

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Komponen Dasar <i>Microbial Fuel Cell</i>	5
Gambar 2.2 <i>Sel Volta</i>	6
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian <i>Microbia Fuel Cell</i>	11
Gambar 3.2 (a) <i>Reaktor Microbial Fuel cell</i> , (b) Reaktor Pemanas.....	15
Gambar 4.1 Desain MFC <i>dual-chamber</i>	17
Gambar 4.2 Grafik kuat arus dalam berbagai temperatur	19
Gambar 4.3 Grafik tegangan dalam berbagai temperaur.....	20
Gambar 4.4 Grafik daya dalam berbagai temperatur	21
Gambar 4.5 Grafik energi dalam berbagai temperatur	22

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara agraris, Indonesia dianugerahi kekayaan alam yang sangat melimpah[1]. Luas lahan sawah di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 8,19 juta hektar atau meningkat sekitar 1,16% dari tahun sebelumnya. Berdasarkan data Kementerian Pertanian, jumlah tersebut terdiri dari 4,78 juta hektar sawah irigasi dan 3,4 juta hektar sawah non irigasi[2]. Oleh karena itu, melimpahnya lahan sawah di Indonesia maka melimpah pula lumpur sawah. lumpur sawah dapat dimanfaatkan sebagai bakteri untuk menghasilkan energi listrik dan lumpur sawah dipilih karena memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan lumpur lain karena bakteri aktif tumbuh lebih cepat di sekitar akar tanaman padi dan juga karena faktor kesuburan tanah. Bakteri spesies seperti *Shewanella oneidensis*, *Rhodoferrax ferrireducens*, dan *Geobacter sulfurreducens*, ditemukan secara alami dalam tanah, tidak hanya menghasilkan elektron dalam proses perombakan makanan, tetapi bakteri ini juga dapat mentransfer elektron dari satu lokasi ke lokasi lain.

Microbia Fuel Cell atau lebih dikenal dengan singkatan MFC merupakan sistem pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan interaksi bakteri yang berada di alam dengan mengubah bahan organik menjadi energi listrik[3]. Sifat bakteri yang dapat mendegradasi medium organik (*enrichment media*) pada MFC (*Microbial Fuel Cell*) menghasilkan ion elektron dan proton. Ion-ion inilah yang menghasilkan perbedaan potensial listrik sehingga dapat dihasilkan energi. Umumnya pada sistem konvensional, MFC terdiri dari dua ruang yang terdiri dari ruang anoda dan katoda. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh sebuah membran tempat terjadinya pertukaran proton (*proton exchange membrane*).

Dalam pertumbuhannya setiap makhluk hidup membutuhkan nutrisi yang mencukupi serta kondisi lingkungan yang mendukung demi proses pertumbuhan tersebut, termasuk juga bakteri. Pertumbuhan bakteri pada umumnya akan dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Pengaruh faktor ini akan memberikan gambaran yang memperlihatkan peningkatan jumlah sel yang berbeda dan pada akhirnya memberikan gambaran pula terhadap kurva pertumbuhannya[4].

Dengan pemanfaatan lumpur sawah sebagai substrat dalam sistem MFC, diharapkan dapat mejadi salah satu alternatif pengolahan limbah untuk mendapatkan sumber energi yang murah dan terjangkau. Adapun eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengembangan dari penemuan-penemuan sebelumnya. Pada penelitian ini akan dicari suhu maksimal metabolisme mikroba dari substrat lumpur sawah, sehingga output pola arus dan tegangan yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan reaktor tanpa menggunakan kontrol temperatur.

1.2 Rumusan Penelitian

Rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimanakah arus dan tegangan sebagai fungsi waktu?
2. Pengaruh temperatur terhadap daya listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam tugas ini antara lain :

1. Menganalisis arus dan tegangan sebagai fungsi waktu.
2. Menganalisis nilai temperatur maksimal untuk menghasilkan daya listrik.

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas, dibatasi dengan beberapa batasan diantaranya :

1. Reaktor *Microbial Fuel Cell* menggunakan bahan akrilik.
2. Menggunakan membran Jembatan Garam.
3. Substrat yang digunakan pada kompartemen anoda adalah lumpur sawah.
4. Larutan yang digunakan pada kompartemen katoda adalah larutan akuades.
5. Rentang temperatur yang digunakan adalah 28 °C – 38 °C dengan kenaikan 2 °C.
6. Tidak membahas terlalu dalam mengenai bakteri.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur Studi literatur dilakukan dengan mempelajari pustaka-pustaka tentang sistem dan parameter yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini.
2. Perancangan *Microbial Fuel Cell* Pada tahap ini dilakukan perancangan *Microbial Fuel Cell* sesuai hasil studi literatur yang telah dipelajari sebelumnya.
3. Pembuatan *Microbial Fuel Cell* Desain perancangan yang telah dibuat kemudian diimplementasikan menjadi *Microbial Fuel Cell* yang nyata.
4. Percobaan dan Analisis Dari beberapa uji coba didapatkan data yang akan dianalisis dan dievaluasi terhadap target yang ingin dicapai.
5. Perbaikan Pada tahap ini dilakukan perbaikan pada sistem yang masih terdapat kekurangan.
6. Penulisan Laporan Berisi tentang hasil dari percobaan berupa data-data dan analisis berdasarkan percobaan yang telah dilakukan sebelumnya.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri atas penjelasan mengenai latar belakang masalah, tujuan masalah, rumusan masalah, batasan masalah metode penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan mengenai teori umum yang akan digunakan dan mendasari penelitian ini antara lain, *Microbial Fuel Cell*, jenis material elektroda, dan materi lain yang mendukung tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi pembahasan tentang langkah-langkah penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur penelitian, serta metode analisis yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan dari hasil pengujian dan analisis yang didapatkan dari data-data hasil percobaan.

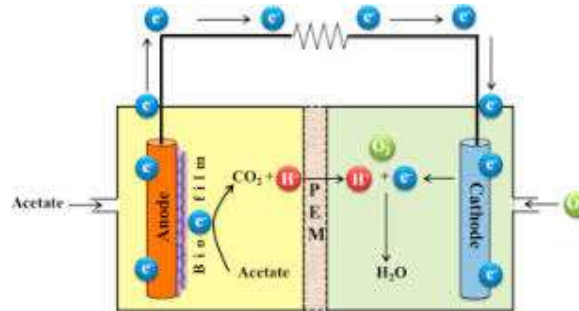
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi penjelasan tentang kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian sistem dan analisis yang telah dilakukan serta saran-saran yang dapat membangun dan memperbaiki tugas akhir ini untuk penelitian selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

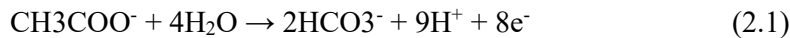
2.1 *Microbial Fuel Cell*

Microbial Fuel Cell merupakan perangkat yang menggunakan bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi zat organik dan anorganik sehingga menghasilkan arus listrik[5]. MFC pada umumnya terdiri dari katoda, anoda, membran penukar kation atau proton, dan rangkaian listrik.



Gambar 2.1 Skema Komponen Dasar *Microbial Fuel Cell*

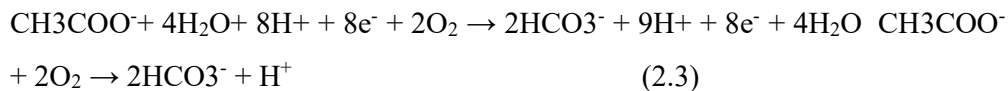
Elektron yang dihasilkan oleh bakteri dari substrat ditransfer menuju anoda (terminal negatif) dan mengalir menuju katoda (terminal positif) yang dihubungkan oleh sebuah bahan konduktif yang mengandung resistor atau dioperasikan dibawah beban[6]. Pada katoda, reaksi proton dan elektron terhadap oksigen akan menghasilkan air. Sebagai bagian dari proses *digestive* bakteri, pada kompartemen anoda bahan bakar atau substrat dioksidasi dan menghasilkan ion positif (H^+) dan elektron (e^-).



Pada kompartemen katoda akan terjadi reaksi reduksi yaitu kombinasi ion positif, elektron dan oksigen yang kemudian membentuk air.



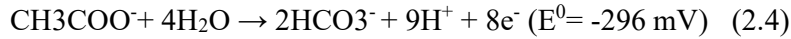
Reaksi keseluruhan dari jumlah reaksi setengah sel tersebut yaitu:



Persamaan reaksi tersebut menunjukkan proses degradasi asetat oleh mikroorganisme yang terjadi pada kondisi aerobik (oksigen digunakan sebagai akseptor elektron). Tegangan yang dihasilkan oleh MFC dapat disimpulkan secara

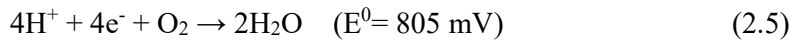
klasik dari energi bebas Gibbs terhadap reaksi redoks utama (dengan kondisi $\text{pH} = 7$, $T = 298 \text{ K}$):

Anoda (oksidasi asetat)



Katoda

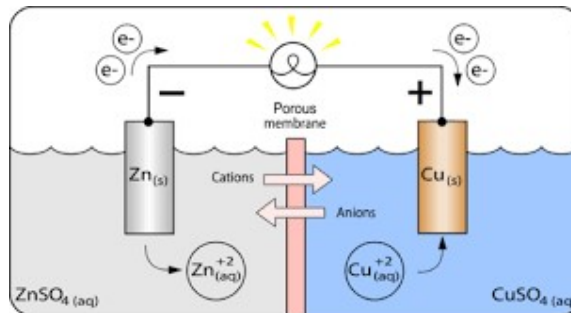
(reduksi oksigen)



Sementara nilai gaya gerak listrik secara teoritis adalah 1,1 volt, nilai yang sebenarnya selalu kurang dari teoritis. Kerugian atau kehilangan daya yang terjadi dipengaruhi oleh metabolisme bakteri dan arsitektur biofilm. Namun demikian, tegangan sebenarnya dari MFC umumnya berkisar 0,6 sampai 0,8 volt[7].

2.2 Sel Volta

Reaksi redoks ada yang berlangsung spontan dan ada yang tidak berlangsung spontan. Berdasarkan hal tersebut sel elektrokimia dibedakan menjadi dua, yaitu sel volta dan sel elektrolisis. Sel Volta/Galvani merupakan sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik, dengan kata lain reaksi redoks spontan[8].

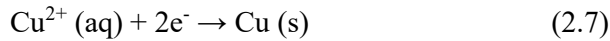


Gambar 2.2 *Sel Volta*

Pada rangkaian diatas, logam zink dicelupkan dalam larutan yang mengandung ion Zn^{2+} (ZnSO_4) sementara logam tembaga dicelupkan dalam larutan ion Cu^{2+} (CuSO_4). Logam zink akan larut sambil melepas dua elektron, elektron yang dibebaskan tidak memasuki larutan tetapi tertinggal pada logam zink.



Elektron tersebut selanjutnya akan mengalir ke logam tembaga melalui kawat penghantar. Ion Cu^{2+} akan mengambil elektron dari logam tembaga kemudian mengendap.



Dengan demikian, rangkaian tersebut dapat menghasilkan aliran elektron (listrik). Namun bersamaan dengan melarutnya logam zink, larutan dalam labu sebelah kiri menjadi bermuatan positif, hal ini akan menghambat pelarutan logam zink selanjutnya. Sementara itu, larutan dalam labu sebelah kanan akan bermuatan negatif seiring dengan mengendapnya ion Cu^{2+} , hal ini akan menahan pengendapan ion Cu^{2+} . Akibatnya aliran elektron yang disebutkan di atas tidak akan berkelanjutan.

Untuk menetralkan muatan listriknya, kedua larutan dihubungkan dengan jembatan garam, yaitu larutan garam (seperti KCl , NH_4NO_3) dalam agar-agar. Ion-ion negatif dari jembatan garam akan bergerak ke labu kiri untuk menetralkan kelebihan ion Zn^{2+} , sedangkan ion-ion positif akan bergerak ke labu kanan untuk menetralkan kelebihan ion SO_4^{2-} . Jembatan garam melengkapi rangkaian tersebut sehingga menjadi suatu rangkaian tertutup, tanpa kehadiran jembatan garam tidak ada arus listrik yang dapat diukur[9].

Logam zink dan tembaga yang menjadi kutub-kutub listrik pada rangkaian sel volta di atas disebut elektroda. Elektroda tempat terjadinya oksidasi disebut anoda, sedangkan elektroda tempat terjadinya reduksi disebut katoda. Oleh karena oksidasi adalah pelepasan elektron, maka anoda adalah kutub negatif (zink), sedangkan katoda merupakan kutub positif (tembaga)[10].

2.3 Elektroda

MFC atau sel bahan bakar biologis merupakan suatu sistem berbasis prinsip bioelektrokimia, sehingga diperlukan material elektroda berupa anoda dan katoda dalam aplikasinya.

2.3.1 Katoda

Katoda merupakan elektroda tempat terjadinya reduksi tembaga (Cu)[9]. Dalam sistem ini, perancangan katoda merupakan titik penting sistem dapat bekerja

dengan baik. Material katoda haruslah memiliki konduktivitas yang baik karena akan terjadi reaksi kimia berupa perpindahan elektron dari sirkuit luar dan proton.

Material yang dapat digunakan adalah tembaga, maupun seng, dapat pula dilengkapi katalis seperti platina. Platina memiliki konduktivitas yang cukup tinggi, namun memiliki harga yang cukup mahal.

2.3.2 Anoda

Material anoda yang digunakan harus bersifat konduktif, biocompatible (sesuai dengan makhluk hidup), dan stabil secara kimia di dalam larutan reaktor. Logam seperti stainless steel nonkorosif dapat dimanfaatkan sebagai anoda, tetapi tembaga tidak dapat digunakan karena terdapat toksisitas ion tembaga terhadap bakteri. Material elektroda yang paling baik adalah karbon, diantaranya tersedia dalam bentuk lempeng grafit (batang atau granula), dalam bentuk berserat/fiber, dan glass carbon[11].

Material yang paling sederhana dan sering digunakan untuk elektroda anoda adalah lempeng atau batang grafit karena harganya yang relatif murah, sederhana, dan memiliki luas permukaan tertentu. Material berbasis karbon juga memiliki sifat konduktivitas yang tinggi, strukturnya kuat, dan juga sifat permukaan yang sesuai untuk perkembangan biofilm.

2.4 Jembatan Garam

Dalam penelitian ini, Menggunakan jenis MFC *Dual Chamber* yang intinya memiliki dua ruang yang dipisahkan oleh membran penukar kation (PEM) atau jembatan garam. Membran pada jembatan garam haruslah permeable atau dapat ditembus sehingga proton yang dihasilkan pada anoda dapat berpindah ke katoda. Membran ini juga berfungsi sebagai penghalang agar tidak terjadi transfer jenis lain seperti subsrat dan lainnya. Kekurangan dari penggunaan jembatan garam adalah output yang lebih rendah dibandingkan menggunakan membran khusus pada MFC seperti Cation Exchange Membrane (CEM), namun mengingat harga dari CEM yang cukup tinggi[12], penggunaan jembatan garam merupakan pilihan yang sesuai.

2.5 Kandungan Bakteri Lumpur Sawah

Sesuai dengan namanya, lumpur sawah mengandalkan bakteri dalam proses transfer elektron untuk menghasilkan listrik. Bakteri bekerja pada kondisi anaerob. Lumpur sawah dipilih karena memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan lumpur lain karena bakteri aktif tumbuh lebih cepat di sekitar akar tanaman padi dan juga karena faktor kesuburan tanah. Bakteri spesies seperti *Shewanella oneidensis*, *Rhodoferrax ferrireducens*, dan *Geobacter sulfurreducens*, ditemukan secara alami dalam tanah, tidak hanya menghasilkan elektron dalam proses perombakan makanan, tetapi bakteri ini juga dapat mentransfer elektron dari satu lokasi ke lokasi lain. Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri. Setiap bakteri mempunyai kisaran suhu dan suhu optimum tertentu untuk pertumbuhannya. Berdasarkan kisaran suhu pertumbuhan bakteri dibedakan atas 3 kelompok yaitu, *Psikrofil* adalah bakteri yang mempunyai kisaran suhu 0°-20° C, *Mesofil* yaitu bakteri yang mempunyai kisaran suhu pertumbuhan 20°-45° C, dan *Termofil* yang mempunyai suhu diatas 45°C. Kebanyakan mikroba perusak pangan merupakan mikroba mesofil, yaitu tumbuh baik pada suhu ruangan atau suhu kamar. Bakteri pathogen umumnya mempunyai suhu optimum pertumbuhan sekitar 37°C, yang juga adalah suhu tubuh manusia. Oleh karena itu suhu tubuh manusia merupakan suhu yang baik untuk pertumbuhan beberapa bakteri pathogen. Mikroba perusak dan pathogen umumnya dapat tumbuh pada kisaran suhu 4–66°C[13].

Tabel 2.1 Karakteristik Electrogenic Bacteria [15-17]

Nama Bakteri	Temperatur Optimum
<i>Shewanella Oneidensis</i>	30°C
<i>Rhodoferrax Ferrireducens</i>	25°C
<i>Geobacter Sulfurreducens</i> [30°C

2.6 Reaktor Pemanas

Reaktor adalah perangkat terjadinya suatu reaksi, baik reaksi kimia maupun reaksi fisika. Dalam reaktor sendiri air memiliki suhu 25°C - 27°C kemudian dipanaskan sehingga memiliki suhu 28°C - 38°C [14].

Untuk tiap 2°C kenaikan temperatur prosesnya sebagai berikut :

- Elemen pemanas dihubungkan dengan sumber tegangan
- Elemen pemanas akan memanaskan air hingga temperatur air meningkat
- Kenaikan temperatur dibaca oleh sensor suhu yang telah ditentukan set point-nya
- Apabila suhu air mencapai set point, relay memutuskan tegangan input sehingga suhu air turun mencapai batas bawah
- Apabila suhu air yang dideteksi mencapai batas bawah, relay menghubungkan kembali tegangan input sehingga suhu naik kembali mencapai set point

Air yang telah melalui proses pemanasan didistribusikan dengan pompa menuju chamber tempat anoda berada & selang out berfungsi mengalirkan air kembali menuju reaktor demi menjaga suhu chamber adanya substrat tetap konstan.