogeneous Subsets**

**Beda\_Potensial**

Tukey HSD

Elektroda_Substrat	N	Subset
--------------------	---	--------

		1	2	3
Stainless steel-Sampah	6	4.0500E2		
Karbon-Sampah	6		5.1883E2	
Stainless steel-Tanah	6		5.2783E2	
Karbon-tanah	6			6.8283E2
Sig.		1.000	.835	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 345.458.

Hasil uji Tukey, menunjukkan bahwa perlakuan elektroda\_substrat yang berbeda nyata yaitu *stainless steel* sampah dan karbon tanah, dengan rincian karbon tanah memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghasilkan beda potensial.

### Variasi\_Massa

#### Multiple Comparisons

Beda\_Po

tensial

Tukey

HSD

(I) Variasi_ Massa	(J) Variasi_ Massa	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	17.3750	9.29325	.190	-7.4181	42.1681
	300	14.1250	9.29325	.317	-10.6681	38.9181
200	100	-17.3750	9.29325	.190	-42.1681	7.4181
	300	-3.2500	9.29325	.935	-28.0431	21.5431
300	100	-14.1250	9.29325	.317	-38.9181	10.6681
	200	3.2500	9.29325	.935	-21.5431	28.0431

**Multiple Comparisons**

Beda\_Po  
tensial  
Tukey  
HSD

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	17.3750	9.29325	.190	-7.4181	42.1681
	300	14.1250	9.29325	.317	-10.6681	38.9181
200	100	-17.3750	9.29325	.190	-42.1681	7.4181
	300	-3.2500	9.29325	.935	-28.0431	21.5431
300	100	-14.1250	9.29325	.317	-38.9181	10.6681
	200	3.2500	9.29325	.935	-21.5431	28.0431

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 345.458.

**Homogeneous Subsets**

**Beda\_Potensial**

Tukey HSD

Variasi_Massa	N	Subset
		1
200	8	5.2675E2
300	8	5.3000E2
100	8	5.4413E2
Sig.		.190

Means for groups in homogeneous

subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) =  
345.458.

Hasil uji Tukey, menunjukkan bahwa perlakuan variasi\_massa tidak berbeda nyata. Sehingga massa tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap hasil nilai beda potensial yang diperoleh.

### **LAMPIRAN B. Hasil panjang gelombang maksimum dan absorpsi maksimum pada uji C organik**

#### **B1. Hasil Panjang Gelombang Maksimum dan Absorbansi Maksimum pada Uji C Organik**

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi pada							
	50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm	350 ppm	400 ppm
534	0.003	0.002	0.004	-0.002	-0.007	0.012	-0.004	-0.009
536	0.013	0.02	0.031	0.034	0.042	0.066	0.055	0.066
538	0.021	0.035	0.055	0.068	0.088	0.117	0.111	0.136
540	0.028	0.049	0.077	0.099	0.129	0.163	0.161	0.201
542	0.035	0.063	0.098	0.127	0.168	0.206	0.208	0.26
544	0.042	0.076	0.118	0.153	0.203	0.245	0.25	0.314
546	0.048	0.087	0.135	0.178	0.235	0.282	0.29	0.364
548	0.053	0.097	0.15	0.199	0.265	0.314	0.326	0.409
550	0.058	0.106	0.165	0.219	0.291	0.344	0.358	0.45
552	0.062	0.114	0.178	0.237	0.316	0.371	0.387	0.487
554	0.067	0.122	0.19	0.254	0.338	0.397	0.415	0.522
556	0.071	0.129	0.201	0.269	0.359	0.42	0.44	0.553
558	0.074	0.136	0.211	0.283	0.378	0.441	0.463	0.582
560	0.077	0.142	0.22	0.296	0.396	0.46	0.483	0.608
562	0.08	0.147	0.229	0.308	0.411	0.478	0.502	0.632
564	0.083	0.152	0.236	0.318	0.426	0.494	0.519	0.654

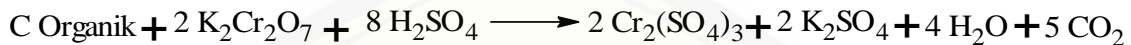


566	0.085	0.156	0.243	0.328	0.439	0.508	0.534	0.673
568	0.087	0.16	0.249	0.336	0.45	0.52	0.547	0.689
570	0.089	0.164	0.254	0.343	0.46	0.531	0.559	0.704
572	0.091	0.167	0.259	0.349	0.468	0.541	0.569	0.717
574	0.092	0.169	0.263	0.355	0.476	0.549	0.578	0.728
576	0.093	0.171	0.266	0.359	0.482	0.556	0.585	0.737
578	0.094	0.173	0.269	0.363	0.487	0.561	0.591	0.744
580	0.095	0.174	0.271	0.366	0.491	0.565	0.596	0.75
582	0.095	0.175	0.272	0.368	0.494	0.569	0.599	0.754
584	0.095	0.175	0.273	0.369	0.496	0.57	0.601	0.756
586	0.096	0.176	0.273	0.37	0.497	0.571	0.601	0.757
588	0.096	0.176	0.273	0.37	0.497	0.571	0.601	0.756
590	0.095	0.175	0.273	0.369	0.496	0.569	0.599	0.754
592	0.095	0.174	0.271	0.367	0.494	0.567	0.597	0.75
594	0.094	0.173	0.27	0.365	0.491	0.563	0.593	0.746
596	0.093	0.172	0.268	0.362	0.487	0.558	0.588	0.739
598	0.092	0.17	0.265	0.359	0.482	0.553	0.582	0.732
600	0.091	0.168	0.262	0.355	0.477	0.546	0.575	0.723
602	0.09	0.165	0.258	0.35	0.47	0.539	0.567	0.713
604	0.088	0.162	0.254	0.344	0.463	0.531	0.558	0.702
606	0.087	0.16	0.25	0.339	0.456	0.522	0.549	0.69
608	0.085	0.157	0.246	0.333	0.447	0.512	0.539	0.677
610	0.083	0.153	0.241	0.326	0.438	0.502	0.528	0.663
612	0.081	0.15	0.235	0.319	0.429	0.49	0.516	0.648
614	0.079	0.146	0.23	0.311	0.418	0.479	0.503	0.632
616	0.077	0.142	0.224	0.303	0.407	0.466	0.49	0.615
618	0.075	0.138	0.218	0.295	0.396	0.453	0.477	0.598
620	0.072	0.134	0.211	0.286	0.384	0.44	0.462	0.58
622	0.07	0.13	0.205	0.277	0.373	0.426	0.448	0.562
624	0.068	0.126	0.198	0.268	0.361	0.413	0.434	0.544
626	0.065	0.121	0.192	0.259	0.349	0.399	0.42	0.526
628	0.063	0.117	0.185	0.251	0.337	0.385	0.405	0.508
630	0.061	0.113	0.179	0.242	0.326	0.372	0.392	0.491
632	0.058	0.109	0.173	0.234	0.315	0.36	0.379	0.475
634	0.056	0.106	0.168	0.227	0.305	0.349	0.367	0.46
636	0.055	0.102	0.163	0.22	0.295	0.338	0.355	0.445
638	0.053	0.099	0.157	0.213	0.286	0.327	0.344	0.43
640	0.051	0.096	0.152	0.205	0.276	0.315	0.332	0.415

642	0.049	0.092	0.146	0.197	0.265	0.303	0.319	0.399
644	0.046	0.088	0.14	0.189	0.254	0.29	0.305	0.382
646	0.044	0.083	0.133	0.18	0.241	0.277	0.29	0.363
648	0.042	0.079	0.127	0.171	0.229	0.263	0.276	0.345
650	0.039	0.075	0.12	0.163	0.218	0.25	0.262	0.328
652	0.037	0.071	0.114	0.154	0.206	0.237	0.248	0.311
654	0.035	0.067	0.108	0.146	0.195	0.224	0.235	0.294
656	0.033	0.063	0.102	0.138	0.184	0.212	0.222	0.278
658	0.031	0.06	0.097	0.131	0.175	0.201	0.211	0.263
660	0.029	0.057	0.092	0.124	0.165	0.19	0.199	0.249
662	0.027	0.054	0.087	0.117	0.156	0.18	0.189	0.236
664	0.025	0.051	0.082	0.111	0.148	0.17	0.179	0.223
666	0.024	0.048	0.078	0.105	0.14	0.161	0.17	0.212
668	0.023	0.046	0.075	0.101	0.134	0.154	0.162	0.203
670	0.022	0.044	0.072	0.098	0.13	0.15	0.157	0.197
672	0.021	0.043	0.071	0.096	0.128	0.147	0.155	0.194
674	0.021	0.043	0.07	0.095	0.126	0.145	0.153	0.191
676	0.02	0.041	0.068	0.092	0.122	0.14	0.148	0.184
678	0.019	0.039	0.065	0.087	0.116	0.134	0.141	0.175
680	0.018	0.037	0.061	0.082	0.11	0.126	0.133	0.166
682	0.016	0.035	0.057	0.077	0.102	0.118	0.125	0.155
684	0.015	0.032	0.054	0.072	0.095	0.11	0.116	0.144
686	0.014	0.03	0.05	0.067	0.088	0.103	0.108	0.134
688	0.012	0.027	0.046	0.062	0.082	0.095	0.1	0.124
690	0.011	0.025	0.042	0.057	0.075	0.087	0.092	0.114
692	0.01	0.023	0.039	0.052	0.069	0.08	0.085	0.105
694	0.009	0.021	0.036	0.048	0.063	0.073	0.078	0.096
696	0.008	0.019	0.033	0.044	0.058	0.067	0.071	0.088
698	0.007	0.017	0.03	0.04	0.053	0.062	0.065	0.081
700	0.006	0.016	0.028	0.037	0.049	0.057	0.061	0.075

### LAMPIRAN C. Hasil kadar air, faktor koreksi, PPM kurva, dan kadar C organik

Persen Kadar C Organik



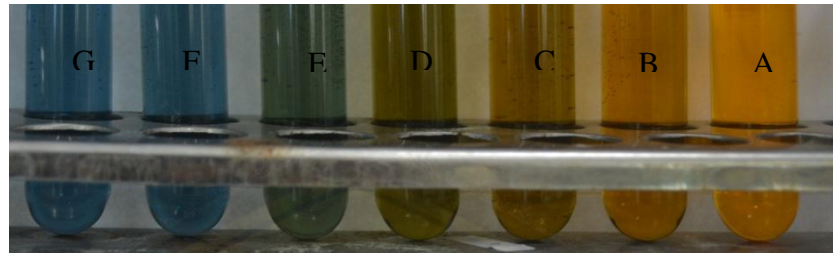
$$\text{Kadar C Organik (\%)} = \frac{\frac{\text{mL ekstrak}}{\text{gram contoh}} \times \text{ppm kurva} \times \text{FP} \times \text{FK}}{10000} =$$

$$\text{Kadar air} = \frac{(\text{Massa awal} - \text{massa setelah konstan})}{\text{Massa awal}} \times 100 \% =$$

$$\text{Faktor Koreksi} = \frac{100}{(100 - \text{Kadar air (\%)})} =$$

C1. Hasil Uji Kadar C Organik

Sampel	Ulangan 1				Ulangan 2				Kadar C Organik (%)	Standar Deviasi
	Massa Bahan Kering (g)	Kadar Air (%)	Faktor Koreksi (%)	PPM Kurva	Massa Bahan Kering (g)	Kadar Air (%)	Faktor Koreksi (%)	PPM Kurva		
T awal	1,25	37,81	1,61	98,72	1,22	39,00	1,64	88,17	3,03	0,20
S awal	0,14	93,30	14,93	350,94	0,14	93,30	14,93	350,39	104,70	0,12
100 C, T	0,87	56,72	2,31	94,28	0,88	56,22	2,28	95,94	4,37	0,02
200 C, T	0,87	56,50	2,30	70,94	0,84	58,21	2,39	75,11	3,43	0,24
300 C, T	0,94	53,00	2,13	93,72	0,91	54,50	2,20	92,61	4,03	0,06
100 SS, T	0,78	61,19	2,58	88,44	0,68	66,17	2,96	89,54	4,93	0,52
200 SS, T	0,86	57,43	2,35	84,56	0,83	58,71	2,42	80,94	3,95	0,04
300 SS, T	0,86	57,43	2,35	74,28	0,92	54,23	2,18	92,61	3,77	0,39
100 C, S	0,05	97,79	45,31	272,33	0,05	97,52	40,38	289,83	240,43	9,00
200 C, S	0,14	93,00	14,29	187,61	0,16	92,04	12,56	183,44	49,85	5,31
300 C, S	0,1	95,12	20,49	170,11	0,12	94,06	16,83	193,72	67,45	3,20
100 SS, S	0,04	98,01	50,23	331,22	0,04	98,05	51,22	313,17	326,78	8,40
200 SS, S	0,2	90,37	10,38	173,72	0,18	91,33	11,54	183,44	39,20	4,43
300 SS, S	0,14	93,38	15,10	359,00	0,15	92,68	13,66	352,06	102,31	8,67
100 C, TB	1,07	46,75	1,88	59,00	1,07	46,50	1,87	64,00	2,30	0,12



Larutan Glukosa 0 ppm (A) Larutan Glukosa 100 ppm (B) Larutan Glukosa 200 ppm (C)  
Larutan Glukosa 300 ppm (D) Larutan Glukosa 400 ppm (E) Larutan Glukosa 500 ppm (F)  
Larutan Glukosa 600 ppm (G)

Gambar C. Larutan untuk Identifikasi Kurva Standar dalam Uji Karbon

#### LAMPIRAN D. Hasil inokulasi bakteri sebelum dan sesudah proses MFC

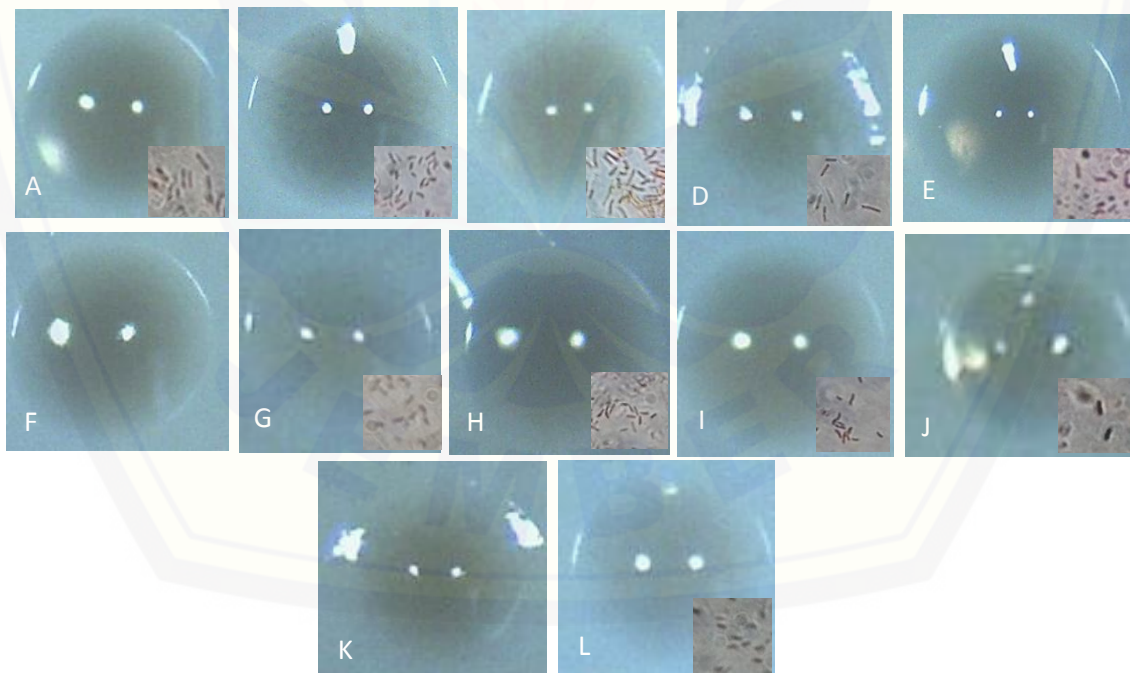
##### D1. Hasil Total Sel Bakteri

Sampel	Hasil Pengenceran	Jumlah Koloni dalam Sampel	Jumlah Sel dalam Sampel	Rata-rata Sel dalam Sampel
Tanah	$10^{-4}$	2	$2 \times 10^6$ CFU/g	$2 \times 10^6$ CFU/g
Sampah	$10^{-5}$	1	$1 \times 10^7$ CFU/g	$1 \times 10^7$ CFU/g
100 g Tanah MFC Elektroda Karbon	$10^{-4}$ dan $10^{-5}$	12 dan 2	$12 \times 10^6$ CFU/mL dan $2 \times 10^7$ CFU/mL	$20 \times 10^6$ CFU/mL
100 g Tanah MFC Elektroda Karbon Ulangan ke-2	$10^{-4}$	8	$8 \times 10^6$ CFU/mL	
200 g Tanah MFC Elektroda Karbon	$10^{-4}$	5	$5 \times 10^6$ CFU/mL	$7 \times 10^6$ CFU/mL
200 g Tanah MFC Elektroda Karbon Ulangan ke-2	$10^{-4}$	9	$9 \times 10^6$ CFU/mL	
300 g Tanah MFC Elektroda Karbon	$10^{-4}$	8	$8 \times 10^6$ CFU/mL	$4,5 \times 10^6$ CFU/mL
300 g Tanah MFC Elektroda Karbon Ulangan ke-2	$10^{-4}$	1	$1 \times 10^6$ CFU/mL	
100 g Tanah MFC	$10^{-4}$	1	$1 \times 10^6$ CFU/mL	$23 \times 10^6$ CFU/mL

Elektroda <i>Stainless Steel</i>			CFU/mL	CFU/mL
100 g Tanah MFC	$10^{-4}$ dan $10^{-5}$	25 dan 2	$25 \times 10^6$	
Elektroda <i>Stainless Steel</i> Ulangan ke-2			CFU/mL dan $2 \times 10^7$ CFU/mL	
200 g Tanah MFC	$10^{-4}$	1	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^6$
Elektroda <i>Stainless Steel</i>			CFU/mL	CFU/mL
200 g Tanah MFC	$10^{-4}$	1	$1 \times 10^6$	
Elektroda <i>Stainless Steel</i> Ulangan ke-2			CFU/mL	
300 g Tanah MFC	$10^{-4}$ dan $10^{-5}$	11 dan 2	$11 \times 10^6$	$16,5 \times 10^6$
Elektroda <i>Stainless Steel</i>			CFU/mL dan $2 \times 10^7$ CFU/mL	CFU/mL
300 g Tanah MFC	$10^{-4}$	2	$2 \times 10^6$	
Elektroda <i>Stainless Steel</i> Ulangan ke-2			CFU/mL	
100 g Sampah MFC	$10^{-5}$	8	$8 \times 10^7$	$6,5 \times 10^7$
Elektroda Karbon			CFU/mL	CFU/mL
100 g Sampah MFC	$10^{-5}$	5	$5 \times 10^7$	
Elektroda Karbon Ulangan ke-2			CFU/mL	
200 g Sampah MFC	$10^{-5}$	2	$2 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$
Elektroda Karbon			CFU/mL	CFU/mL
200 g Sampah MFC	$10^{-5}$	3	$3 \times 10^7$	
Elektroda Karbon Ulangan ke-2			CFU/mL	
300 g Sampah MFC	$10^{-5}$ dan $10^{-6}$	3 koloni bakteri; 1 jamur dan 1 koloni bakteri	$3 \times 10^7$ CFU/mL; $1 \times 10^7$ CFU/mL dan $1 \times 10^8$ CFU/mL	$7 \times 10^7$ CFU/mL (Bakteri); $1 \times 10^7$ CFU/mL (Jamur)
300 g Sampah MFC	$10^{-5}$	1	$1 \times 10^7$	
Elektroda Karbon Ulangan ke-2			CFU/mL	
100 g Sampah MFC	$10^{-5}$	4	$4 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$
Elektroda <i>Stainless Steel</i>			CFU/mL	CFU/mL
100 g Sampah MFC	$10^{-5}$	1	$1 \times 10^7$	
Elektroda <i>Stainless Steel</i> Ulangan ke-2			CFU/mL	
200 g Sampah MFC	$10^{-5}$	9 koloni bakteri; 1 jamur	$9 \times 10^7$ CFU/mL; $1 \times 10^7$ CFU/mL	$17 \times 10^7$ CFU/mL (Bakteri); $1 \times 10^7$ CFU/mL
200 g Sampah MFC	$10^{-5}$ dan $10^{-6}$	15 dan 1	$15 \times 10^7$	$10^7$ CFU/mL

Elektroda <i>Stainless Steel</i> Ulangan ke-2			CFU/mL dan 1 $\times 10^8$ CFU/mL	(Jamur)
300 g Sampah MFC	$10^{-5}$	1	$1 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$
Elektroda <i>Stainless Steel</i>			CFU/mL	CFU/mL
300 g Sampah MFC	$10^{-5}$	4	$4 \times 10^7$	
Elektroda <i>Stainless Steel</i> Ulangan ke-2			CFU/mL	
100 g Tanah MFC Tanpa Bakteri Elektroda Karbon	$10^{-4}$ dan $10^{-5}$	11 dan 2	$11 \times 10^6$ CFU/mL dan 2 $\times 10^7$ CFU/mL	$18,5 \times 10^6$ CFU/mL
100 g Tanah MFC Tanpa Bakteri Elektroda Karbon Ulangan ke-2	$10^{-4}$	6	$6 \times 10^6$ CFU/mL	

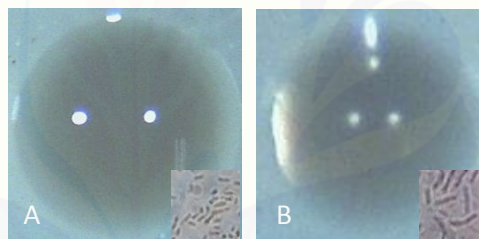
**LAMPIRAN E. Hasil foto dan tabel morfologi dan sel bakteri sesudah proses MFC**



Gambar E1. Koloni Bakteri Sampel Tanah MFC Elektroda Karbon 100 g Pengenceran  $10^{-4}$

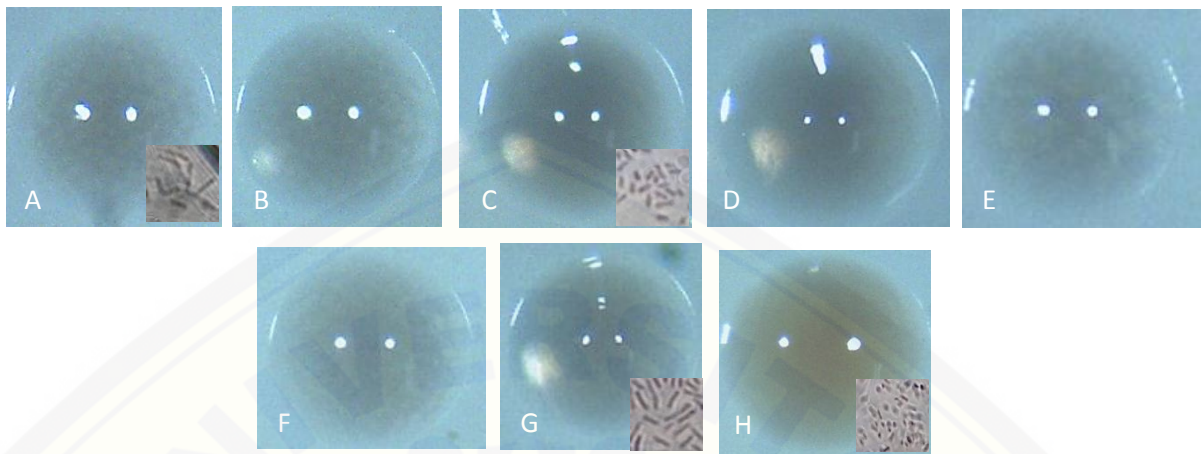
Tabel E1. Karakteristik Isolat

No.	Isolat	Gambar	Morfologi			
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi
1.	Tanah MFC Elektroda Karbon 100 g Pengenceran $10^{-4}$	A	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		B	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		C	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		D	Putih	Bulat	Halus	Datar
		E	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		F	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		G	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		H	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		I	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		J	Putih	Bulat	Halus	Datar
		K	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		L	Putih	Bulat	Halus	Cembung

Gambar E2. Koloni Bakteri Sampel Tanah MFC Elektroda Karbon 100 g Pengenceran  $10^{-5}$ 

Tabel E2. Karakteristik Isolat

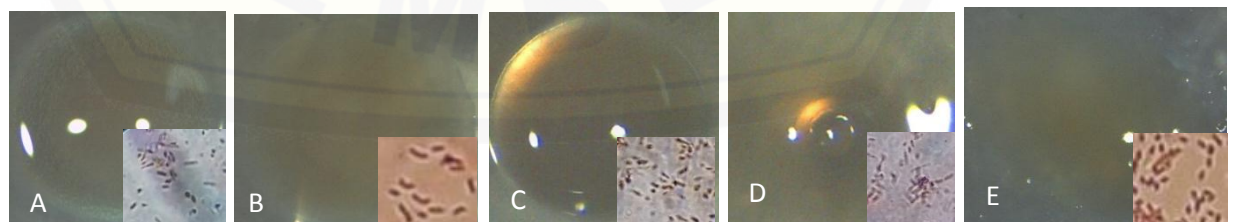
No.	Isolat	Gambar	Morfologi			
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi
1.	Tanah MFC Elektroda Karbon 100 g Pengenceran $10^{-5}$	A	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		B	Putih	Bulat	Halus	Cembung



Gambar E3. Koloni Bakteri Sampel Tanah MFC Elektroda Karbon 100 g Ulangan ke-2 Pengenceran  $10^{-4}$

Tabel E3. Karakteristik Isolat

No.	Isolat	Gambar	Morfologi			
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi
1.	Tanah MFC Elektroda Karbon 100 g Ulangan ke-2 Pengenceran $10^{-4}$	A	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		B	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		C	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		D	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		E	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		F	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		G	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		H	Putih kejinggaan	Bulat	Halus	Cembung

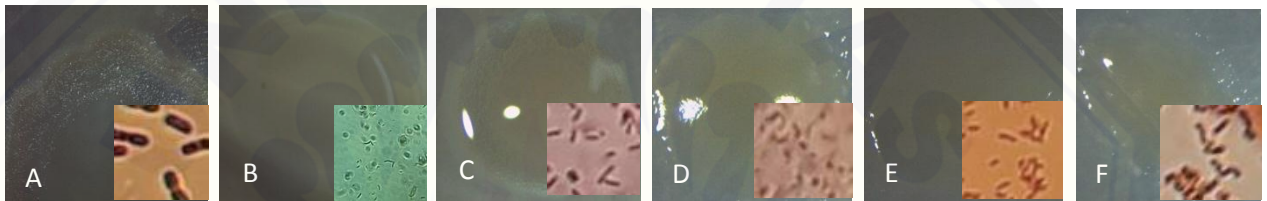


Gambar E4. Koloni Bakteri Sampel Tanah MFC Elektroda Karbon 200 g Pengenceran  $10^{-4}$



Tabel E4. Karakteristik Isolat

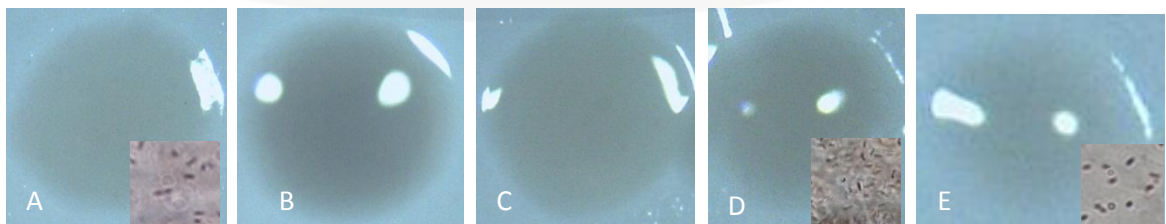
No.	Isolat	Gambar	Morfologi			
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi
1.	Tanah MFC Elektroda Karbon 200 g Pengenceran $10^{-4}$	A	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		B	Putih	Bulat	Halus	Datar
		C	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		D	Putih	Bulat	Halus	Kubah
		E	Putih Kekuningan	Tidak Beraturan	Bergelombang	Datar

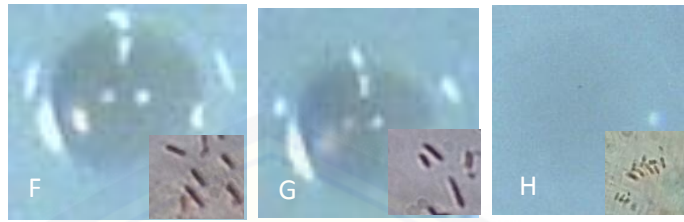


Gambar E5. Koloni Bakteri Sampel Tanah MFC Elektroda Karbon 200 g Ulangan ke-2 Pengenceran  $10^{-4}$

Tabel E5. Karakteristik Isolat

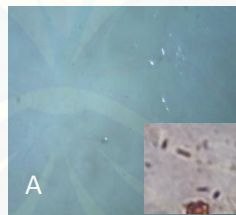
No.	Isolat	Gambar	Morfologi			
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi
1.	Tanah MFC Elektroda Karbon 200 g Ulangan ke-2 Pengenceran $10^{-4}$	A	Putih	Tidak Beraturan	Bergelombang	Datar
		B	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		C	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		D	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		E	Putih	Bulat	Halus	Datar
		F	Putih Kekuningan	Tidak Beraturan	Bergelombang	Datar



Gambar E6. Koloni Bakteri Sampel Tanah MFC Elektroda Karbon 300 g Pengenceran  $10^{-4}$ 

Tabel E6. Karakteristik Isolat

No.	Isolat	Gambar	Morfologi			
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi
1.	Tanah MFC Elektroda Karbon 300 g Pengenceran $10^{-4}$	A	Putih	Bulat	Halus	Datar
		B	Putih	Bulat	Halus	Datar
		C	Putih	Bulat	Halus	Datar
		D	Putih	Bulat	Halus	Datar
		E	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		F	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		G	Putih	Bulat	Halus	Cembung
		H	Putih	Bulat	Halus	Datar

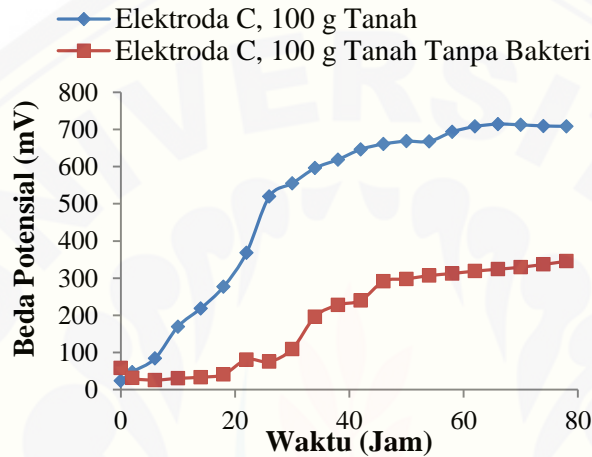
Gambar E7. Koloni Bakteri Sampel Tanah MFC Elektroda Karbon 300 g Ulangan ke-2 Pengenceran  $10^{-4}$ 

Tabel E7. Karakteristik Isolat

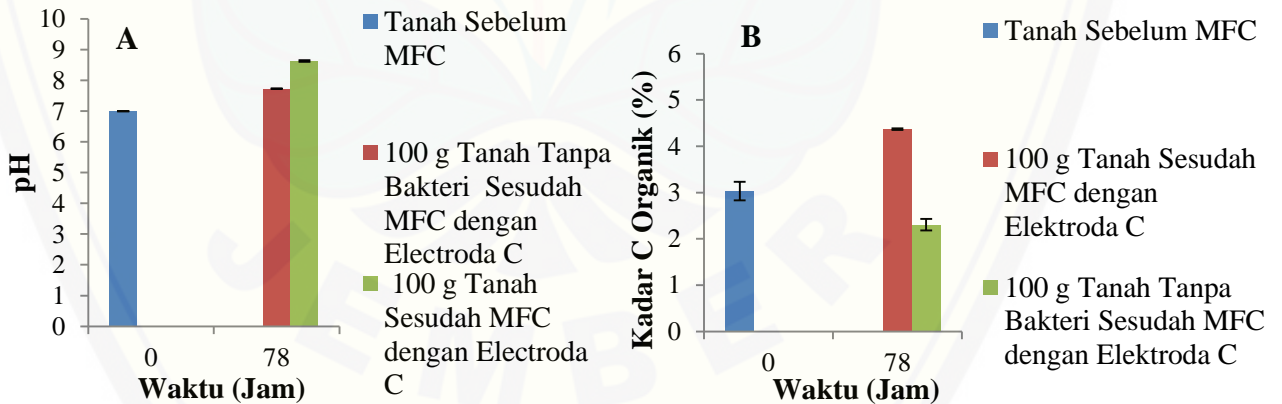
No.	Isolat	Gambar	Morfologi			
			Warna	Bentuk	Tepi	Elevasi
1.	Tanah MFC Elektroda Karbon 300 g Ulangan ke-2	A	Putih transparan	Tidak Beraturan	Bergelombang	Datar

Pengenceran  
10<sup>-4</sup>

**LAMPIRAN F. Hasil beda potensial, pH, dan Uji C organik kontrol (tanpa bakteri)**



Gambar E1. Grafik Hasil Bedapotensial Sistem MFC Dual Chamber dengan Bakteri maupun Tanpa Bakteri



Gambar F2. Grafik Hasil pH (A) dan Kadar C Organik (B) Sistem MFC Dual Chamber dengan Bakteri maupun Tanpa Bakteri