



SKRIPSI – TK091383

**STUDI PEMANFAATAN LUMPUR SEBAGAI SUMBER
ALTERNATIF ENERGI DENGAN MENGGUNAKAN
MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs)**

Oleh:

**DESSY ROSITA SARI
NRP. 2314106004**

**CHANIFAH HIDAYA
NRP. 2314106037**

Dosen Pembimbing :

**Dr. Eng. R. Darmawan, ST., MT.
NIP. 1978 05 06 2009 12 1001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



SKRIPSI – TK091383

**THE UTILIZATION STUDY OF MUD AS AN
ALTERNATIVE ENERGY SOURCE USING MICROBIAL
FUEL CELLS (MFCs)**

By :

DESSY ROSITA SARI

NRP. 2314106004

CHANIFAH HIDAYA

NRP. 2314106037

Advisor :

Dr. Eng. R. Darmawan, ST., MT

NIP. 1978 05 06 2009 12 1001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PEMANFAATAN LUMPUR SEBAGAI SUMBER ALTERNATIF ENERGI DENGAN MENGGUNAKAN MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs)

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia,
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

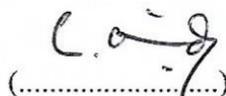
Dessy Rosita Sari 2314106004
Chanifah Hidayah 2314106037

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Eng. R. Darmawan, ST., MT
(Pembimbing)


(.....)

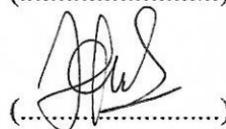
2. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA
(Penguji I)


(.....)

3. Hakun Wirawasista A, ST., M.MT., Ph.D
(Penguji II)


(.....)

4. Hikmatun Ni'mah, ST., MSc., Ph.D
(Penguji III)


(.....)



Surabaya
Januari, 2017

STUDI PEMANFAATAN LUMPUR SEBAGAI SUMBER ALTERNATIF ENERGI DENGAN MENGGUNAKAN MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs)

Nama Mahasiswa : 1. Dessy Rosita Sari (2314106004)
2. Chanifah Hidayah (2314106037)
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. R. Darmawan, ST., MT.
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknologi Industri

ABSTRAK

Sumber energi alternatif pengganti energi berbasis fosil dibutuhkan karena cadangan energi fosil menurun setiap hari. Lumpur dipilih sebagai sumber bahan untuk menghasilkan listrik dikarenakan ekonomis dan dapat ditemukan dengan mudah dan berlimpah di Indonesia. Dengan keberadaan lumpur yang mengandung bahan organik, hal ini memiliki potensi besar sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan *microbial fuel cells (MFCs)*. *Microbial fuel cells (MFCs)* adalah perangkat yang menggunakan aktif mikroorganisme (bakteri) sebagai biokatalis untuk mengoksidasi kandungan organik dan anorganik dengan proses anaerobik untuk menghasilkan biolistrik. Elektron diproduksi oleh bakteri dari substrat yang ditransfer ke anoda dan dilanjutkan ke katoda yang dihubungkan dengan bahan konduksi yang mengandung sebuah resistor. MFCs merupakan teknologi yang menjanjikan untuk menghasilkan energi yang berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari potensi energi listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan lumpur yang berasal dari air tanah, air payau, air laut 1 (Tambak Wedi) dan air laut 2 (area bakau Kenjeran) kemudian untuk mengetahui kemampuan bahan material elektroda yakni logam Ni/Ti dalam menghantarkan energi listrik dan pengaruh penambahan nutrient. Potensi listrik (tegangan dan arus) akan diukur dengan menyiapkan rangkaian alat dan menggunakan multimeter yang

dihubungkan ke katoda dan anoda dengan konektor dan rangkaian resistor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa listrik yang dihasilkan dari empat area yang masing-masing 212, 267, 280 dan 320 Volt / m² (tegangan listrik) dan 0,21, 0,27, 0,28 dan 0,32 A / m² (arus listrik). Hal ini menunjukkan bahwa lumpur yang diperoleh dari air laut 2 atau area mangrove Kenjeran menunjukkan potensi tertinggi untuk menghasilkan listrik dibandingkan dengan lumpur yang diperoleh dari air payau dan air tanah. Elektroda Ti 100 mesh dan penambahan MM+Y adalah elektroda dan nutrient yang terbaik untuk mencapai potensi biolistrik yang terbesar.

Kata kunci : bioelectricity, degradasi, lumpur, microbial fuel cells

THE UTILIZATION STUDY OF MUD AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE USING MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs)

Name : 1. Dessy Rosita Sari (2314106004)
2. Chanifah Hidayah (2314106037)
Advisor : Dr. Eng. R. Darmawan, ST., MT.
Department : Chemical Engineering
Faculty : Industrial Technology

ABSTRACT

Alternative energy sources to substitute fossil-based energy is expected, as the fossil energy reserves decreasing every day. Mud is considered to be economical as the material sources for producing the electricity where it could be found easily and abundantly in Indonesia. The existence of a lot of mud that contains organic material has great potential as a source of electrical energy using microbial fuel cells (MFCs). *Microbial fuel cells* (MFCs) are devices that use bacteria as the catalysts to oxidize organic and inorganic matter with anaerobic process for generating bioelectricity. Electrons produced by the bacteria from these substrates are transferred to the anode and followed to the cathode linked by a conductive material containing a resistor. It provides a promising technology by degrading organic compounds to yield the sustainable energy.

The purpose of this research is to study the potential for electrical energy generated from the use of mud from soil water, brackish water, sea water 1 (Tambak Wedi) and sea water 2 (mangrove Kenjeran) then to determine the ability of electrode material i.e Ni and Ti in delivering electrical energy and the effect of supplemented nutrients. The power potential (voltage and electric current) will be measured by preparing tool series and multimeter connected to the anode and cathode with connectors and the series of resistor.

The results suggest that the electricity generation of the four areas are 212, 267, 280 and 320 Volt/m² (in terms of voltage); 0,21, 0,27, 0,28 and 0,32 A/m² (in terms of electric current), respectively. It is investigated that the mud obtained the sea water 2 or mangrove Kenjeran exhibits the highest power potential compared to that obtained from the brackish and soil water. Electrode Ti 100 mesh and addition of nutrient MM + Y are the best electrodes and nutrients to achieve the highest potential bioelectricity.

Keywords: bioelectricity, degradation, mud, microbial fuel cells

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang kepada kami semua. Sehingga kami dapat menyelesaikan laporan proposal skripsi dengan judul :

“Studi Pemanfaatan Lumpur sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cells* (MFCs)”

Laporan Proposal Skripsi merupakan salah satu persyaratan yang harus dilalui mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS guna memperoleh gelar sarjana. Proposal skripsi ini kami susun berdasarkan aplikasi ilmu pengetahuan yang terdapat dalam literatur buku maupun data internet, khususnya di Laboratorium Teknologi Biokimia Teknik Kimia FTI-ITS. Penulis menyadari dalam penyusunan proposal skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT
2. Orang tua dan keluarga atas segala kasih sayang, kesabaran, doa dan pengorbanan dalam mendidik dan membesarkan kami.
3. Bapak Dr. Eng. R. Darmawan., ST., MT selaku dosen pembimbing kami.
4. Bapak Juwari, ST., M.Eng., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng selaku kepala Laboratorium Teknologi Biokimia Departemen Teknik Kimia FTI-ITS
6. Ibu Dr. Lailatul Qadariah., ST., M.T selaku koordinator Tugas Akhir dan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
7. Bapak/Ibu dosen penguji.

8. Seluruh dosen dan karyawan yang ada di lingkup Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
9. Rekan-rekan di Laboratorium Teknologi Biokimia Zulfira, Agustina, Ambar, Imel, Khozin, Rian, Mas-Mas PMDSU serta angkatan LJ Genap 2014 yang telah memberikan saran, motivasi, serta ilmu yang tidak putus-putusnya kepada kami.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan laporan pra desain pabrik ini.

Kami menyadari bahwa masih banyak hal yang perlu diperbaiki dalam tugas ini, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Januari 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah/Hipotesa	2
I.3 Tujuan Dan Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 <i>Fuel cells</i>	4
II.2 <i>Microbial fuel cells (MFCs)</i>	4
II.3 Mikroba yang digunakan dalam <i>MFCs</i>	13
II.4 Pengembangan <i>MFCs</i>	16
II.5 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Variabel Penelitian	23
III.2 Bahan Penelitian	23
III.3 Alat Penelitian.....	24
III.4 Metode Penelitian	24
III.5 Tempat Pelaksanaan.....	29
III.6 Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Hasil Penelitian	31
IV.2 Pembahasan Penelitian.....	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	49
V.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	xii
DAFTAR NOTASI	xvi
APPENDIKS	xvii

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Diagram <i>MFCs</i> yang terdiri anoda sebagai akseptor elektron untuk oksidasi mikroba secara anaerobik.....	8
Gambar II.2	Skema diagram dua elektroda yang dilengkapi dengan PEM	10
Gambar II.3	Contoh dari <i>MFCs</i> memproduksi listrik dengan mekanika transfer listrik menuju ke anoda yang berbeda.....	11
Gambar II.4	Deret Volta.....	12
Gambar II.5	Reticulated Vitreous Carbon (RVC) Dengan ukuran pori yang berbeda a)10 mesh (b) 20 mesh dan (c) 45 mesh	18
Gambar II.6	(a) Graphite Plate atau batang (b) Lembaran Karbon	18
Gambar III.1	Tahapan pelapisan material bahan 100 mesh dengan <i>carbon paste</i>	26
Gambar III.2	Penanaman elektroda pada area sampel.....	26
Gambar III.3	Pengukuran potensi listrik menggunakan multimeter.....	27
Gambar III.4	Alat Analisa dan Pengukuran : (a) <i>Soil Tester</i> ; (b) TDS meter; (c) Mikroskop dan <i>Haemacytometer</i>	28
Gambar III.5	Area penanaman elektroda : (a) ITS ; (b) Mangrove Wonorejo ;(c) Tambak Wedi ; (d) Area Bakau Dekat Jembatan Suramadu Kenjeran, Surabaya	29
Gambar IV.1	Perbandingan antara tegangan listrik dan waktu di area sampel	35
Gambar IV.2	Perbandingan antara arus dan waktu di area penanaman elektroda	36
Gambar IV.3	Perbandingan antara arus dan waktu di area penanaman elektroda	37

Gambar IV.4	Perbandingan antara tegangan dan waktu pada elektroda Ti dan Ni.....	41
Gambar IV.5	Perbandingan antara tegangan dan waktu dengan penambahan nutrisi pada elektroda Ti 100 mesh	43
Gambar IV.6	Perbandingan antara tegangan dan waktu dengan penambahan nutrisi pada elektroda Ni 100 Mesh	44
Gambar IV.7	Jumlah bakteri pada elektroda Ti (Titanium).....	45
Gambar IV.8	Jumlah bakteri pada elektroda Nikel (Nikel).....	46
Gambar IV.9	Perbandingan antara tegangan listrik dan waktu	47

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Perbandingan Kondisi Sistem <i>Fuel Cell</i> dengan MFC.....	13
Tabel II.2	Bakteri yang digunakan di <i>MFCs</i>	14
Tabel II.3	Substrat yang digunakan dalam <i>microbial fuel cells (MFCs)</i>	15
Tabel II.4	Bahan material yang digunakan untuk menyusun <i>MFCs</i>	16
Tabel II.5	Elektroda yang digunakan pada <i>MFCs</i>	17
Tabel IV.1	Hasil penelitian data pH dan salinitas pada area sampel.....	31
Tabel IV.2	Hasil penelitian data TDS, Suhu dan Jumlah Bakteri pada area sampel.....	31
Tabel IV.3	Hasil pengukuran data tegangan listrik dan arus listrik pada area area 1 dan area 2.....	32
Tabel IV.4	Hasil pengukuran data tegangan listrik dan arus listrik pada area area 3 dan area 4.....	32
Tabel IV.5	Hasil pengukuran elektroda Ti 100 mesh Pada nutrient MM dan MM+Y	33
Tabel IV.6	Hasil pengukuran elektroda Ti 100 mesh Pada nutrient MSM dan MSM+Y.....	33
Tabel IV.7	Hasil pengukuran elektroda Ni 100 mesh Pada nutrient MM dan MM+Y	34
Tabel IV.8	Hasil pengukuran elektroda Ni 100 mesh Pada nutrient MSM dan MSM+Y.....	34

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Bakteri telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Salah satunya bakteri dimanfaatkan sebagai katalis untuk menghasilkan listrik seiring dengan kebutuhan energi yang semakin meningkat, dimana sumber energi berbahan baku fosil semakin menipis. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi alternatif dan bersifat terus menerus. Teknologi yang banyak dikembangkan salah satunya adalah *bio electrochemical systems* (BESs). *Bio electrochemical systems* (BESs) merupakan sebuah sistem dimana mikroorganisme berinteraksi dengan elektrode menggunakan elektron yang dilepas atau disuplai (elektron transfer) melalui sirkuit elektrik. Tipe BESs yang paling banyak digunakan adalah *microbial fuel cells* (MFCs) (Rabaey dkk, 2007).

Biofuel cells adalah peralatan yang mampu mengubah langsung kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia yang melibatkan biokimia. Tidak seperti *chemical fuel cells*, *biofuel cells* beroperasi pada kondisi ruangan, yaitu temperatur dan tekanan *ambient*. *Biofuel cells* juga menggunakan elektrolit netral dan menggunakan enzim atau mikroorganisme sebagai katalis. *Microbial fuel cells* (MFCs) menggunakan mikroorganisme daripada enzim untuk menghasilkan listrik dari bahan organik. MFCs memberikan keuntungan yakni lebih tahan terhadap keracunan, hilangnya aktivitas pada kondisi operasi normal dan dapat mengoksidasi bahan organik lebih menyeluruh (Catal dkk, 2008).

Microbial fuel cells (MFCs) adalah perangkat yang menggunakan aktif mikroorganisme (bakteri) sebagai biokatalis di anoda dengan proses anaerobik untuk menghasilkan biolistrik. Elektron diproduksi oleh bakteri dari substrat yang ditransfer ke anoda dan ke katoda yang dihubungkan dengan bahan konduksi yang mengandung sebuah resistor. MFCs dibuat dengan

menggunakan berbagai bahan dengan semakin berkembangnya waktu. Sistem ini beroperasi dibawah kondisi seperti temperatur, pH, penerima elektron, luas permukaan elektroda, ukuran reaktor dan waktu operasi (Logan dkk, 2006).

Lumpur diyakini mengandung banyak komponen organik. Tanah dan sedimen berasal dari tumbuhan dan hewan, bakteri mati dan plankton, kotoran dan bahan organik antropogenik. Pada umumnya kandungan sedimen organik karbon sebesar 0,4 - 2,2% berat. Dengan demikian, kandungan sedimen organik karbon terdapat sumber tenaga listrik yang cukup di beberapa lokasi. Bahan-bahan ini bisa dikonsumsi oleh exoelectrogens dan secara langsung mengangkut elektron luar sel (Rahimnejad dkk, 2015).

Selain itu, pemanfaatan lumpur yang bernilai ekonomis (murah) bisa dipertimbangkan sebagai alternatif sumber energi karena keberadaannya yang sangat melimpah dan mudah ditemui. Mikroorganisme yang dapat menghasilkan arus listrik dikenal sebagai *electricigens*, yaitu dapat mengoksidasi bahan – bahan atau komponen organik secara sempurna menjadi karbondioksida dengan elektroda sebagai penerima elektron dan mampu membantu untuk menghasilkan energi listrik dari terjadinya elektron transfer (Reddy dkk, 2010). Penggunaan lumpur dengan menggunakan *MFCs* merupakan terobosan yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin bertambah.

Berdasarkan pertimbangan tersebut maka dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan lumpur sebagai sumber alternatif energi listrik dengan menggunakan *microbial fuel cells (MFCs)*.

I.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang di atas, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan lumpur baik lumpur yang berasal dari tanah, air payau serta air laut.

2. Bagaimana kemampuan bahan material elektroda dalam menghantarkan energi listrik
3. Bagaimana pengaruh penambahan nutrient terhadap energi listrik yang dihasilkan

I.3 Tujuan Dan Manfaat

Pada penelitian ini mempunyai tujuan yaitu :

1. Mengukur potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan lumpur baik lumpur yang berasal dari tanah, air payau serta air laut.
2. Mengetahui kemampuan bahan material elektroda dalam menghantarkan energi listrik
3. Mengetahui pengaruh penambahan nutrient terhadap energi listrik yang dihasilkan

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Fuel Cell

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

Pada *fuel cell* berbahan bakar hidrogen, ketika molekul hidrogen melakukan kontak dengan anoda, molekul tersebut terpisah menjadi ion hidrogen dan elektron. Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju katoda dan menimbulkan aliran listrik. Ion hidrogen melewati elektrolit (membran) menuju katoda, lalu bergabung dengan elektron dan oksigen dari udara kemudian membentuk molekul air (Zahara, 2010).

II.2 Microbial Fuel Cells (MFCs)

Penggunaan bahan bakar fosil khususnya minyak dan gas untuk semua kebutuhan manusia dalam beberapa tahun terakhir semakin banyak yang mengakibatkan krisis energi global. Bioenergi terbarukan dipandang sebagai salah satu cara untuk mengurangi krisis pemanasan global. Listrik yang diproduksi dengan menggunakan mikroba yakni *microbial fuel cells (MFCs)* adalah perkembangan terbaru dalam biologi energi. *Microbial fuel cells* mengedepankan merupakan kemungkinan untuk mendapatkan listrik dari sampah organik dan biomassa terbarukan. Sumber ini menarik karena bahan yang dipakai adalah netral karbon (Reddy dkk, 2010).

Microbial electrochemical system (MES), termasuk *microbial fuel cells (MFCs)*, *microbial electrolysis cells (MECs)*,

microbial reverse-electrodialysis cells dan *microbial electrosynthesis (MES)* adalah cara untuk mendapatkan energi dari bahan limbah organik dan merubah limbah menjadi bahan kimia. *Bacteria extracellular electron transfer (EET)* dimana mempelajari tentang pertukaran electron diantara bakteri *exoelectrogenic* dan elektroda menentukan efisiensi dari MES. Efisiensi EET yang rendah akan mengurangi aplikasi dari MES. Biofilm aktif elektrokimia yakni tempat kumpulan mikroba di elektroda sangat menentukan didalam bakteri EET. Biofilm dapat memudahkan antara bakteri dan elektroda *superior* untuk menuju bakteri *planktonic*, mendapatkan densitas sel local lebih tinggi, potensial konsentrasi electron local, jarak EET semakin pendek dan terkait dengan transfer electron secara langsung menuju *c-type cytochromes*. Berbagai bahan elektroda telah banyak diteliti untuk menaikkan formasi biofilm, termasuk *biocompatible* luas area dan tiga dimensi elektroda *macroporous* dengan meningkatkan luas area. Saat ini bahan graphene sedang dipelajari untuk menjadi anoda di *MFCs* agar meningkatkan kinerjanya dengan mengambil keuntungan dari sifat graphene yang unik termasuk sifat konduktifitas yang bagus, luas area yang sangat luas, mekanika *robustness* dan fleksibilitas, *chemichal inertness* dan *biocompatibility* (Yong, 2014).

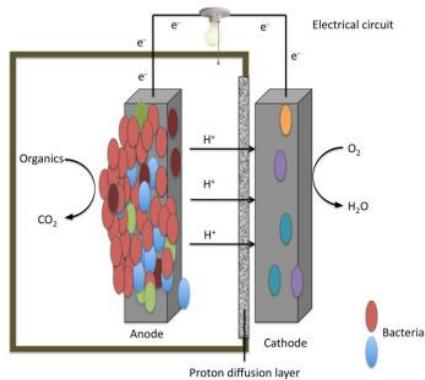
Microbial fuel cells yang juga dikenal sebagai *biological fuel cell* merupakan rangkaian peralatan yang dapat menggunakan mikroba untuk menghasilkan listrik. *MFCs* mempunyai dua elektroda dan area yang dipisahkan elektroda. Beberapa tipe bakteri tanah dapat membantu menghasilkan listrik biasa dikenal sebagai bakteri *electricigens* (elektrogenik), seperti *Shewanella species* yang dapat ditemukan di hampir semua tanah dan *Geobacter species* yang biasa hidup di lapisan tanah bagian dalam atau bahkan di bawah lautan. Bakteri jenis ini memakan komponen-komponen yang ada di tanah seperti nutrien-nutrien mikroskopik dan glukosa kemudian memproduksi elektron yang dikeluarkan dan dikembalikan lagi ke tanah.

Berdasarkan kompartemennya terdapat tiga jenis MFC, yaitu *dual chamber* MFC, *single chamber* MFC, dan *stack* MFC. *Dual chamber*. MFC pada intinya memiliki dua ruang yang dipisahkan dengan *proton exchange membrane* (PEM) atau jembatan garam. Ruang anoda merupakan ruangan yang berisi substrat dan bakteri, sementara ruang katoda berisi larutan elektrolit (Hoogers, 2002).

Aplikasi *MFCs* sangat luas termasuk dalam sumber listrik, produksi bio-hydrogen, perawatan air limbah, bio sensor dan bioremediasi. *MFCs* memiliki kemampuan untuk merubah biomassa menjadi listrik pada temperatur rendah dan konsentrasi substrat. Sistem pertukaran proton bisa mempengaruhi sistem resistansi dalam *MFCs* dan kehilangan konsentrasi polarisasi dan dapat mempengaruhi hasil *power* dari *MFCs* (Reddy, 2010).

Elektron merupakan partikel subatomik yang bermuatan negatif dimana elektron ini digunakan untuk menghasilkan listrik. Elektron dihasilkan dari metabolisme secara natural yang terjadi di mikroorganisme. *MFCs* menghasilkan arus listrik melalui oksidasi bahan organik.

Diagram *MFCs* yang berisi sebuah anoda grafit sebagai penerima elektron untuk oksidasi mikroba anaerobik dari senyawa organik yang dipisahkan oleh lapisan difusi proton dari grafit katoda aerobik. Oksigen dikombinasikan dengan elektron dan proton pada katoda yang ada di air. Reduksi oksigen di katoda dapat berupa abiotik atau proses biotik, hal tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.1 dibawah ini (Ashley dkk, 2010).



Gambar II.1. Diagram *MFCs* yang terdiri anoda sebagai akseptor elektron untuk oksidasi mikroba secara anaerobik (Ashley dkk, 2010)

Prinsip kerja MFC bergantung pada pembelahan semireactions dari oksidasi dan reduksi yang membentuk reaksi redoks khas, hal ini terjadi dalam dua kompartemen yang berbeda. Kompartemen anodik, oksidasi substrat katalis *exoelectrogen* bakteri dan transfer elektron, yang dibebaskan dari *respiratory* rantai seluler, untuk logam elektroda yaitu, anoda (Rozendal, 2008). Elektron kemudian mengalir melalui sirkuit listrik eksternal terhadap kompartemen katodik, di mana mereka mengurangi akseptor terminal elektron biasanya oksigen. Untuk setiap elektron dirilis pada anoda H^+ ion harus mencapai katoda melalui elektrolit yang menjenuhkan sel, untuk internal menutup sirkuit dan membangun kembali netralitas listrik. Oleh karena itu elektron dan proton bereaksi dengan oksigen pada katoda, menghasilkan H_2O (Logan, 2006).

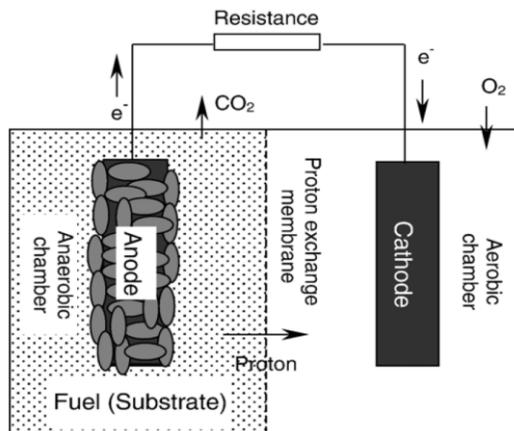
Arus maksimum yang bisa dihasilkan oleh MFC tergantung pada tingkat aktual biodegradasi substrat, sedangkan tegangan sel teoritis maksimum atau disebut electromotive force (emf) tergantung pada energi bebas Gibbs dari reaksi keseluruhan dan dapat dihitung sebagai perbedaan antara potensial reduksi standar katodik oksidan (oksigen) dan anoda substrat yang dipilih

(Rabaey dan Vestraete, 2005). Namun, emf sel adalah nilai termodinamika yang tidak memperhitungkan kerugian internal (Logan, 2006). Nilai-nilai eksperimental yang diukur selalu lebih rendah dari yang teoritis.

Pada sistem *dual chamber MFCs*, PEM dibutuhkan untuk menghindari difusi asektor electron yang beracun seperti ferisianida ke dalam ruang katoda sekaligus untuk memfasilitasi transfer proton atau kation lainnya keruang katoda. Sementara pada *single chamber MFCs*, membrane berfungsi untuk menghalangi difusi oksigen. Membran yang biasa digunakan adalah Nafion dan Ultrex CMI-7000. Hal ini dikarenakan konduktivitas proton yang tinggi serta kestabilan mekanis dan termal dari membrane tersebut. Harga membrane Nafion yang mahal membuat beberapa peneliti mencari alternatif yang lebih murah. Beberapa jenis *low-cost* membrane telah dicoba seperti tanah liat (Behera dkk, 2010). MFCs tanpa membrane merupakan salah satu alternatif untuk meminimalisir biaya. Sistem membrane yang mahal dan rumit bisa dihindari dengan memanfaatkan perkembangan biofilm yang terjadi di permukaan katoda. Biofilm merupakan sebuah populasi bakteri yang bisa berfungsi sebagai membrane untuk meminimalisir difusi oksigen ke anoda. Densitas daya yang lebih tinggi dapat diperoleh pada sistem MFCs tanpa membrane, karena kemampuan sistem dalam menurunkan hambatan internal.

Microbial fuel cells (MFCs) merubah bahan organik menjadi energi (listrik atau hydrogen) menggunakan mikroorganismenya sebagai katalis. Pada umumnya bakteri yang digunakan pada *MFCs* adalah untuk menghasilkan listrik dan sementara untuk proses biodegradasi dari bahan organik atau limbah. Gambar 2.2 menunjukkan diagram skematik dari *MFCs* untuk memproduksi listrik. Di alat *MFCs* ini terjadi metabolisme substrate organik oleh mikroorganismenya dan secara ekstraselluler terjadi transfer elektron ke permukaan elektrode. Oksidasi dari material organik melepaskan elektron dan proton dari substrat yang teroksidasi. Elektron yang ditransfer ke anoda dan kemudian

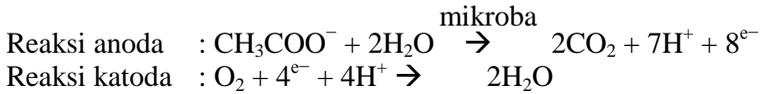
ke katoda melalui sebuah jaringan elektrik. Proton berpindah ke katoda dan bergabung dengan elektron dan katolite (oksigen) yang berkurang pada permukaan katoda. Aliran listrik ini dihasilkan seperti sebuah *chemical fuel cell*, tetapi aktifitas mikroba yang digunakan sebagai katalis di permukaan anoda. Secara umum, katalis dapat meningkatkan kecepatan reaksi tanpa merubah atau menerima energi dari reaksi yang dikatalisasi. Mikroba di *MFCs* bisa memperoleh semua karbon dan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan selular dari oksidasi bahan organik kompleks (Reddy dkk, 2010).



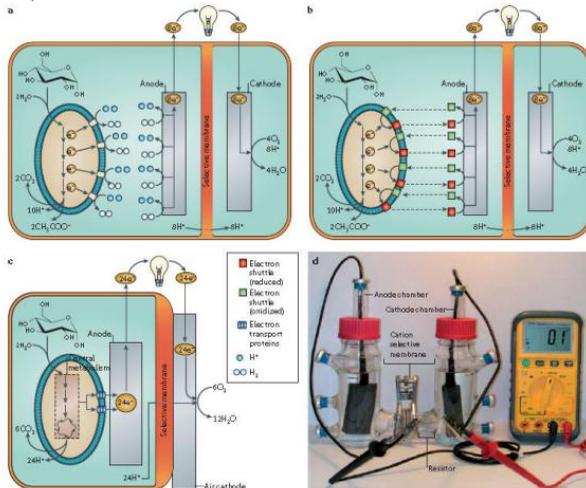
Gambar II.2. Skema diagram dua elektroda yang dilengkapi dengan PEM (Reddy dkk, 2010)

Mikroba di *chamber* anoda mengoksidasi substrat dan menghasilkan elektron dan proton di proses. Karbondioksida dikeluarkan sebagai produk oksidasi. Tetapi tidak ada emisi karbon bersih karena karbondioksida di *renewable biomass* berasal dari atmosfer ketika proses fotosintesis. Setelah melewati *proton exchange membrane* (PEM) atau jembatan garam, proton masuk ke *chamber* katoda, dimana mereka menggabungkan dengan oksigen menjadi air (H_2O) (Reddy dkk, 2010). Mikroba di *chamber* anoda memaksa elektron dan proton saat proses

disimilasi dengan mengoksidasi substrat - substrat organik. Misalkan substratnya berupa asetat, maka reaksi – reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Untuk mengkonversi bahan organik secara efektif menjadi listrik, peran antara bakteri *consortium* dalam proses degradasi sangat diperlukan dengan pengecualian bahwa anoda berfungsi sebagai penerima elektron terakhir. Pada Gambar II.3 dapat dilihat contoh dari *MFCs* memproduksi listrik dengan mekanika transfer listrik menuju ke anoda yang berbeda. Pada (a) *MFCs* secara tidak langsung (b) *MFCs mediator-driven* (c) oksidasi glukosa menjadi karbon dengan transfer electron langsung ke permukaan elektroda (d) *MFCs* dengan dua *chamber* yang memproduksi listrik melalui transfer elektron ke anoda (Reddy dkk, 2010).



Gambar II.3. Contoh dari *MFCs* memproduksi listrik dengan mekanika transfer listrik menuju ke anoda yang berbeda (Reddy dkk, 2010)

Didalam sel volta, anoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi reduksi dan anoda disebut sebagai elektroda positif. Sedangkan katoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi oksidasi, dan didalam sel volta katoda disebut sebagai elektroda negatif (Silberberg dan Amateis, 2011). Luigi Galvani (1780) dan Alessandro Volta (1800) telah menemukan terbentuknya arus listrik dari reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi merupakan reaksi redoks (reduksi dan oksidasi) dan alat ini disebut deret volta.

Li	K	Ba	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Cr	Fe
Ni	Sn	Pb	H	Cu	Hg	Ag	Pt	Au	

Gambar II.4. Deret Volta (Artadi, 2007)

Gambar II.4 menunjukkan deret volta, dimana pada deret volta, unsur logam dengan potensial elektrode lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektrode yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron) dan reduktor yang semakin kuat (mudah mengalami oksidasi).

Dalam mempertimbangkan pemilihan bahan elektroda terhadap antara lain stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektivitas produk yang akan terbentuk, konduktivitas listrik, ketahanan dan harga faktor, serta kesesuaian dengan desain sel atau sistem (Artadi, 2007).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis yaitu kerapatan arus listrik, waktu, tegangan, kadar keasaman (pH), ketebalan plat dan jarak antar elektroda (Wiharti dkk, 2014). Perbandingan selengkapnya antara MFC dengan *fuel cell* dapat dilihat pada Tabel II.1 berikut .

Tabel II.1 Perbandingan Kondisi Sistem *Fuel Cell* dengan MFC

Kondisi Operasi	<i>Fuel Cell</i>	Microbial <i>Fuel Cell</i>
Katalis	Logam mulia	Mikroorganisme/enzim
pH	Larutan asam (pH<1)	Larutan netral (pH 7 – 9)
Temperatur	>200°C	22 - 25°C
Elektrolit	Asam fosfat	Larutan fosfat
Kapasitas	Tinggi	Rendah
Tipe bahan bakar	Gas alam	Karbohidrat dan hidrokarbon

II.3 Mikroba yang digunakan dalam MFCs

Bakteri yang telah digunakan para peneliti dalam sistem MFCs adalah *Shewanella putrefaciens*, *Geobacteraceae sulferreducens*, *Geobacter metallireducens* dan *Rhodospirillum rubrum* (Du dkk, 2007). Selain itu salah satu bakteri yang juga dapat menghasilkan hidrogen adalah *Escherichia coli* atau *E. coli*.

Banyak mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mentransfer elektron yang dihasilkan dari metabolisme kandungan organik ke anoda seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.2 beserta substratnya (Reddy dkk, 2010).

Tabel II.2. Bakteri yang digunakan di MFCs

Microba	Substrat	Aplikasi
<i>Actinobacillus succinogenes</i>	Glucose	<i>Neutral red</i> atau <i>thionin</i> sebagai mediator elektron
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Acetate	Mediator-less MFCs
<i>Alcaligenes faecalis</i> , <i>Enterococcus</i>	Glucose	<i>Self-mediate</i> konsorsium yang diisolasi dari MFCs dengan level maksimum of 4,31 W m ⁻² .
<i>gallinarum</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Starch, glucose,	Bakteria fermentasi
<i>Clostridium beijerinckii</i>	Starch, glucose,lactate,	Bakteria fermentasi

	molasses	
<i>Clostridium butyricum</i>	Starch, glucose, lactate, molasses	<i>Sulphate/sulphide</i> sebagai mediator
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	Sucrose	Komplek <i>ferric chelate</i> sebagai mediator
<i>Erwinia dissolven</i>	Glucose	Komplek <i>ferric chelate</i> sebagai mediator
<i>Escherichia coli</i>	Glucose sucrose	Mediators seperti methylene blue
<i>Geobacter metallireducens</i>	Acetate	Mediator-less <i>MFCs</i>
<i>Geobacter sulfurreducens</i>	Acetate	Mediator-less <i>MFCs</i>
<i>Gluconobacter oxydans</i>	Glucose	Mediator (<i>HNQ</i> , <i>resazurin</i> atau <i>thionine</i>)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Glucose	<i>HNQ</i> sebagai mediator <i>biomineralized manganese</i> sebagai penerima elektron
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Glucose	Komplek <i>ferric chelate</i> sebagai mediator
<i>Proteus mirabilis</i>	Glucose	<i>Thionin</i> sebagai mediator
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Glucose	<i>Pyocyanin</i> dan <i>phenazine-1-carboxamide</i> sebagai mediator
<i>Rhodofex ferrireducens</i>	Glucose, xylose, sucrose, altose	<i>Mediator-less MFCs</i>
<i>Shewanella oneidensis</i>	Lactate	<i>Anthraquinone-2,6-disulfonate</i> (AQDS) sebagai mediator
<i>Shewanella putrefaciens</i>	Lactate, pyruvate, acetate, glucose	<i>Mediator-less MFCs</i> tetapi menemani mediator elektron seperti Mn(IV) atau NR menjadi anoda yang meningkatkan produksi listrik
<i>Streptococcus lactis</i>	Glucose	Komplek <i>ferric chelate</i> sebagai mediator

Didalam *MFCs* substrat menjadi factor biological yang sangat penting dalam mempengaruhi pembangkit listrik. Berbagai macam substrat dari komponen murni hingga campuran yang kompleks bahan organik bisa digunakan didalam *MFCs* untuk produksi listrik. Pada Tabel II.3 ditampilkan daftar substrat yang telah digunakan dalam *MFCs* (Deepak Pant, 2010).

Tabel II.3 Substrat yang digunakan dalam *microbial fuel cells* (*MFCs*)

Jenis Substrat	Konsentrasi	Source Inoculum	Tipe <i>MFCs</i>	Density (mA/cm ²)
Asetat	1 g/L	Bakteri Pre-acclimated dari <i>MFC</i>	Cube shaped one-chamber <i>MFC</i> dengan anoda graphite fiber brush (7170 m ² /m ³ brush volume)	0,8
Partikel Cellulosa	4 g/L	Kultur Murni dari <i>Enterobacter cloacae</i>	U-tube <i>MFC</i> dengan anoda carbon cloth (1,13 cm ²) dan carbon fibers sebagai katoda	0,02
Glucose	6.7 mM	Kultur bakteri campuran pada <i>sodium acetate</i> dalam satu tahun (<i>Rhodococcus and Paracoccus</i>)	<i>One-chamber air-cathode MFC</i> (12 mL) dengan <i>nonwet proofed carbon cloth</i> sebagai anoda (2 cm ²) dan <i>wet proofed carbon cloth</i> sebagai katoda (7 cm ²)	0,70
Sukrosa	2674 mg/L	Lumpur Anaerobik dari Tangki <i>Septic</i>	<i>Two-chambered mediator-less MFC</i> dengan stainless steel mesh sebagai (213,29 cm ²) dan katoda (176,45 cm ²); KMnO ₄ (0,2 g/L) sebagai katolit	0,19
Air Limbah Brewery	2240 mg/L	Air Limbah <i>Brewery</i>	<i>One-chamber air-cathode MFC</i> dengan <i>non-wet proofed carbon cloth</i> sebagai anoda (7 cm ²) and <i>wet proofed carbon cloth</i> mengandung Pt sebagai katoda	0,2

Penol	400 mg/L	campuran lumpur aktif aerobik dan lumpur anaerobik (1:1, v/v)	<i>Two-chambered MFC</i> dengan katoda <i>aqueous air</i> , carbon paper electrode (25cm ²)	0,1
-------	----------	---	---	-----

II.4 Pengembangan *MFCs*

Peralatan *MFCs* terdiri dari *chamber* anoda dan katoda dipisahkan oleh proton exchange membrane (PEM). Sedangkan komponen dan material penyusun *MFCs* (Reddy dkk, 2010), seperti Tabel II.4.

Tabel II.4 Bahan material yang digunakan untuk menyusun *MFCs*

Jenis	Bahan Material	Keterangan
Anoda	<i>Graphite, graphite felt, carbon paper, carbon-cloth, Pt, Pt black, RVC</i>	Penting
Katoda	<i>Graphite, graphite felt, carbon paper, carbon-cloth, Pt, Pt black, RVC</i>	Penting
Anoda Chamber	<i>Glass, polycarbonate, Plexiglas</i>	Penting
Katoda Chamber	<i>Glass, polycarbonate, Plexiglas</i>	Pilihan
<i>Proton Exchange System</i>	<i>Proton exchange membrane: Nafion, Ultrex, polyethylene.poly, (styrene-codivinylnbenzene); salt bridge, porcelain septum, atau solely electrolyte</i>	Penting
<i>Electrode catalyst</i>	<i>Pt, Pt black, MnO₂, Fe³⁺, polyaniline, mediator elektron immobilized pada anoda</i>	Pilihan

Persyaratan untuk katalis sangat berbeda jika bahan tersebut digunakan menjadi katoda. Hasil yang berbeda didapat

menggunakan bahan heterogen seperti katoda yang dapat dilihat pada Tabel II.5 (Rahimnejad dkk, 2012)

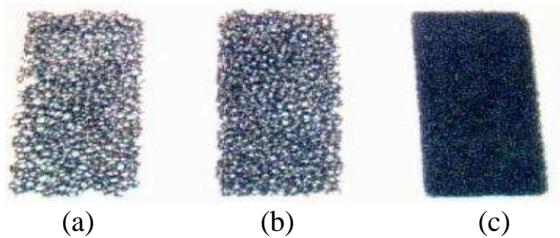
Tabel II.5. Elektroda yang digunakan pada *MFCs*

Katoda	<i>Power density</i> Maksimal	<i>current density</i> Maksimal	<i>Voltage</i> Maksimal
Activated carbon fiber felt (ACFF)	315 mW/m ² (0,7 W/m ³)	1,67 * 10 ³ mA/m ²	679 mV
Air-cathode with graphite	283 mW/m ²	1210 mA/m ²	440 mV
Carbon felt	77 mW/m ² (0,2 W/m ³)	6 * 10 ³ mA/m ²	575 mV
Plain carbon	67 mW/m ² (0,1 W/m ³)	1,5 mA/m ²	598 mV
Pt-coated carbon paper	0,3 W/m ³	4,69 mA/m ²	644 mV
Tubular ACFF	784 mW/m ²	3,17 A/m ²	716 mV
ACFF granules (1 cm)	667 W/m ³	3,34 A/m ²	658 mV
Biocathode	19,53 W/m ³	41,78 A/m ³	432 mV
Graphite felt	539 mW/m ²	3145 mA/m ²	742,3 mV
Parallel sheets of carbon paper secured by carbon fiber coated with pt	7,29 W/m ³	13,16 A/m ³	553 mV
Air-cathode with Carbon cloth	50 W/m ³	363 A/m ³	710 mV

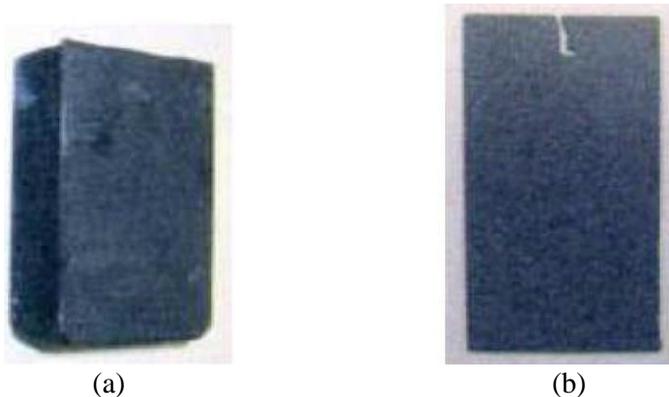
Material anoda harus bersifat konduktif, *biocompatible* dan stabil secara kimiawi di dalam larutan reaktor. Logam anoda terdiri dari mesh non korosif dan tidak toxic. Material elektroda yang handal adalah karbon, nikel dan titanium yang bisa dibuat seperti plate compact grafit, balok, granul dan karbon glassy (Logan dkk, 2006).

Pada ruang katoda, bahan yang dapat digunakan sebagai elektroda dapat berupa karbon biasa. Karbon yang digunakan

dapat berupa plat grafit namun dapat juga dilengkapi dengan katalis seperti platinum (Liu dan Logan, 2004). Kalium permanganat (KMnO_4) digunakan sebagai larutan elektrolit karena memiliki potensial reduksi standar yang besar. Di antara ruang anoda dan katoda terdapat jembatan garam. Dengan adanya jembatan garam terjadi aliran elektron yang kontinu melalui kawat pada rangkaian luar dan aliran ion-ion melalui larutan sebagai akibat dari redoks yang spontan dan terjadi pada kedua elektroda. Syarat jembatan garam adalah transfer anion dan kation hampir sama dan tidak mengganggu larutan analit (Bailey, 1976).



Gambar II.5. *Reticulated Vitreous Carbon (RVC)* dengan ukuran pori yang berbeda (a) 10 mesh, (b) 20 mesh dan (c) 45 mesh (Singh dkk, 2010)



Gambar II.6. (a) Graphite Plate atau batang (b) Lembaran Karbon (Singh dkk, 20)

Oksigen adalah penerima electron paling baik untuk *MFCs* dikarenakan tingginya potensi oksidasi, ketersediaan, biaya yang rendah, keberlanjutan, dan kurangnya produk limbah kimia. Pemilihan bahan katoda sangat mempengaruhi kinerja, dan bervariasi berdasarkan pada aplikasinya. Karena kinetik yang lambat pada reduksi oksigen di *plain* karbon dan menyebabkan *overpotential* yang besar, maka penggunaan katoda yang seperti ini dibatasi penggunaannya pada bahan nonkatalis ke dalam sistem yang lambat. Pada air laut, reduksi oksigen pada katoda karbon dikarenakan bantuan dari mikroorganisme. Bantuan mikroorganisme untuk reduksi juga sudah diteliti menggunakan stainless steel katoda dimana menunjukkan reduksi oksigen yang terus menerus ketika dibantu oleh biofilm bakteri (Logan dkk, 2006).

II.5 Penelitian Terdahulu

Konsep awal *MFCs* digunakan sebagai biokatalis yang berpotensi menghasilkan energi listrik telah dikenalkan oleh Potter di tahun 1910, dimana bakteri yang bisa menghasilkan listrik adalah *Escherichia coli* and *Saccharomyces* dengan menggunakan elektrode platinum (Ieropolos, 2005). Namun, beberapa dekade terakhir *microbial fuel cells (MFCs)* secara intensif diteliti oleh banyak ilmuwan karena menawarkan sebuah solusi yang simultan untuk mengatasi masalah lingkungan dan untuk menghasilkan energi (Wang dkk, 2015). Secara eksperimen, sistem ini dengan menggunakan *open circuit voltage* mampu menghasilkan energi listrik sekitar 0,7 – 0,8 V (Du dkk, 2007). Selain itu, berdasarkan publikasi yang ditulis oleh Logan dan Regan, 2006, menyatakan bahwa bakteri yang berpotensi mampu menghasilkan listrik beragam, yang didominasi oleh komunitas bakteri di sedimen yang terdiri α , β , γ atau δ – *Proteobacteria*, *Firmicutes* yang didefinisikan sebagai *exoelectrogens*, yaitu bakteri yang mampu mentransfer elektron secara *exocellular*.

Beberapa tahun ini *MFCs* menjadi sumber baru bagi bioenergi dan telah banyak penelitian tentang pengembangan

MFCs termasuk informasi pada berbagai terminologi dan ukuran yang digunakan pada sistem (Logan dkk, 2006), keadaan dari seni *MFCs* dan pengembangan teknologi *MFCs* (Du dkk,2007), perbandingan *MFCs* menggunakan conventional anaerobic digestion (Pham dkk,2006), peralatan BESs (Pham, 2009), batasan katoda pada *MFCs* (Rismani-Yasdi dkk, 2008). Mekanisme transfer elektroda external dari dua bakteri utama didalam ilmu BES yakni *Geobacter sulfurreducens* dan *Shewanella oneidensis* telah dijabarkan sangat detail oleh Debabov tahun 2008 (Deepak Pant, 2010)

Penelitian lainnya dilakukan pada tahun 2008 tentang pengaruh pertumbuhan biofilm anodik dan luas cakupan pada permukaan anoda dari satu *Chambered mediatorless microbial fuel cells (MFCs)* dievaluasi untuk *bioelectricity* menggunakan limbah sintetik dan air limbah kimia sebagai substrat dan campuran anaerobik *consortium* sebagai biokatalis. Tiga *MFCs* (elektroda grafit polos, katoda udara, membran *nafion*) yang dioperasikan secara terpisah dengan cakupan variabel *biofilm* [control; cakupan permukaan anoda (ASC), 0%], biofilm [PDB; ASC ~44%; 90 hari dan FDB; ASC ~96%; 180 hari] dalam kondisi *acidophilic* (pH 6) pada suhu kamar. Studi ini menggambarkan efektifitas pembentukan *biofilm* anodik dalam meningkatkan transfer elektron ekstraselular dengan tidak adanya mediator. Biofilm *MFCs* terbukti memiliki potensi untuk mendukung pertumbuhan bakteri *electrogenic* dengan karakteristik yang kuat dan juga mampu menghasilkan hasil kekuatan yang lebih tinggi bersama dengan degradasi substrat terutama dioperasikan dengan air limbah sebagai substrat (Mohan dkk, 2008). Empat *microbial fuel cells (MFCs)* diinokulasi dengan lumpur anaerobik dan diberi empat substrat yang berbeda selama lebih dari satu tahun. *Coulombic efficiency (CE)* dan daya bervariasi dengan substrat yang berbeda, sedangkan viabilitas bakteri serupa. *Acetate-fed-MFC* menunjukkan CE tertinggi (72,3%), diikuti oleh butirir (43,0%), propionat (36,0%) dan glukosa (15,0%) (Chae dkk, 2009).

Pada tahun 2008 Heijne juga meneliti tentang perbandingan empat bahan *non-porous* yang cocok sebagai bio-anoda pada *microbial fuel cells (MFCs)*. Bahan tersebut adalah *flat graphite*, *roughened graphite*, *Pt-coated titanium*, and *uncoated titanium*. Keempat bahan tersebut ditempatkan pada kondisi yang sama. Dari penelitian tersebut dapat ditunjukkan bahwa terjadi pengurangan luas permukaan bahan dengan urutan *roughened graphite* > *Pt-coated titanium* > *flat graphite* > *uncoated titanium*. *Uncoated titanium* tidak cocok digunakan untuk bahan anoda karena didapatkan *current densities* yang paling rendah. Dan untuk ketiga bahan yang lain, spesifikasi luas permukaan tidak menjadi pedoman penjelasan dari perbedaan *current densities* untuk bahan yang berbeda (Heijne dkk,2008)

Pada tahun 2013 Campo meneliti tentang pengaruh *chemical oxygen demand (COD)* dan suhu *stress-tests* pada *microbial fuel cells (MFCs)*. Variabel suhu *stress-tests* antara 20 dan 40 °C dengan kenaikan bertahap 5 °C. Dari penelitian ini didapatkan bahwa peningkatan eksponensial pada arus yang terjadi (Campo dkk, 2013).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Biokimia, Departemen Teknik Kimia-Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada bulan Juni-Desember 2016.

III.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari

1. Jenis Material Elektroda
Pada penelitian ini digunakan logam Ni dan Ti 100 mesh
2. Jenis Medium
 - a. MM (Minimum Medium)
 - b. MMY (Minimum Medium dengan Yeast)
 - c. MSM (Mineral Salt Medium)
 - d. MSMY (Mineral Salt Medium dengan Yeast)

III.3. Bahan dan Alat

III.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda logam Ti (titanium) 100 mesh, logam Ni (nikel) 100 mesh (Nilaco, Tokyo, Jepang), *Poly(vinylidene fluoride)*, *N-Methyl-2-pyrrolidinone*, *Carbon powder* (KB 600) (Gemmy Industrial Corp, Taiwan), NaOH (Merck), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Merck), aquadest, Na_2HPO_4 (Merck), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck), NH_4NO_3 (Merck), $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Merck), K_2HPO_4 (Merck), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), CaCl_2 (Merck), yeast, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), CaCl_2 (Merck).

III.3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam pengukuran potensi energi listrik adalah multimeter yang dilengkapi dengan rangkaian alat resistor. Sedangkan alat yang dipakai dalam analisa jumlah bakteri yaitu *haemocytometer* dan mikroskop dengan pembesaran 400x. Alat pendukung lainnya yang digunakan meliputi solder, autoclave (Astell Scientific), hot plate (Snidjers), tabung reaksi (Pyrex), gelas ukur (Pyrex), labu ukur (Herma), corong kaca, tabung Sterilisasi (Pyrex), pipet tetes, beaker glass (Pyrex), erlenmeyer (Pyrex), oven (VWR Scientific), spatula, pipet tetes.

III.4 Metode Penelitian

III.4.1 Tahap Pembuatan Media

III.4.1.1 Pembuatan Media Minimum Medium (MM)

1 g NH_4NO_3 ; 1 g KH_2PO_4 ; 1,3 g $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,008 g CaCl_2 ditimbang lalu dilarutkan dalam 1 liter aquadest. Media ditambahkan larutan NaOH 0,5 mol/L hingga mencapai akhir yaitu pH 7. Media yang telah dibuat disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C dan 15 psig selama 15 menit.

III.4.1.2 Pembuatan Media Minimum Medium (MM) Dengan Yeast

1 g NH_4NO_3 ; 1 g KH_2PO_4 ; 1,3 g $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,008 g CaCl_2 ditimbang lalu dilarutkan dalam 1 liter aquadest. Media ditambah dengan 0,1% (*w/v*) dari ekstrak yeast dan glukosa. Media di tambahkan larutan NaOH 0,5 mol/L hingga mencapai akhir yaitu pH 7. Media yang telah dibuat disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C dan 15 psig selama 15 menit.

III.4.1.3 Pembuatan Media Mineral Salt Medium (MSM)

3,6 g Na_2HPO_4 ; 1 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 1,6 g KH_2PO_4 ; 1 g MgSO_4 ; 0,1 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ditimbang lalu dilarutkan dalam 1 liter aquadest. Media ditambahkan larutan NaOH 0,5 mol/L hingga

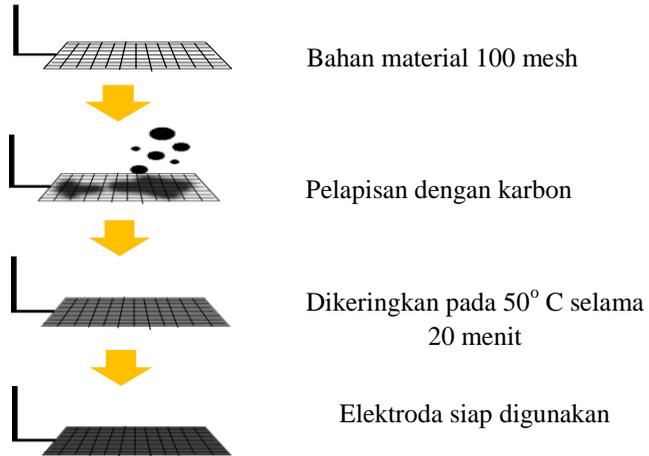
mencapai akhir yaitu pH 7. Media yang telah dibuat disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121⁰C dan 15 psig selama 15 menit.

III.4.1.4 Pembuatan Media Mineral Salt Medium (MSM) Dengan Yeast

3,6 g Na₂HPO₄; 1 g (NH₄)₂SO₄; 1,6 g KH₂PO₄; 1 g MgSO₄; 0,1 g CaCl₂. 2H₂O ditimbang lalu dilarutkan dalam 1 liter aquadest. Media ditambah dengan 0,1% (w/v) dari ekstrak yeast dan glukosa. Media di tambahkan larutan NaOH 0,5 mol/L hingga mencapai akhir yaitu pH 7. Media yang telah dibuat disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121⁰C dan 15 psig selama 15 menit.

III.4.2 Persiapan Elektroda

Logam Ni/Ti 100 mesh di potong dengan ukuran 2 cm x 5 cm dan disayat pada sudut logam agar dapat dihubungkan dengan kabel setelah itu disolder agar kabel dan logam menyatu. Untuk pembuatan *carbon paste*, 0,15 g poly(vinylidene fluoride) ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer lalu ditambahkan 6 ml N-Methyl-2-pyrrolidinone dan campuran tersebut dipanaskan pada water bath selama 1 jam. 0,5 g Carbon powder (KB 600) dimasukkan dan aduk hingga merata. Kedua bagian logam Ni/Ti 100 mesh dilapisi dengan *carbon paste*, setelah itu elektroda dipanaskan ke dalam oven dengan suhu 60 °C selama 15 menit. Ilustrasi persiapan elektroda dapat dilihat pada Gambar III.1.



Gambar III.1 Tahapan pelapisan material bahan 100 mesh dengan carbon paste

III.4.3 Tahap Penanaman Elektroda

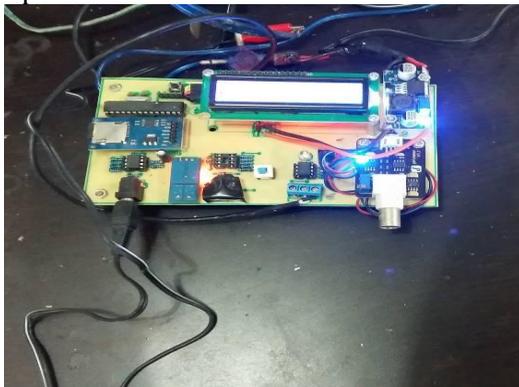
Tanah pada *sampling site* digali sedalam ± 10 cm dari permukaan tanah. Kemudian elektroda (anoda) diletakkan ke dalam lubang dan ditutup kembali dengan tanah. Tahapan pada penanaman elektroda dapat dilihat pada Gambar III.2.



Gambar III.2 Penanaman Elektroda pada area sampel

III.4.4 Tahap Pengukuran Potensi Listrik

Pada Gambar III.3 dapat dilihat alat multimeter yang dilengkapi dengan rangkaian alat resistor disiapkan untuk mengukur tegangan dan arus listrik, alat ini memakai resistor sebesar $1\text{ k}\Omega$. Katoda dan anoda dihubungkan ke multimeter dengan konektor (capit buaya). Nilai tegangan dan arus listrik yang tertera pada multimeter dicatat.



Gambar III.3 Pengukuran Potensi Listrik Menggunakan Multimeter

III.4.5 Tahap Analisa dan Pengukuran

Pada pengukuran suhu menggunakan termometer diletakkan ke dalam lumpur lalu nilai suhu yang tertera pada termometer dicatat. Untuk pengukuran TDS (*Total Dissolved Solid*), mula-mula lumpur diambil dan diendapkan hingga terjadi dua lapisan yaitu lapisan air dan endapan lumpur kemudian alat konduktometer dicelupkan pada lapisan air dan nilai TDS yang tertera pada konduktometer dicatat. Untuk pengukuran salinitas mula-mula ambil lumpur dan endapkan hingga terjadi dua lapisan yaitu lapisan air lumpur dan endapan setelah itu alat *Soil tester* dicelupkan dan nilai salinitas yang tertera dicatat. Pada pengukuran pH mula-mula lumpur diambil dan diendapkan hingga terjadi dua lapisan yaitu lapisan air lumpur dan endapan kemudian pH meter dimasukkan pada lapisan pertama yaitu air

lumpur lalu nilai pH yang tertera pada pH meter dicatat. Untuk analisa jumlah bakteri pertama sampel lumpur diambil dan ditimbang sebanyak 1 gr kemudian lumpur dimasukkan ke erlenmeyer untuk pengenceran 10 mL sebesar 5 sampai 10 kali dengan menggunakan penambahan aquadest. Sampel diambil dengan menggunakan pipet tetes untuk diteteskan diatas permukaan *haemacytometer*. Setelah itu letakkan *haemacytometer* dibawah lensa mikroskop untuk dihitung jumlahnya. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 400X. Peralatan analisa dan pengukuran dapat dilihat pada gambar III.4.



Gambar III.4 Alat Analisa dan Pengukuran : (a) *Soil Tester* ;(b) TDS meter ;(c) Mikroskop dan *Haemacytometer*

III.4.6 Percobaan di Laboratorium

Lumpur ditimbang sebanyak 1 kg dan dimasukkan ke dalam botol setinggi 3 cm dan 5 cm (variabel kedalaman). Elektroda (anoda) diletakkan kedalam botol yang sudah berisi lumpur dan tutup elektroda dengan lumpur sampai mencapai ketinggian total 10 cm. Elektroda dibiarkan tertanam untuk pengukuran tegangan pada variabel waktu yaitu selama 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, 4 minggu dst.

Pada tiap minggu sampel akan diberikan nutrient sebanyak 20 ml. nutrient yang dipakai dalam penelitian ini adalah MM, MM+Yeast, MSM dan MSM+Yeast. Pada tiap

penambahan sampel diaduk agar nutrient dapat tersebar menyeluruh pada sampel lumpur.

III.5 Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di 4 area penanaman elektroda dan Laboratorium Teknologi Biokimia, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS. Empat area penanaman tersebut adalah halaman samping Teknik Kimia FTI-ITS, Mangrove Wonorejo, Tambak Wedi dan Area Bakau Dekat Jembatan Suramadu Kenjeran, Surabaya yang dapat dilihat pada Gambar III.5.



Gambar III.5 Area penanaman elektroda : (a) ITS ;(b) Mangrove Wonorejo ;(c) Tambak Wedi ; (d) Area Bakau Dekat Jembatan Suramadu Kenjeran, Surabaya

Koordinat Lokasi Sampel

ITS = 7°28'16°S 112°79'50°E

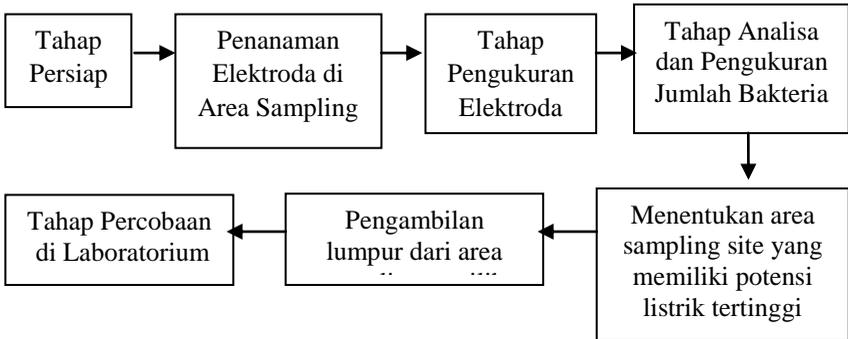
Mangrove Wonorejo = 7°30'91°S 112°81'63°E

Tambak Wedi = 7°19'72°S 112°77'49°E

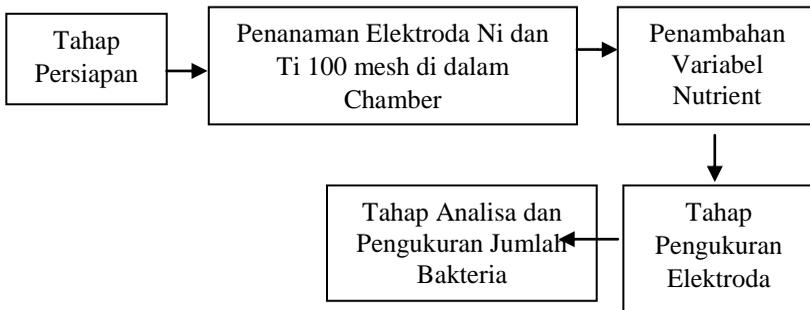
Area Bakau Dekat Jembatan Suramadu = 7°20'72°S 112°77'51°E

III.6 Diagram Alir Penelitian

III.6.1 Menentukan Area Sampling Yang Memiliki Potensi Listrik Tertinggi.



III.6.2 Tahap Percobaan Di Laboratorium



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian

Data pengukuran pada area sampel yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel IV.1, IV.2 dan IV.3 dibawah ini. Dari tabel tersebut dapat dilihat pH, salinitas, TDS, suhu dan jumlah bakteri nilai tegangan, arus listrik dan power density yang ada pada area penanaman elektroda.

Tabel IV.1 Hasil penelitian data pH dan salinitas pada area sampel

Periode (Minggu)	pH				Salinitas ($\mu\text{s/cm}$)			
	Air tanah	Air Pavau	Air Laut 1	Air Laut 2	Air tanah	Air Pavau	Air Laut 1	Air Laut 2
1	6	6	7	7	1008	9828	11300	12350
2	6	6	7	7	1025	9662	11630	12080
3	6	6	7	7	1022	9430	11630	12130
4	6	6	7	7	1018	9640	11520	12187

Tabel IV.2 Hasil penelitian data TDS, Suhu dan Jumlah bakteri pada area sampel

Periode (Minggu)	TDS (ppm)				Suhu ($^{\circ}\text{C}$)				Jumlah cell (sel/mL)			
	Air tanah	Air Pavau	Air Laut 1	Air Laut 2	Air tanah	Air Pavau	Air Laut 1	Air Laut 2	Air tanah	Air Pavau	Air Laut 1	Air Laut 2
1	515	4863	5663	6155	33,10	31,60	31,40	31,50				
2	499	4949	5826	5885	32,90	31,40	31,60	31,20	1,65 x 10 ⁶	1,35 x 10 ⁶	4,8 x 10 ⁶	8,1 x 10 ⁶
3	511	4801	5415	5996	32,90	31,00	31,80	31,30				
4	508	4871	5635	6012	32,97	31,33	31,60	31,33				

Tabel IV.3 Hasil pengukuran data tegangan listrik dan arus listrik pada area area 1 dan area 2

Periode (Minggu)	area 1			area 2		
	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)
1	129,167	0,129	16,684	159,850	0,160	25,552
2	156,167	0,156	24,388	174,317	0,174	30,386
3	195,500	0,196	38,220	174,834	0,175	30,567
4	165,834	0,166	27,501	163,684	0,164	26,792
2 bulan	165,000	0,165	27,225	191,000	0,191	36,481
3 bulan	156,500	0,157	24,492	190,500	0,191	36,290
4 bulan	107,000	0,107	11,449	188,500	0,189	35,532
5 bulan	106,000	0,106	11,236	133,500	0,134	17,822

Tabel IV.4 Hasil pengukuran data tegangan listrik dan arus listrik pada area area 3 dan area 4

Periode (Minggu)	area 3			area 4		
	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)
1	145,167	0,145	21,073	184,500	0,185	34,040
2	153,667	0,154	23,613	154,750	0,155	23,948
3	171,667	0,172	29,469	173,167	0,173	29,987
4	173,334	0,173	30,045	198,834	0,199	39,535
2 bulan	191,000	0,191	36,481	197,000	0,197	38,809
3 bulan	179,000	0,179	32,041	196,000	0,196	38,416
4 bulan	131,500	0,132	17,292	193,500	0,194	37,442
5 bulan	140,000	0,140	19,600	160,000	0,160	25,600

Keterangan :

Area 1 = ITS

Area 2 = Mangrove Wonorejo

Area 3 = Tambak Wedi

Area 4 = Area Mangrove Dekat Jembatan Suramadu Kenjeran, Surabaya

Setelah mengetahui bahwa area 4 memiliki potensial yang paling tinggi dari pada ketiga area sampel, maka lumpur pada area tersebut diambil untuk penelitian lanjut di laboratorium.

Data pengukuran pada laboratorium yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel IV.2 dan IV.3 dibawah ini. Dari tabel tersebut didapatkan nilai tegangan, arus listrik dan power density yang ada pada elektroda Ti dan Ni 100 mesh dengan menggunakan nutrient MM, MM + Y, MSM dan MSM + Y.

Tabel IV.5 Hasil pengukuran elektroda Ti 100 Mesh pada nutrient MM dan MM+Y

Periode (Minggu)	Elektroda Ni 100 Mesh					
	MM			MM+Y		
	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)
1	163,050	0,163	26,585	198,500	0,199	39,402
2	126,000	0,126	15,876	214,000	0,214	45,796
3	128,500	0,129	16,512	190,500	0,191	36,290
4	77,667	0,078	6,032	198,100	0,198	39,244
5	50,333	0,050	2,533	79,000	0,079	6,241
6	88,833	0,089	7,891	281,833	0,282	79,430
7	60,467	0,060	3,656	275,000	0,275	75,625
8	118,333	0,118	14,003	120,500	0,121	14,520
9	153,333	0,153	23,511	112,833	0,113	12,731
10	81,867	0,082	6,702	95,500	0,096	9,120

Tabel IV.6 Hasil pengukuran elektroda Ti 100 Mesh pada nutrient MSM dan MSM+Y

Periode (Minggu)	Elektroda Ti 100 Mesh					
	MSM			MSM+Y		
	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)
1	412,500	0,413	170,156	176,000	0,176	30,976
2	93,500	0,094	8,742	58,500	0,059	3,422
3	147,000	0,147	21,609	108,500	0,109	11,772
4	438,000	0,438	191,844	231,500	0,232	53,592
5	162,667	0,163	26,460	198,500	0,199	39,402
6	108,667	0,109	11,808	93,500	0,094	8,742
7	259,500	0,260	67,340	120,500	0,121	14,520
8	131,000	0,131	17,161	120,667	0,121	14,560
9	169,167	0,169	28,617	148,167	0,148	21,953
10	110,583	0,111	12,229	109,333	0,109	11,954

Keterangan :

MM = Minimum Medium

MM + Y = Minimum Medium dengan penambahan yeast

MSM = Mineral Salt Medium

MSM + Y = Mineral Salt Medium dengan penambahan yeast

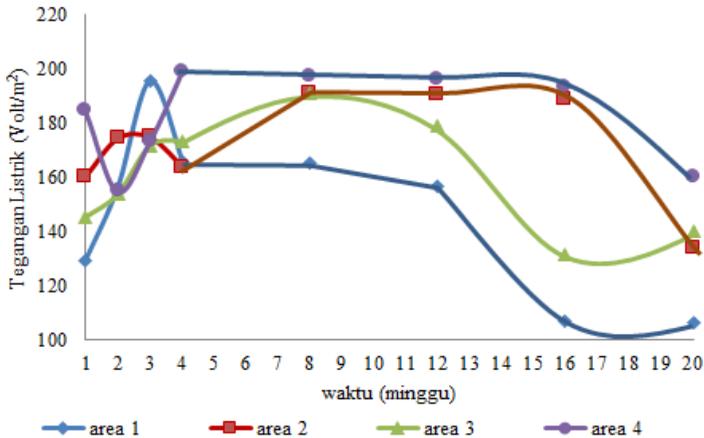
Tabel IV.7 Hasil pengukuran elektroda Ni 100 Mesh pada nutrient MM dan MM+Y

Periode (Minggu)	Elektroda Ni 100 Mesh					
	MM			MM+Y		
	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)
1	163,050	0,163	26,585	198,500	0,199	39,402
2	126,000	0,126	15,876	214,000	0,214	45,796
3	128,500	0,129	16,512	190,500	0,191	36,290
4	77,667	0,078	6,032	198,100	0,198	39,244
5	50,333	0,050	2,533	79,000	0,079	6,241
6	88,833	0,089	7,891	281,833	0,282	79,430
7	60,467	0,060	3,656	275,000	0,275	75,625
8	118,333	0,118	14,003	120,500	0,121	14,520
9	153,333	0,153	23,511	112,833	0,113	12,731
10	81,867	0,082	6,702	95,500	0,096	9,120

Tabel IV.8 Hasil pengukuran elektroda Ni 100 Mesh pada nutrient MSM dan MSM+Y

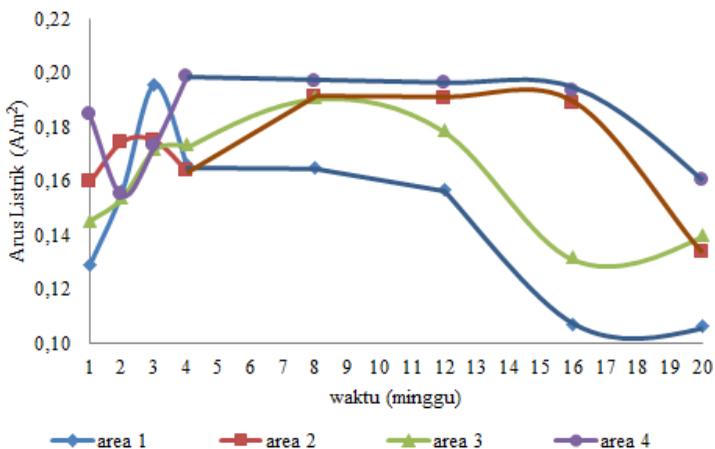
Periode (Minggu)	Elektroda Ni 100 Mesh					
	MSM			MSM+Y		
	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A /m ²)	P (Watt/m ²)
1	75,000	0,075	5,625	162,583	0,163	26,433
2	103,167	0,103	10,643	164,500	0,165	27,060
3	89,333	0,089	7,980	116,667	0,117	13,611
4	303,833	0,304	92,315	123,500	0,124	15,252
5	154,167	0,154	23,767	169,500	0,170	28,730
6	270,167	0,270	72,990	79,833	0,080	6,373
7	284,333	0,284	80,845	121,750	0,122	14,823
8	126,167	0,126	15,918	119,167	0,119	14,201
9	137,000	0,137	18,769	124,833	0,125	15,583
10	99,933	0,100	9,987	85,867	0,086	7,373

4.2 Pembahasan Penelitian



Gambar IV.1 Perbandingan antara tegangan listrik dan waktu di area sampel

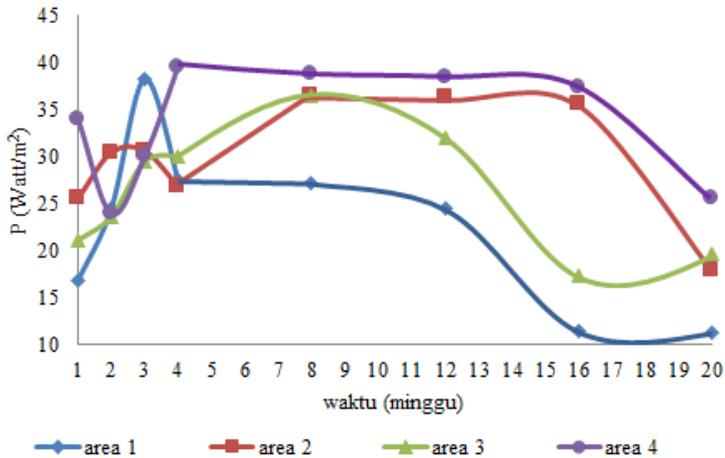
Elektroda Ni 100 mesh dengan ukuran 4 x 2,5 cm (10 cm²) digunakan dalam penelitian untuk menentukan salah satu dari keempat area sampel yang paling baik, dimana area ITS, mangrove wonorejo, tambak wedi, dan area mangrove dekat jembatan suramadu kenjeran, secara berurutan didefinisikan sebagai area 1, area 2, area 3 dan area 4. Dari Gambar IV.1 diatas dapat dilihat nilai tegangan yang paling stabil dicapai oleh elektroda yang ditanam di area mangrove dekat jembatan suramadu kenjeran atau area 4. Nilai tegangan yang paling tinggi juga diraih oleh area 4 dengan nilai 397,67 Volt/m². Dalam pengukuran tegangan listrik ini kita memberikan hambatan sebesar 1 k Ω .



Gambar IV.2 Perbandingan antara arus dan waktu di area penanaman elektroda

Elektroda Ni 100 mesh dengan menggunakan jenis dan ukuran yang sama digunakan untuk menentukan salah satu dari keempat area sampel yang paling baik. Dari Gambar IV.2 dapat dilihat nilai arus listrik yang paling tinggi diraih oleh elektroda yang ditanam di area mangrove dekat jembatan suramadu kenjeran atau area 4. dengan nilai 0,398 Ampere/m². Dalam pengukuran tegangan listrik ini diberikan hambatan sebesar 1 kΩ.

Dari Gambar IV.1 dan IV.2 menunjukkan adanya perolehan yang fluktuatif pada tegangan listrik maupun arus listrik. Hal ini dimungkinkan karena adanya interaksi atau persaingan antar bakteri dalam mendekomposisi kandungan senyawa organik. Peningkatan maupun penurunan *electricity* (tegangan dan arus listrik) memiliki keterkaitan dengan *TEA* (*Terminal Electron Acceptor*) seperti oksigen, nitrit, nitrat, sulfat yang berdifusi melalui sel lalu elektron tersebut ditangkap oleh anoda dan proton menuju katoda sehingga menghasilkan biolistrik (Agustin dan Irwan, 2014).



Gambar IV.3 Perbandingan antara power density dan waktu di area penanaman elektroda

Power density dari MFC ini menggunakan satuan dalam watt/m² dan dihitung dengan menggunakan persamaan $P = V \times I$. Dengan menggunakan hambatan 1 k Ω power density maksimum dari area sampel adalah 158,14 Watt/m².

Terbentuknya biofilm yang lebih stabil pada substrat dengan waktu inkubasi yang paling lama diperkirakan membuat MFCs lebih lama memproduksi listrik. Mikroba membutuhkan waktu untuk beradaptasi di lingkungan sekitarnya dan untuk bereproduksi sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama agar terbentuk konsorsium mikroba yang stabil. Biofilm yang stabil akan mendegradasi senyawa organik dengan sempurna sehingga produksi listrik hasil metabolisme mikroba yang terbentuk kecil diawal eksperimen namun cenderung stabil seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini disebabkan karena kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik dalam substrat. Namun jika terlalu lama, maka senyawa organik yang terdapat dalam limbah akan terus terdegradasi. Logan, 2006 menyatakan jika tidak ada

senyawa organik yang tersisa maka akan menyebabkan produksi listrik turun karena tidak ada lagi senyawa yang dioksidasi. Selain itu, menurut Kim dan Nevin (2009) biofilm yang terus berkembang seiring berjalannya waktu akan menutupi elektroda dan meningkatkan hambatan internal anoda sehingga menyebabkan penurunan nilai *power density*.

Dalam gambar IV.1, IV.2 dan IV.3 dapat diketahui bahwa ketiga parameter yaitu tegangan listrik, arus listrik dan power density memiliki hubungan dalam menghasilkan energi listrik. Dimana sesuai dalam Hukum Ohm, bahwa besar arus listrik (I) yang mengalir melalui sebuah penghantar atau Konduktor akan berbanding lurus dengan beda potensial / tegangan (V) yang diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R).

$$V = I \times R$$

dimana :

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

R = Resistance (ohm)

Mikroorganisme yang berperan penting dalam sistem MFC merupakan bakteri penghasil listrik yang umumnya meliputi *Geobacter sp*, *Shewanella sp*, dan *Escherichia coli* (Januarita dkk, 2016). Dalam penelitian ini bakteri yang berperan dalam produksi listrik dihitung dengan menggunakan *haemocytometer*.

Dari Tabel IV.2 dapat dilihat bahwa pada area 4 terdapat jumlah sel mikroorganisme yang paling tinggi dari ketiga area lain. Hal ini dapat terlihat bahwa area sampel pada air laut sangat berpotensi menjadi area pengambilan lumpur untuk digunakan dalam penelitian selanjutnya, karena jumlah sel berpengaruh dengan banyaknya mikroorganisme yang dapat memproduksi listrik yang berada didalam lumpur. Oleh karena itu dengan semakin banyaknya mikroorganisme maka berbanding lurus dengan produksi listrik yang dihasilkan.

Dari Tabel IV.1 dapat diketahui bahwa pH area 1 (ITS) dan 3 (Mangrove wonorejo) adalah 6. Sedangkan pH pada area 3 dan 4 yaitu Mangrove Kenjeran dan Tambak Wedi menunjukkan pH netral yaitu 7. pH adalah salah satu parameter penting pada MFC dalam proses produksi listrik. Selain itu, pH merupakan faktor kritis untuk semua proses berbasis mikroba. Pada MFCs, pH tidak hanya mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan bakteri tetapi juga berpengaruh terhadap transfer proton dan reaksi katoda sehingga berimplikasi pada performa MFCs. Sebagian besar MFCs beroperasi pada pH mendekati netral untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal komunitas mikroba yang terlibat dalam pembentukan listrik (Liu, 2008).

Puig dkk, (2010) mengemukakan bahwa dalam dual chamber MFCs, produksi listrik menurun secara signifikan ketika pH akhir turun menjadi 5,2 karena produk asam fermentasi, namun kembali normal ketika pH kembali 7. Tetapi pada katoda, pH mempengaruhi baik pada reaksi anodik dan katodik dimana pH tinggi (8-10) menghambat aktivitas bakteri anodik sampai batas tertentu, tapi mungkin menguntungkan untuk reaksi katodik, sehingga meningkatkan kinerja keseluruhan (He dkk, 2008 dalam Puig dkk, 2010).

Hasil ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh Gil dkk, (2010) dimana kedua studi mengamati bahwa pH rendah (pH 5 dan 6) mengakibatkan produksi listrik yang lebih rendah dan pH rendah dalam MFC mungkin memiliki inhibitor aktivitas bakteri *electrogenic*. Peneliti lain juga telah melaporkan bahwa pH asam di dalam ruang anoda mengurangi produksi listrik (Fernando dan Garcia, 2011).

Dari Tabel IV.1 di atas dapat diketahui bahwa kadar salinitas pada area 4 adalah yang paling tinggi. Salinitas merupakan tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas merupakan salah satu hal pendukung dalam proses produksi listrik. Kandungannya lebih dari 90% garam terlarut pada air laut berasal dari enam (6) elemen utama yaitu : *chlorin*

(Cl⁻), *sodium* (Na⁺), *magnesium* (Mg²⁺), *sulfur* (SO₄²⁺), *calcium* (Ca²⁺) dan *potassium* (K⁺). Dua elemen penting lainnya ialah: *bikarbonat* (HCO₃⁻) dan *bromin* (Br⁻). Karena dengan kadar garam yang tinggi maka kadar salinitas juga tinggi. Garam adalah bahan elektrolit yang bagus dalam menghantarkan arus listrik. Oleh karena itu dengan salinitas yang tinggi akan berpengaruh terhadap listrik yang dihasilkan.

Salinitas atau kekuatan ion mempengaruhi konduktivitas larutan pada ruangan MFCs sehingga mempengaruhi hambatan internal, yang akhirnya berefek pada performa MFCs (Liu, 2008).

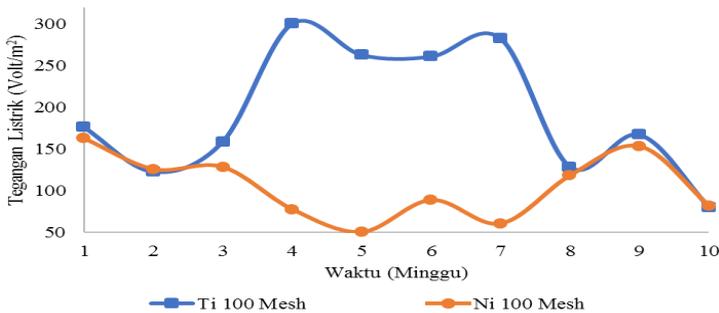
Dari Tabel IV.2 di atas dapat diketahui bahwa nilai TDS (*Total Dissolved Solid*) pada area 4 adalah yang paling tinggi. TDS merupakan hal pendukung lainnya dalam proses produksi listrik. TDS adalah “benda padat yang terlarut” yaitu semua mineral, garam, logam, serta kation-anion yang terlarut di air, termasuk semua yang terlarut diluar molekul air murni (H₂O). Secara umum, konsentrasi benda-benda padat terlarut merupakan jumlah antara kation dan anion didalam air. TDS terukur dalam satuan *parts per million* (ppm) atau perbandingan rasio berat ion terhadap air.

Benda-benda padat di dalam air tersebut berasal dari banyak sumber, organik seperti daun, lumpur, plankton, serta limbah industri. Sumber lainnya bisa berasal dari limbah rumah tangga, pestisida, dan banyak lainnya. Sedangkan, sumber anorganik berasal dari batuan dan udara yang mengandung kalsium bikarbonat, nitrogen, besi fosfor, sulfur, dan mineral lain. Semua benda ini berbentuk garam, dimana kandungannya merupakan perpaduan antara logam dan non logam. Garam-garam ini biasanya terlarut di dalam air dalam bentuk ion, yang merupakan partikel yang memiliki kandungan positif dan negatif. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai TDS maka semakin besar daya hantar listriknya (Santoso, 2008).

Kinetika bakteri, transfer massa proton melalui elektrolit dan laju reaksi oksigen pada katoda menentukan performa MFCs

dan semua tergantung kepada temperature. Biasanya konstanta rekasi biokimia mengganda setiap kenaikan temperature 10°C sampai tercapai temperature optimal. Sebagian besar studi MFCs dilakukan pada temperatur $28-35^{\circ}\text{C}$ (Liu, 2008). Dari tabel IV.2 terlihat bahwa suhu yang terjadi masih berada pada range suhu optimal antara $31-33^{\circ}\text{C}$. Dari area sampling tersebut diketahui bahwa lumpur yang berasal dari air laut adalah areayang paling berpotensi untuk mendapatkan biolistrik dari pada lumpur yang berasal dari air tanah dan air payau.

Untuk proses selanjutnya, penelitian dilakukan dengan pemakaian dua bahan material elektroda yakni Titanium (Ti) 100 mesh dan Nikel (Ni) 100 mesh. Penggunaan kedua bahan elektode tersebut untuk mengetahui material mana yang paling baik digunakan sebagai elektroda dalam pemanfaatan lumpur sebagai sumber alternatif energi listrik dengan menggunakan *microbial fuel cells* (MFCs).



Gambar IV.4 Perbandingan antara tegangan dan waktu pada elektroda Ti dan Ni

Dari Gambar IV.4 dapat dilihat bahwa dari kedua elektroda yakni Ti dan Ni 100 Mesh. Elektroda yang paling baik untuk pemanfaatan lumpur sebagai sumber alternatif energi listrik

dengan menggunakan *microbial fuel cells* (MFCs) adalah elektroda Ti, karena menghasilkan tegangan paling besar dari pada elektroda Ni.

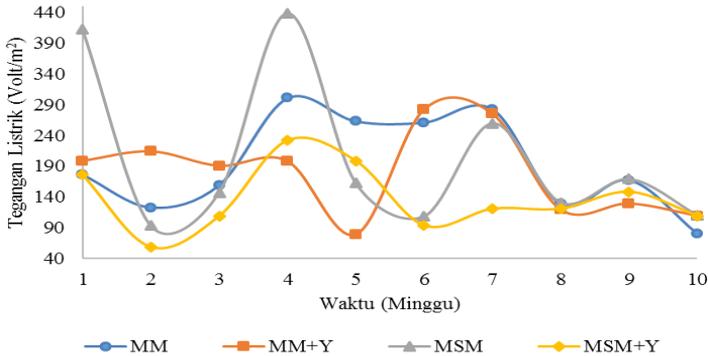
Dalam gambar menunjukkan adanya titik ekstrim dimana mengalami penurunan pada minggu ke-5 dan ke-6, namun pada minggu ke-7 nilai tegangan mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan karena populasi mikroorganisme yang meningkat.

Dalam mempertimbangkan pemilihan bahan elektroda terhadap antara lain stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektivitas produk yang akan terbentuk, konduktivitas listrik, ketahanan dan harga faktor, serta kesesuaian dengan desain sel atau sistem (Artadi, 2007). Sehingga pada penelitian ini memilih Ni dan Ti sebagai elektroda. Daya hantar listrik adalah kemampuan suatu penghantar untuk memindahkan muatan listrik. Pada penelitian ini menggunakan Ni dan Ti 100 mesh yang memiliki arti bahwa terdapat 100 lubang pada bidang permukaan elektroda seluas 1 in^2 . Dengan menggunakan ukuran 100 mesh maka luas permukaan dari elektroda akan semakin luas sehingga mikroorganisme dapat menempel pada permukaan elektroda akan semakin bertambah.

Reaktifitas, bilangan valensi, dan konsentrasi ion-ion terlarut sangat berpengaruh terhadap nilai daya hantar listrik. Bahan Ti memiliki bilangan oksidasi tinggi sehingga memiliki sifat ikatan kovalen yang tinggi hal itu mengakibatkan daya hantar Ti juga tinggi. Daya hantar listrik Ti lebih tinggi daripada Ni sehingga menghasilkan tegangan listrik yang tinggi pula daripada Ni.

Tahap lain yaitu pemberian nutrient pada sampel. Nutrien yang digunakan yaitu MM (Minimum Medium), MMY (Minimum Medium dengan Yeast), MSM (Mineral Salt Medium) dan MSMY (Mineral Salt Medium dengan Yeast). Tahap ini untuk mengetahui pengaruh energi listrik yang dihasilkan dengan penambahan beberapa nutrient. Nutrient disini adalah sebagai

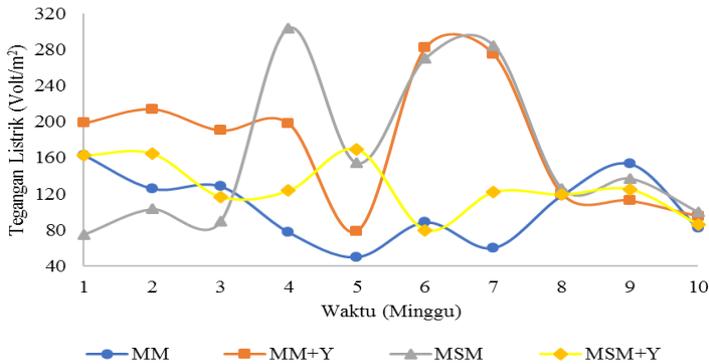
bahan organik tambahan bagi mikroorganismenya untuk dikonsumsi sehingga dari metabolisme mikroorganismenya didapatkan nutrisi yang cocok guna mendukung bakteri dalam memproduksi listrik.



Gambar IV.5 Perbandingan antara tegangan dan waktu dengan penambahan nutrisi pada elektroda Ti 100 mesh

Tipe substrat atau nutrisi merupakan faktor penting dalam MFCs. Substrat akan berpengaruh pada power density walaupun menggunakan mikroba konsortium yang sama. Biolistrik sangat bergantung dari konsentrasi substrat, dimana pada konsentrasi substrat tinggi maka hasil daya yang dihasilkan akan tinggi (Park dan Zeikus, 2003).

MM, MM+Y, MSM dan MSM+Y dipakai sebagai nutrisi untuk mengetahui pengaruh nutrisi pada MFCs. Dari Gambar IV.5 dengan menggunakan elektroda Ti 100 mesh diatas dapat dilihat nilai tegangan yang relatif paling stabil dan nilai rata-rata tegangan yang paling tinggi yakni pada penambahan nutrisi MM+Y.



Gambar IV.6 Perbandingan antara tegangan dan waktu dengan penambahan nutrisi pada elektroda Ni 100 Mesh

Dari Gambar IV.6 dengan menggunakan elektroda Ni 100 mesh di atas dapat dilihat nilai tegangan listrik yang paling stabil dan nilai rata-rata tegangan listrik yang paling tinggi yakni pada penambahan nutrisi MM+Y.

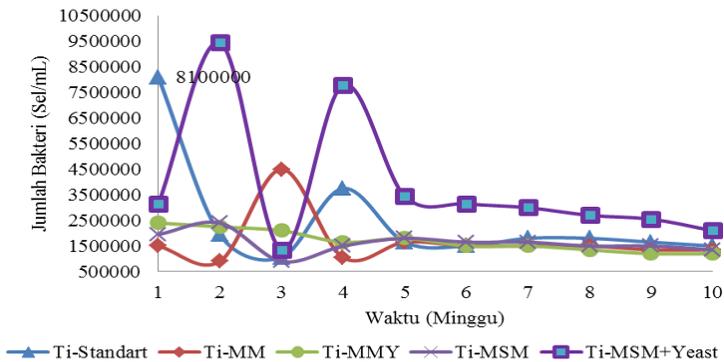
Dari Gambar IV.5 dan IV.6 dapat diambil kesimpulan bahwa nutrisi yang paling baik untuk pemanfaatan lumpur sebagai sumber alternatif energi listrik dengan menggunakan *microbial fuel cells* (MFCs) adalah nutrisi MM+Y.

Sel mikroorganisme mengandung karbon, nitrogen, fosfor dan sulfur dengan perbandingan 100 : 10 : 1 : 1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme, unsur-unsur di atas harus ada pada sumber makanannya (substrat). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat (Manurung, 2004).

Menurut Waluyo (2005), peran utama nutrisi adalah sebagai sumber energi, bahan pembangun sel, dan sebagai aseptor elektron dalam reaksi bioenergetik (reaksi yang menghasilkan energi). Oleh karenanya bahan makanan yang diperlukan terdiri dari air, sumber energi, sumber karbon, sumber aseptor elektron,

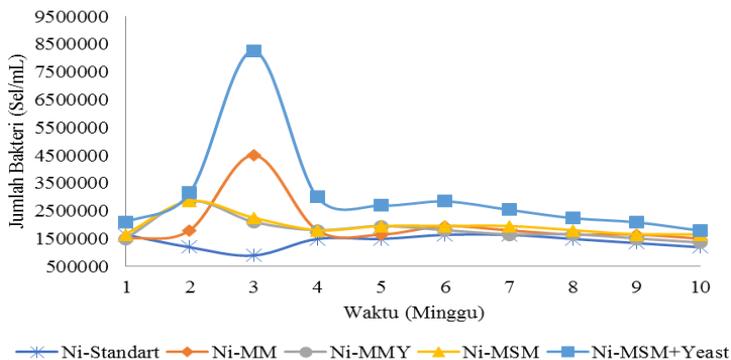
sumber mineral, faktor pertumbuhan, dan nitrogen. Selain itu, secara umum nutrient dalam media pembenihan harus mengandung seluruh elemen yang penting untuk sintesis biologik organisme baru.

Pada MM+Y dengan kandungan NH_4NO_3 , KH_2PO_4 , $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glukosa) dan ekstrak yeast, telah memenuhi kebutuhan karbon, nitrogen, posfor, sulfur dan *rich medium* sebagai sumber energi dan pertumbuhan sel pada mikroorganisme.



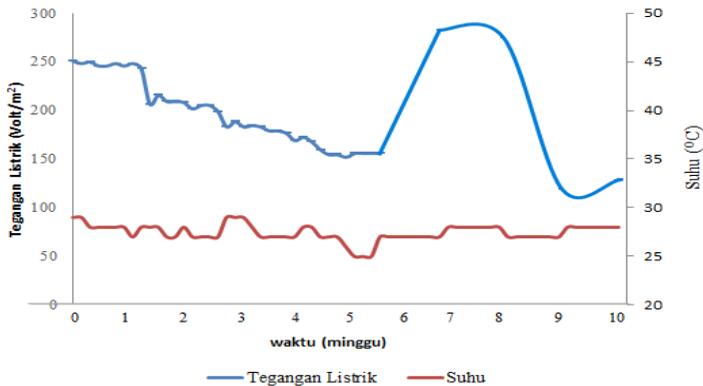
Gambar IV.7 Jumlah bakteri pada elektroda Ti (Titanium)

Faktor yang mempengaruhi dalam energi listrik yang diproduksi adalah mikroorganisme. Mikroorganisme berperan penting dalam sistem MFCs, sebagai penghasil elektron. Dalam penelitian ini, jumlah bakteri di elektroda Ti (Gambar IV.7) dan Ni (Gambar IV.8) dengan penambahan nutrient dihitung menggunakan haemocytometer yang dilengkapi mikroskop dengan perbesaran 400X.



Gambar IV.8 Jumlah bakteri pada elektroda Nikel (Nikel)

Berdasarkan Gambar IV.7 dan IV.8 diatas menunjukkan jumlah bakteri paling banyak yang terdapat di elektroda Ti dengan penambahan media MSM+Y yaitu $2,1 \times 10^6$ /sel bakteri. Sedangkan elektroda Ni dengan penambahan media MSM+Y yaitu $1,8 \times 10^6$ /sel bakteri. Dengan jumlah bakteri yang semakin banyak, maka dimungkinkan semakin banyak pula bakteri yang menghasilkan elektron. Tetapi dalam pengujian tegangan listrik yang dihasilkan didapat bahwa dengan menggunakan MM+Y adalah nutrient yang paling support terhadap bakteri untuk menghasilkan elektron.



Gambar IV.9 Perbandingan antara tegangan listrik dan waktu

Elektroda Ti 100 mesh dengan ukuran 4 x 2,5 cm (10 cm²) dengan penambahan nutrient MM+Y digunakan dalam mengetahui pola hasil pengukuran tegangan listrik dari 0 minggu hingga 10 minggu dengan waktu perekaman setiap 4 detik. Dalam pengukuran tegangan listrik ini kita memberikan hambatan sebesar 1 k Ω . Dari Gambar IV.9 diatas dapat dilihat nilai tegangan listrik awal dimulai dari 250 volt/m² dan berakhir pada minggu ke 10 yakni 109 volt/m². Penurunan tegangan listrik dimungkinkan disebabkan karena tidak dapat menghasilkan energi listrik maksimum karena ketersediaan nutrient dalam MM+Y sebagai media tumbuh mikroorganisme tidak dapat digunakan untuk mereplikasi dirinya, dalam hal ini material organik yang terkandung di nutrient tidak sebanding dengan jumlah bakteri mengakibatkan persaingan antar bakteri untuk memperebutkan makanan, sehingga metabolisme bakteri tidak dapat berjalan lancar

"Halaman sengaja dikosongkan"

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Area lokasi lumpur yang paling baik digunakan untuk pemanfaatan lumpur sebagai sumber alternatif energi listrik dengan menggunakan *microbial fuel cells (MFCs)* adalah area sample no 4 yakni Bakau Kenjeran.
2. Potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan lumpur lumpur yang paling baik adalah lumpur yang berasal dari air laut untuk tegangan listrik sebesar 199 V/m^2 dan arus listrik sebesar $0,199 \text{ A/m}^2$
3. Elektroda yang paling baik di antara elektroda Ti dan Ni untuk menghasilkan potensi energi listrik adalah elektroda Ti 100 Mesh
4. Potensi energi listrik yang dihasilkan dengan penambahan nutrient MM+Y adalah yang paling baik diantara nutrient MM, MSM dan MSM+Y

V.2 Saran

1. Perlu diperhatikan pada saat pembuatan media, pH media harus mencapai 7.
2. Pengukuran pH menggunakan pHmeter.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin H dan Irwan N. (2014). potensi perolehan energi listrik dari limbah cair industri tahu dengan metode salt bridge microbial fuel cell. *J. Sains Dasar*, 3, 162-168.
- Ashley E, Franks, Nevin dan Kelly P. (2010). *Energies Microbial Fuel Cells, A Current Review*, 3, 899-919.
- Barley. (1976). Analysis with ion selective electrodes.
- Behera M, Jana P S, More T T dan Ghangrekar M M. (2010). Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH. *Bioelectrochemistry*, 79, 228-233.
- Campo A, Gonzalez D, Lobato J, Cañizares, Rodrigo M A, Morales, Fernandez F J. (2013). Applied Energy 101. *Short-term effects of temperature and COD in a microbial fuel cell*, 213-217.
- Catal T, Xu S, Li K, Bermek H, Liu H. (2008). Biosensors and Bioelectronics 24. *Electricity generation from polyalcohols in single-chamber microbial fuel cells*, 849-854.
- Chae K J, Choi M J, Lee J W, Kim K Y, dan Kim I S. (2009). Bioresource Technology 100. *Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells*, 3518–3525.
- Du, Zhuwei, Haoran L, Tingyue, G. (2007). A State of the Art Review on Microbial Fuel Cells: a Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy. *Biotechnology Advances*, 464– 482.
- Fernando S dan Garcia E. (2011). *Waste Water - Treatment and Reutilization*. India: InTech.
- Heijne A, Hamelers H V, Saakes M, dan Buisman C J. (2008). Electrochimica Acta 53. *Performance of non-porous graphite and titanium-based anodes in microbial fuel cells*, 5697–5703.

- Hoogers G. (2002). *Fuel Cell Technology Handbook Trier University of Applied Sciences*. Jerman: Birkenfeld.
- Januarita R, Azizah A, Ulfa A W A, Syahidah H, Samudro G. (2016). MFCs 2 In 1 : *Microbial Fuel Cells* Pengolah Air Limbah dan Penghasil Listrik (Alternatif : Limbah Isi Rumen Sapi Dengan Pengaruh Variasi COD dan pH). Artikel Ilmiah-Universitas Diponegoro, 5.
- Liu. (2008). Microbial Fuel Cell: Novel Anaerobic Biotechnology for Energy Generation from Waste Water. *Anaerobic Boitekhnology for Bioenergy Production: Principles and Aplications*, 221-243.
- Liu H dan Logan B E. (2004). Electricity Generation Using an Air-Cathode Single Chamber Microbial Fuel Cell in the Presence and Absence of a Proton Exchange Membrane. *Environmental Science and Technology*, 38, pp 4040-4046.
- Logan B E, Hamelers B. (2006). Enviromental Science and Technology. *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*, 5181-5184.
- Manurung, R. (2004). Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit. *e-USU Repository*, 7.
- Martin S S dan Patricia A. (2011). *Chemistry: the Molecular Nature of Matter and Change 7th edition*. McGraw-Hill.
- Nevin, Kim. (2009). Anode Biofilm Transcriptomics reveals outer surface components essential for high density current production in geobacter sulfurreducens fuel cells. *PLoS ONE*.
- Pant D, Bogaert G V, Diels L, Vanbroekhoven K. (2010). *Bioresource Technology* 101. *A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production*, 1533-1543.
- Puig S, Serra M, Coma M, Cabre M, Balaguers M, Dolors C J. (2010). Effect of pH on Nutrient Dynamics and Electricity Production Using Microbial Fuel Cells. *Bioresource Technology Journal*, 9594-9599.

- Rabaey K, Verstraete W. (2005). Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology for Energy Generation. *TRENDS in Biotechnology*, 23 (6), 291-298.
- Rabaey K, Guez J R, Blackall L L, Keller J, Gross P, Batstone D, Neelson K H. (2007). The ISME Journal. *Microbial ecology meets electrochemistry: electricity-driven and driving communities*, 1, 9-18.
- Rahimnejad M, Adhami A, Darvari S, Zirepour A dan Oh S E. (2015). Alexandria Engineering Journal . *Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review*, 745–756.
- Reddy L V, Kumar S P, Wee Y J. (2010). Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. *Microbial Fuel Cells (MFCs) - a novel source of energy for new millennium*, 956-962.
- Rozendal R A, Hamelers H V M, Rabaey K, Keller J, dan Buisman C J N. (2008). Towards practical implementation of bioelectrochemical wastewater treatment. *Trends in Biotechnology*, 26, no. 8, pp. 450–459.
- Shukla A K, Suresh P, Berchmans S, Rajendran A. (2004). Biological fuel cells and their applications. *Journal Current Science*, 87 (4), 455-468.
- Singh D, Pratap D, Baranwal Y, Kumar B. dan Chaudhary R K. (2010). Microbial fuel cells: A green technology for power generation. *Annals of Biological Research*, 3, 128-138.
- Tardast A, Rahimnejad M, Najafpour G D, Ghoreyshi A A, Zare H. (2012). Iranica Journal of Energy & Environment 3. *Fabrication and Operation of a Novel Membrane-less Microbial Fuel Cell as a Bioelectricity Generator*, 1-5.
- Waluyo, L. (2005). Mikrobiologi Umum. *UMM Press*.

- Wang H, Park J D dan Ren Z J. (2015). Practical Energy Harvesting for Microbial Fuel Cells: A Review. *Environ. Sci. Technol*, 49, 3267–3277.
- Wiharti, Riyanto, Noor F. (2014). Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) Dan Karbon (C) Untuk Penurunan Kadar Cr Dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Di Desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta.
- Yong Y C, Yu Y Y, Zhang Xi, HaoSong. (2014). Angew Chem Int. *Highly Active Bidirectional Electron Transfer by a Self-Assembled Electroactive Reduced-Graphene-Oxide-Hybridized Biofilm*, 53, 4480-4483.
- Zahara. (2010). Pemanfaatan *saccharomyces cerevisiae* dalam sistem microbial fuel cell untuk produksi energi listrik.

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
T	Suhu	°C
V	Volume	ml
m	Massa	gr
M	Molaritas	M
V	Tegangan Listrik	V/m ²
I	Arus Listrik	A/ m ²
P	Daya	Watt
Salinitas	Salinitas	µs/cm
pH	Derajat Keasaman	-
TDS	Total Dissolve Solid	ppm

APPENDIKS

APPENDIKS A

PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN, JUMLAH BAKTERI, DAN *POWER DENSITY*

A.1 Membuat NaOH 0,5 mol/L

Perhitungan menggunakan rumus :

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{Massa NaOH}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{Volume}}$$

$$0,5 = \frac{\text{Massa NaOH}}{40} \times \frac{1000}{1000}$$

$$= 20 \text{ gr (Massa NaOH)}$$

A.2 Membuat 0,1 % (w/v) glukosa dan yeast extract

Volume = 500 mL

Maka, setiap 0,1 gr/100 mL

$$\text{Berat Glukosa} = \frac{0,1 \text{ gr}}{100 \text{ mL}} \times 500 \text{ mL}$$

Berat Glukosa = 0,5 gr

Berat Yeast Extract = Berat Glukosa = 0,5 gr

A.3 Menghitung Jumlah Bakteri

Prosedur :

- Sampel lumpur diambil dan ditimbang sebanyak 1 gr.

- Lumpur dimasukkan ke erlenmeyer dan ditambahkan aquades kemudian dilakukan pengenceran lagi hingga 6x.
- Sampel diambil dengan menggunakan pipet tetes untuk diteteskan diatas permukaan *Haemacytometer*.
- *Haemacytometer* dilakukan dibawah lensa mikroskop.
- Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 400X
- **Pengamatan dilakukan pada Area Bakau Dekat Jembatan Suramadu Kenjeran, Surabaya**
didapat :

Kotak 1 = 23 Bakteri

Kotak 2 = 6 Bakteri

Kotak 3 = 10 Bakteri

Kotak 4 = 8 Bakteri

Kotak 5 = 7 Bakteri

54 sel/kotak

Volume kotak = *luas kotak x kedalaman kotak*

$$\text{Volume kotak} = \frac{1}{25} \text{ mm}^2 \times \text{kedalaman kotak}$$

$$\text{Volume Kotak} = 0,04 \text{ mm}^3 / \text{kotak}$$

$$\text{Jumlah sel} \left(\frac{\text{sel}}{\text{mL}} \right) = \frac{\text{Jumlah sel / kotak}}{\text{Volume kotak (mm}^3\text{)}} \times \text{konversi} \times \text{faktor pengenceran}$$

$$\text{Jumlah sel} \left(\frac{\text{sel}}{\text{mL}} \right) = \frac{54 \text{ sel/ kotak}}{0,04 \text{ mm}^3 / \text{kotak}} \times 1000 \text{ mm}^3/\text{mL} \times 6 \text{ kali pengenceran}$$

$$\text{Jumlah sel} \left(\frac{\text{sel}}{\text{mL}} \right) = 8,1 \times 10^6 \text{ sel/mL}$$

A.4 Menghitung *Power Density* (Watt/m²)

Dengan menggunakan rumus Hukum Ohm yaitu $P = V \times I$.

Data yang di dapat dari pengukuran dengan variabel dari Area Bakau Kenjeran, Surabaya

- Menghitung Arus Listrik (A)

Diketahui dari hasil pengamatan, didapatkann nilai voltage (V) = 397 (V/cm²) dengan resistor sebesar 1000 Ω . Sehingga nilai arus listrik dapat dihitung menggunakan rumus : $V = R \times I$

$$379 = 1000 \times I$$

didapatkan nilai I sebesar 0,379 (A/m²).

- Menghitung *Power Density* (P)

Dari perhitungan diatas diketahui nilai V = 397 (Volt/cm²) dan Arus Listrik = 0,379 (A/m²) sehingga nilai P dapat dihitung menggunakan rumus :

$$P = V \times I$$

$$\begin{aligned} P &= 397 \text{ (V/m}^2\text{)} \times 0,397 \text{ (A/cm}^2\text{)} \\ &= 157,60 \text{ (Watt/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Karena elektroda yang digunakan memiliki dua sisi, maka nilai dibagi 2.

$$\text{Sehingga : } V = 198,5 \text{ (V/m}^2\text{)}$$

$$I = 0,198 \text{ (A/m}^2\text{)}$$

$$P = 78,50 \text{ (Watt/m}^2\text{)}$$

APPENDIKS B

Hasil Perhitungan Elektroda Ni/Ti

Tabel B.1 Hasil pengukuran data tegangan listrik dan arus listrik pada area 1 dan area 2

Periode (Minggu)	area 1			area 2		
	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
1	258,333	0,258	66,736	319,700	0,320	102,208
2	312,333	0,312	97,552	348,633	0,349	121,545
3	391,000	0,391	152,881	349,667	0,350	122,267
4	331,667	0,332	110,003	327,367	0,327	107,169
2 bulan	330,000	0,330	108,900	382,000	0,382	145,924
3 bulan	313,000	0,313	97,969	381,000	0,381	145,161
4 bulan	214,000	0,214	45,796	377,000	0,377	142,129
5 bulan	212,000	0,212	44,944	267,000	0,267	71,289

Tabel B.2 Hasil pengukuran data tegangan listrik dan arus listrik pada area 3 dan area 4

Periode (Minggu)	area 3			area 4		
	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
1	290,333	0,290	84,293	369,000	0,369	136,161
2	307,333	0,307	94,454	309,500	0,310	95,790
3	343,333	0,343	117,878	346,333	0,346	119,947
4	346,667	0,347	120,178	397,667	0,398	158,139
2 bulan	382,000	0,382	145,924	394,000	0,394	155,236
3 bulan	358,000	0,358	128,164	392,000	0,392	153,664

4 bulan	263,000	0,263	69,169	387,000	0,387	149,769
5 bulan	280,000	0,280	78,400	320,000	0,320	102,400

Tabel B.3 Hasil pengukuran elektroda Ni 100 mesh dengan penambahan nutrient MM dan MM+Y

Periode (Minggu)	Elektroda Ni 100 Mesh					
	MM			MM+Y		
	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
1	326,100	0,326	106,341	397,000	0,397	157,609
2	252,000	0,252	63,504	428,000	0,428	183,184
3	257,000	0,257	66,049	381,000	0,381	145,161
4	155,333	0,155	24,128	396,200	0,396	156,974
5	100,667	0,101	10,134	158,000	0,158	24,964
6	177,667	0,178	31,565	563,667	0,564	317,720
7	120,933	0,121	14,625	550,000	0,550	302,500
8	236,667	0,237	56,011	241,000	0,241	58,081
9	306,667	0,307	94,044	225,667	0,226	50,925
10	163,733	0,164	26,809	191,000	0,191	36,481

Tabel B.4 Hasil pengukuran elektroda Ni 100 mesh dengan penambahan nutrient MSM dan MSM+Y

Periode (Minggu)	Elektroda Ni 100 Mesh					
	MSM			MSM+Y		
	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
1	150,000	0,150	22,500	325,167	0,325	105,733
2	206,333	0,206	42,573	329,000	0,329	108,241
3	178,667	0,179	31,922	233,333	0,233	54,444

4	607,667	0,608	369,259	247,000	0,247	61,009
5	308,333	0,308	95,069	339,000	0,339	114,921
6	540,333	0,540	291,960	159,667	0,160	25,493
7	568,667	0,569	323,382	243,500	0,244	59,292
8	252,333	0,252	63,672	238,333	0,238	56,803
9	274,000	0,274	75,076	249,667	0,250	62,333
10	199,867	0,200	39,947	171,733	0,172	29,492

Tabel B.5 Hasil pengukuran elektroda Ti 100 mesh dengan penambahan nutrient MM dan MM+Y

Periode (Minggu)	Elektroda Ti 100 Mesh					
	MM			MM+Y		
	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
1	353,000	0,353	124,609	397,000	0,397	157,609
2	245,667	0,246	60,352	428,000	0,428	183,184
3	318,000	0,318	101,124	381,000	0,381	145,161
4	601,000	0,601	361,201	396,200	0,396	156,974
5	526,000	0,526	276,676	158,000	0,158	24,964
6	522,000	0,522	272,484	563,667	0,564	317,720
7	565,333	0,565	319,602	550,000	0,550	302,500
8	257,000	0,257	66,049	238,667	0,239	56,962
9	334,667	0,335	112,002	258,333	0,258	66,736
10	160,333	0,160	25,707	218,667	0,219	47,815

Tabel B.6 Hasil pengukuran elektroda Ti 100 mesh dengan penambahan nutrient MSM dan MSM+Y

Periode (Minggu)	Elektroda Ti 100 Mesh					
	MSM			MSM+Y		
	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)	V (mV/cm ²)	I (mA/cm ²)	P (mW/cm ²)
1	825,000	0,825	680,625	352,000	0,352	123,904
2	187,000	0,187	34,969	117,000	0,117	13,689
3	294,000	0,294	86,436	217,000	0,217	47,089
4	876,000	0,876	767,376	463,000	0,463	214,369
5	325,333	0,325	105,842	397,000	0,397	157,609
6	217,333	0,217	47,234	187,000	0,187	34,969
7	519,000	0,519	269,361	241,000	0,241	58,081
8	262,000	0,262	68,644	241,333	0,241	58,242
9	338,333	0,338	114,469	296,333	0,296	87,813
10	221,167	0,221	48,915	218,667	0,219	47,815

Tabel B.7 Hasil pengukuran elektroda Ti 100 mesh dengan penambahan nutrient MM+Y menggunakan multitester.

Periode (hari)	Tegangan Listrik (mV/cm ²)	Temperatur °C	Periode (hari)	Tegangan Listrik (mV/cm ²)	Temperatur °C
0	501,00	29	21	369,00	28
1	496,00	29	22	366,00	27
2	499,00	28	23	358,00	27
3	491,00	28	24	358,00	27
4	491,00	28	25	353,00	27
5	496,00	28	26	338,00	27

6	491,00	28	27	345,00	28
7	496,00	27	28	335,00	28
8	486,00	28	29	319,00	27
9	413,00	28	30	309,00	27
10	431,00	28	31	309,00	27
11	418,00	27	32	304,00	26
12	418,00	27	33	312,00	25
13	416,00	28	34	312,00	25
14	403,00	27	35	312,00	25
15	410,00	27	36	312,00	27
16	410,00	27	6 minggu	563,67	27
17	397,00	27	7 minggu	550,00	28
18	366,00	29	8 minggu	238,67	27
19	377,00	29	9 minggu	258,33	28
20	366,00	29	10 minggu	218,67	27

RIWAYAT PENULIS



Dessy Rosita Sari, penulis dilahirkan di Nganjuk pada tanggal 28 Juni 1993 yang merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Asiyah II pada tahun 1999, lulus dari SDN Ganung Kidul 1 pada tahun 2005, lulus dari SMPN 1 Nganjuk pada tahun 2008 dan lulus dari SMAN 1 Nganjuk pada tahun 2011. Penulis diterima di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan telah terdaftar dengan NRP 2314106004. Pada jurusan Teknik Kimia penulis mengambil Bidang Studi Biokimia Penulis telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “Pra Desain Pabrik Gula Cair Dari Tebu (*Liquid Cane Sugar*)” dan skripsi dengan judul “Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cells* (MFCs)” menjadikan penulis sebagai Sarjana Teknik.

Email: rositasarid@gmail.com

RIWAYAT PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Chanifah Hidayah biasa dipanggil Ifa dilahirkan di Surabaya, 18 Juli 1992 merupakan anak ketiga dari delapan bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari SD Muhammadiyah 5 Surabaya, SMP Muhammadiyah 9 Surabaya, SMK Negeri 5 Surabaya penulis diterima di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan telah terdaftar dengan NRP 2314106037. Pada jurusan Teknik Kimia penulis mengambil Bidang Studi Biokimia Penulis telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “Pra Desain Pabrik Gula Cair Dari Tebu (*Liquid Cane Sugar*)” dan skripsi dengan judul “Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cells* (MFCs)” menjadikan penulis sebagai Sarjana Teknik.

Email: chanifahhidaya@yahoo.co.id