

**KARAKTERISTIK ELEKTRIK MICROBIAL FUEL CELL PADA
MEMBRAN PVA/KITOSAN DENGAN VARIASI ASAM
FOSFAT DAN SODIUM ALGINAT YANG DILAPISI
ASAM STEARAT DARI LIMBAH SAYUR**

(Skripsi)

Oleh

IQBAL ADI NUGRAHA



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK ELEKTRIK MICROBIAL FUEL CELL PADA MEMBRAN PVA/KITOSAN DENGAN VARIASI ASAM FOSFAT DAN SODIUM ALGINAT YANG DILAPISI ASAM STEARAT DARI LIMBAH SAYUR

Oleh

IQBAL ADI NUGRAHA

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan salah satu sumber energi alternatif sebagai penghasil energi listrik dan dapat berasal dari limbah sayur. Membran yang umum digunakan pada sistem MFC yaitu membran nafion, tetapi harganya mahal dan harus import. Membran PVA dan kitosan merupakan alternatif sebagai pengganti membran nafion. Tujuan penelitian adalah untuk menentukan kinerja elektrisitas variasi membran PVA-kitosan dengan penambahan sodium alginat atau asam fosfat. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sistem MFC *dual chamber* yang terbuat dari akrilik dengan volume masing-masing kompartmen ± 250 ml. Kompartmen anoda berisi limbah sayur dengan elektroda karbon dan kompartmen katoda berisi elektrolit air laut dengan elektroda Cu(Ag). Sistem MFC terdiri atas 10 sel yang dirangkai seri. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa substrat limbah sayur dengan penambahan bakteri EM4 dapat dijadikan salah satu sumber energi alternatif dan penggunaan variasi pada membran PVA-kitosan tanpa penambahan menghasilkan tingkat maksimum tegangan tertinggi yaitu sebesar 2,25 volt dibandingkan dengan penambahan sodium alginat atau asam fosfat sebesar 1,941 volt dan 2,1 volt.

Kata kunci : energi listrik, PVA-kitosan, *microbial fuel cell*

ABSTRACT

ELECTRIC CHARACTERISTICS OF MICROBIAL FUEL CELL IN PVA/CHITOSAN MEMBRANES WITH VARIATIONS OF ACIDS COATED PHOSPHATE AND SODIUM ALGINATE STEARIC ACID FROM VEGETABLE WASTE

By

Iqbal Adi Nugraha

Microbial Fuel Cell (MFC) is one of the alternative energy sources as a producer from vegetable waste. The membrane that is commonly used in the MFC system is the Nafion membrane, but it is expensive and must be imported. PVA membrane and chitosan is an alternative as a substitute for Nafion membrane. The purpose of this study was to determine the electrical performance of variations of PVA-chitosan membrane with the addition of sodium alginate or phosphoric acid. The study was conducted using a dual chamber MFC system made of acrylic with a volume of ± 250 ml for each compartment. The anode compartment contains vegetable waste with carbon electrodes and the cathode compartment contains seawater electrolyte with Cu(Ag) electrodes. The MFC system consists of 10 cells in series. From the results of the study, it was concluded that the vegetable waste substrate with the addition of EM4 bacteria can be used as an alternative energy source and the use of variations on the PVA-chitosan membrane without addition produces the highest maximum voltage level of 2.25 volts compared to the addition of sodium alginate or phosphoric acid of 2.25 volts, 1,941 volts and 2.1 volts.

Keyword : *electrical energy, PVA-chitosan, microbial fuel cell*

**KARAKTERISTIK ELEKTRIK MICROBIAL FUEL CELL PADA
MEMBRAN PVA/KITOSAN DENGAN VARIASI ASAM
FOSFAT DAN SODIUM ALGINAT YANG DILAPISI
ASAM STEARAT DARI LIMBAH SAYUR**

Oleh

Iqbal Adi Nugraha

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi

: **Karakteristik Elektrik *Microbial Fuel Cell* pada Membran PVA/Kitosan dengan Variasi Asam Fosfat dan Sodium Alginat yang dilapisi Asam Stearat dari Limbah Sayur**

Nama Mahasiswa

: **Iqbal Adi Nugraha**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1717041077**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**

Drs. Amir Supriyanto M.Si.
NIP. 196504071991111001

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA**

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

Ketua

: Drs. Amir Supriyanto M.Si.



Sekretaris

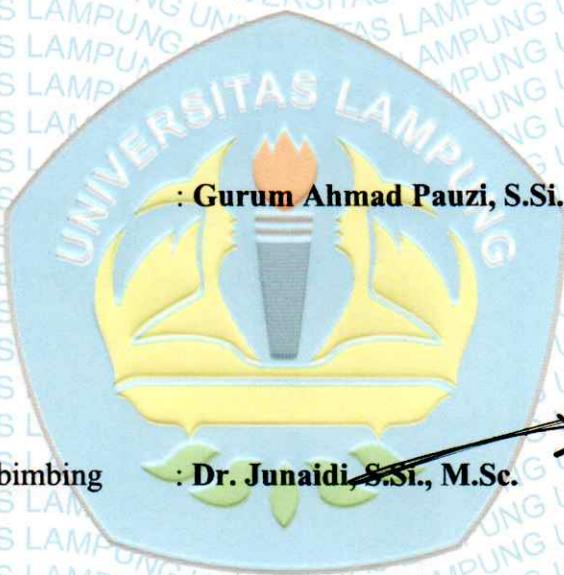
: Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.



2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Dr. Eng. Surtpto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.
NIP. 19740705200031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 April 2022

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Mei 2022



Iqbal Adi Nugraha
NPM.1711041077

RIWAYAT HIDUP



Iqbal Adi Nugraha dilahirkan di Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta pada 5 Maret 1999, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Bapak Achmad Mudhofar dan Ibu Sundawati. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 01 Warakas Jakarta Utara tahun 2005-2011, SMP Negeri 95 Jakarta Utara tahun 2011- 2014, dan melanjutkan ke SMA Negeri 18 Jakarta Utara tahun 2014-2017. Tahun 2017, penulis melanjutkan jenjang pendidikan tinggi tepatnya di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung dan mengambil konsentrasi dalam bidang Instrumentasi Fisika. Selama menjalani pendidikan tinggi tersebut, ia juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai pengurus di bidang Kominfo tahun 2018 , kemudian pernah menjabat sebagai Ketua Bidang Kominfo pada kepengurusan HIMAFI tahun 2019, dan pada kepengurusan tahun 2021 menjabat sebagai Menteri Bidang Kominfo pada kepengurusan IHAMAFI.

Penulis juga pernah menempuh Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Serpong, Tangerang Selatan dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Mandiri Putra Daerah, di Kelurahan Sunter Kota Jakarta Utara. Pengalaman menulis ilmiahnya yakni laporan PKL

“Sistem Kerja Vital Sign Mp01000 pada Modul Pengukuran Suhu dengan Dukungan Hardware Telemedicine”

MOTTO

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

“Jangan pernah sia-saiakan 5 menit kesempatan kepadamu, bisa jadi 5 menit itu yang dapat merubah hidup”(Pandji Pragiwaksono).

“Enjoy the problem, find the solution, and don’t stop”

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, Karya ini dipersembahkan kepada:

Kedua Orang Tua dan Keluarga Besar

Terimakasih atas segala Doa, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Bapak-Ibu Guru

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka hati dan wawasan

Sahabat dan Teman Seperjuangan

Terimakasih atas segala kebaikan dan kebersamaan kalian

Almamaterku Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Karakteristik Elektrik *Microbial Fuel Cell* pada Membran PVA/Kitosan dengan Variasi Asam Fosfat dan Sodium Alginat yang dilapisi Asam Stearat dari Limbah Sayur”**. Tujuan penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dalam penulisan karya ilmiah ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, adanya kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat menambah wawasan literasi keilmuan serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya yang lebih baik.

Bandar Lampung, 17 Mei 2022

Penulis

Iqbal Adi Nugraha

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Karakteristik Elektrik *Microbial Fuel Cell* pada Membran PVA/Kitosan dengan Variasi Asam Fosfat dan Sodium Alginat yang dilapisi Asam Stearat dari Limbah Sayur”**. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, diantaranya:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto M.Si selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu, waktu, tenaga, dan motivasi dalam penelitian dan penulisan skripsi.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya dalam penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Junaidi S.Si., M.Sc selaku Dosen Pembahas dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini dapat lebih baik.

4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Para Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
6. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi dan lainnya selama menjadi mahasiswa fisika.
7. Bapak dan Ibu serta keluarga besar yang tanpa kenal lelah bekerja keras, memberi semangat, dan motivasi penulis dalam menggapai segala impiannya.
8. Rekan Penelitian, Ferina, Nila, dan Syaiful yang saling memberi semangat dan selalu membantu dalam setiap kesempatan.
9. Teman-teman yang sangat berhati baik, Raden, Fero, Mario, Ican, Sutiarno, Hasna, Khadafi, Dinisyah, Rina, Dea, dan Wulan . Terima kasih untuk segala bantuan kalian baik dari segi tempat, barang, kesan, saran, kehangatan, dan kebersamaan dalam melancarkan penelitian dan skripsi ini.
10. Teman-teman dan keluarga besar Himafi yang telah memberikan semangat, solidaritas, kekeluargaan, dan pengalaman yang luar biasa.
11. Serta berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah Subhanahu wa ta'ala dapat membalas seluruh kebaikan dan mempermudah segala urusannya.

Bandar Lampung, 17 Mei 2022

Penulis

Iqbal Adi Nugraha

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan penelitian.....	5

1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Masalah.....	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait	7
2.2. Dasar Teori.....	11
2.2.1. <i>Microbial Fuel Cell (MFC)</i>	11
2.2.2. Sistem <i>Dual Chamber</i> pada <i>Microbial fuel cell (MFC)</i>	13
2.2.3. Elektrolisis	14
2.2.4. Elektroda	16
2.2.5. Sel Volta	17
2.2.5. Elektroplating	19
2.2.6. EM4 (<i>Effective Microorganism 4</i>).....	23
2.2.7. Tembaga (Cu).....	25
2.2.8. Perak (Ag)	26
2.2.9. Fungsi Separator MFC	27
2.2.10. <i>Poli Vynil Alcohol (PVA)</i>	28
2.2.11. Polimer Kitosan	30
2.2.12. Asam Fosfat (H_3PO_4)	31

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
3.2. Alat dan Bahan.....	33
3.3. Tahapan Penelitian	35
3.3.1. Perancangan Alat <i>Microbial Fuel Cell (MFC)</i>	37
3.3.2. Elektroplating Cu(Ag)	38
3.3.3. Pembuatan Separator	39
3.3.3.1. Pembuatan Membran PVA/Kitosan	39
3.3.3.2. Membran PVA/Kitosan-Asam Fosfat	40
3.3.3.3. Membran PVA/Kitosan-Sodium Alginat	40
3.3.3.4. Pelapisan Membran MFC.....	41
3.3.4. Pengujian Sistem dan Pengambilan Data	42
3.4. Metode Analisis	45

IV. PEMBAHASAN

4.1. Analisis dan Realisasi Sistem MFC.....	47
4.2. Hasil Penelitian	51
4.2.1. Pengukuran Tegangan <i>Open Circuit Voltage (OCV)</i>	52
4.2.2. Pengukuran Arus.....	55
4.2.3. Pengukuran Daya dan Hambatan.....	56

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. a). Desain Alat yang digunakan pada penelitian MFC b). Alat <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC)	7
Gambar 2.2. Skema reaktor <i>fuel cell</i>	10
Gambar 2.3. Desain <i>microbial fuel cell dual chamber</i>	13
Gambar 2.4. Proses elektrolisis	15
Gambar 2.5. Skema utama proses electroplating	21
Gambar 2.6. Struktur polimer kitosan	31
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	36
Gambar 3.2. Desain sistem seri <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC)	37
Gambar 3.3. Spesifikasi <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC).....	38
Gambar 3.4. Skema elektroplating pada logam.....	39
Gambar 3.5. Separator pada <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC)	41
Gambar 3.6. Grafik pengukuran tegangan dan hambatan terhadap waktu.....	44
Gambar 3.7. Grafik hubungan antara arus (I) terhadap waktu (jam)	44
Gambar 3.8. Grafik hubungan antara daya (P) terhadap waktu (jam).....	45
Gambar 4.1. Membran PVA-Kitosan Sebelum (A) dan Sesudah dilapisi <i>Stearic acid</i> (B).....	49

Gambar 4.2. Realisasi Sistem <i>Microbial Fuel Cells</i>	50
Gambar 4.3. Hubungan antara V_{ocv} terhadap Waktu dengan Variasi PVA/Kitosan menggunakan Penambahan Sodium Alginat dan Asam Fosfat.....	52
Gambar 4.4. Hubungan antara Kuat Arus Listrik pada Sistem <i>Microbial Fuel Cell</i> terhadap Waktu	55
Gambar 4.5. Hubungan Hasil Perhitungan Hambatan (R) pada MFC dari Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik terhadap Waktu.....	57
Gambar 4.6. Hubungan Nilai Perhitungan Daya dalam Sistem MFC terhadap Waktu	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Komposisi Substrat pada Reaktor MFC	10
Tabel 2.2. Nilai Potensial Elektroda.....	18
Tabel 2.3. Sifat Kimia <i>Poli Vynil Alcohol</i> (PVA)	30
Tabel 3.1. Data Pengamatan Karakteristik Elektrik Membran PVA/Kitosan	43
Tabel 3.3. Data pengamatan Karakteristik Elektrik Membran PVA/Kitosan- Sodium Alginat	43
Tabel 3.3. Data Pengamatan Karakteristik Elektrik Membran PVA/Kitosan- Asam Fosfat.....	43

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses disebut sampah, suatu material dapat dikatakan sampah dengan melihat tingkat keterpakaiannya. Sampah dibagi menjadi dua jenis yaitu sampah organik dan sampah non organik. Sampah non organik merupakan sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non hayati baik berupa produk sinterik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang atau sumber daya alam dan tidak dapat diuraikan oleh alam, yaitu botol plastik, tas plastik, dan kaleng. Sampah organik termasuk jenis sampah menurut sifatnya atau disebut sebagai limbah organik, yaitu limbah pembalakan, limbah industri kayu, dan limbah perbunan, atau limbah pasar seperti sayur-sayuran. Sampah merupakan permasalahan yang sangat krusial, sampah dapat dikatakan masalah kultural karena dampaknya terkena pada berbagai sisi kehidupan. Sumber sampah terbesar berasal dari sampah pemukiman dan pasar tradisional. Sampah pemukiman umumnya sangat beragam, tetapi secara umum minimal 75% terdiri dari sampah organik. Sedangkan sampah pasar relatif seragam, Sebagian besar (95%) berupa sampah organik sehingga lebih mudah ditangani (Sudradjat, 2007) .

Limbah organik bisa jadi sangat bermanfaat bagi kehidupan di bumi, yang saat ini sering digunakan yaitu pengolahan limbah organik menjadi kompos. Limbah sayur sayuran merupakan salah satu jenis limbah organik, jenis ini sangat mudah ditemukan di Indonesia atau negara-negara penghasil sayuran. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil tanaman hortikultura yang melimpah, khususnya tanaman sayur-sayuran. Produksi sayur di Indonesia yang di data oleh badan pusat statistika (BPS) mencapai 46.328.488 ton pada tahun 2019. Melihat banyaknya produksi sayur di Indonesia dan sayur juga merupakan bahan makanan yang mudah rusak, hal tersebut akan memengaruhi potensi produk menjadi sampah. Sampah sayur sangat mudah ditemukan di pasar tradisional atau limbah rumah tangga. Salah satu penyebab sayur mudah rusak dan menjadi sampah adalah kandungan air yang tinggi yaitu berkisar 85-95%, sehingga sangat baik untuk pertumbuhan mikroorganisme dan percepatan reaksi metabolisme (Imaduddin dkk., 2014).

Limbah sayur atau organik ini biasanya diolah dengan cara pengomposan, namun proses pengomposan ini dapat berdampak pada lingkungan seperti *asidifikasi* pada lingkungan yang terjadi pada lokasi pembuangan akhir. Selain menggunakan proses pengomposan, hasil dari metabolisme limbah sayur dengan bantuan mikroorganisme dapat dimanfaatkan untuk *microbial fuel cell* (MFC), sehingga dapat menghasilkan energi listrik dari berbagai limbah organik (Akbar dkk., 2017). Prinsip dasar MFC sama dengan sel bahan bakar umum kecuali sumber elektron, elektron pada MFC berasal dari oksidasi senyawa organik oleh mikroba (Ismawati dkk., 2015). Hampir semua limbah organik dapat digunakan dalam proses MFC jika menggunakan elektroda yang

tepat seperti anoda dan katoda (Akbar dkk., 2017). *Microbial fuel cell* (MFC) merupakan teknologi yang memanfaatkan mikroorganisme yang ada di alam dengan mengubah bahan organik menjadi energi listrik. Sifat bakteri yang dapat mengoksidasi zat organik pada *microbial fuel cell* (MFC) menghasilkan ion elektron dan proton, yang nantinya akan terjadi perbedaan potensial listrik sehingga dapat dihasilkan energi listrik. Umumnya, *microbial fuel cell* (MFC) menggunakan dua ruang yang dipisahkan oleh separator sebagai tempat pertukaran proton dan menggunakan dua elektroda sebagai tempat terjadinya pertukaran elektron (Purnama dkk., 2020). Separator MFC berbagai macam jenis, dapat menggunakan jembatan garam pada penelitian Ali dan Widodo (2019) dan *membrane* PVA (Ibrahim dkk., 2017). *Polyvinyl Alcohol* (PVA) merupakan bahan sintesis yang dapat terbiodegradasi yang memiliki keuntungan berupa pembentukan film yang baik, konglutinasi yang kuat, dan stabilitas termal yang tinggi (Terzioglu dan Parin, 2020). Elektroda juga memiliki beragam jenis yang salah satunya yaitu tembaga, elektroda ini dibagi menjadi dua bagian yaitu anoda dan katoda. Muatan negatif pada anoda meninggalkan suatu bahan, sedangkan muatan negatif pada katoda memasuki perangkat listrik (Purnama dkk., 2020).

Penggunaan variasi membran, limbah, dan bakteri terhadap *microbial fuel cells* telah banyak diteliti. Berdasarkan penelitian Ibrahim dkk. (2017) mengenai kinerja MFC pada pengolahan limbah cair pemindangan dengan membran separator campuran polimer kitosan/PVA. Variasi membran pada penelitian tersebut menggunakan komposisi kitosan/PVA 2:3, 1:1, 3:2, dan non separator dengan melakukan uji karakteristik pada variasi membran, serta analisa membran MFC juga dilakukan pada

penelitian. Proton mengalir ke katoda melalui membran, dan elektron akan menempel di anoda kemudian mengalir melalui sirkuit eksternal atau elektroda (Ali dan Widodo, 2019). Sistem limbah pada MFC dibahas pada penelitian Mufandi dkk. (2018) mengenai pengolahan slurry sampah sayuran melalui MFC dengan metode pengambilan data elektrisitas pada variasi komposisi sampah sayuran dengan bantuan bakteri EM4, mikroorganisme pada MFC akan menempel pada anoda dalam kondisi *anaerobik*. Kemudian, akan terjadi proses degradasi sampah sayuran dan menghasilkan karbondioksida, proton, serta elektron. Aliran elektron melewati anoda dan proton melewati sirkuit membran, aliran elektron dan proton tersebut bereaksi dengan oksigen pada katoda dan menjadi air (Yokoyama dkk., 2006). Elektroda dalam proses penghantaran elektron dari anoda ke katoda akan mengalami korositas pada anoda. Korositas pada logam memiliki tingkat percepatan korosi yang berbeda beda, pada penelitian Purwanto dan Huda (2005) dilakukan proses pelapisan logam menggunakan metode elektroplating yang merupakan perpindahan ion logam dengan bantuan arus listrik melalui elektrolit sehingga ion logam tersebut mengendap pada benda padat konduktif dan membentuk lapisan logam. Proses tersebut dapat mengurangi tingkat korosi yang dapat menjadi hambatan bagi perpindahan elektron dan menyebabkan penurunan tingkat elektrisitas. Pada penelitian ini dilakukan analisa kinerja membran pada PVA/kitosan dengan penambahan sodium alginat dan asam fosfat serta menggunakan metode perendaman membran dengan bantuan polimer asam stearat sebagai bahan *hidrofobik* pada membran, metode perendaman ini dilakukan pada penelitian Liu dkk. (2020) dengan analisa penggunaan asam stearat sebagai bahan penghasil *spons* untuk pemisah air dengan minyak.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana proses dan hasil kerja *microbial fuel cell* (MFC) menggunakan limbah sayuran untuk menghasilkan energi listrik?
2. Adakah pengaruh penggunaan separator yang berbeda pada *microbial fuel cell* (MFC) dengan sistem *dual chamber*?
3. Bagaimana hasil perbandingan separator PVA-kitosan tanpa penambahan dan dengan penambahan sodium alginat atau asam fosfat?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian *microbial fuel cell* (MFC) menggunakan limbah sayur yaitu sebagai berikut.

1. Membuat energi terbarukan dengan limbah sayuran menggunakan *microbial fuel cell* (MFC).
2. Mendapatkan hasil data penggunaan separator yang berbeda pada sistem *dual chamber*.
3. Membandingkan hasil pengukuran energi listrik pada separator yang berbeda dalam *microbial fuel cell* (MFC)

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Mampu mengaplikasikan *microbial fuel cell* (MFC) menggunakan limbah sayur.
2. Mampu menghantarkan proton dengan hambatan yang kecil, agar menghasilkan energi listrik yang cukup besar.
3. Mendapatkan hasil pengukuran energi listrik yang lebih akurat pada *microbial fuel cell* (MFC) dengan perbandingan variasi separator.

1.5. Batasan Masalah

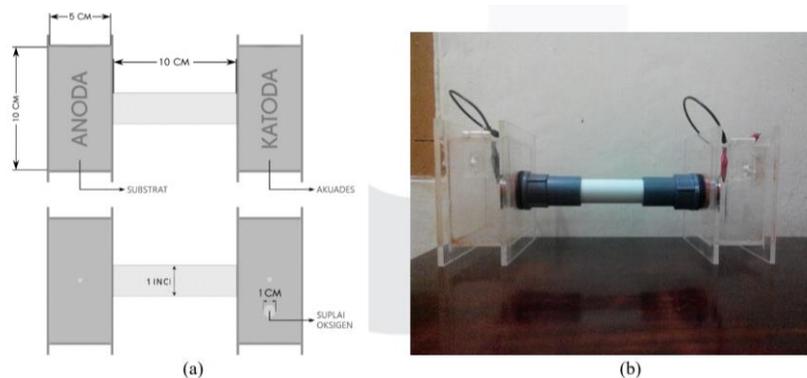
Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Limbah yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah sayur.
2. Menggunakan elektroda Cu(Ag) dan C.
3. Sistem yang digunakan pada penelitian ini yaitu *microbial fuel cell* (MFC) dengan sistem *dual chamber*.
4. Pemisah antara *chamber* sebagai tempat pertukaran proton menggunakan variasi campuran PVA, kitosan, sodium alginate, dan asam fosfat.
5. Mikroorganisme yang digunakan untuk fermentasi sayuran yaitu EM4.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Desain MFC dalam penelitian berbasis sel bio-elektrokimia yang dilakukan oleh Akbar dkk. (2017) menggunakan sistem *dual chambers* yg terdiri berdasarkan *kompartemen* anoda & katoda, menggunakan masing-masing kompartemen mampu menampung *volume* sampai 500 ml. Desain MFC yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. (a) Desain alat yang digunakan pada penelitian MFC,
(b) Alat yang digunakan pada penelitian MFC

Pemilihan material logam pada penelitian ini yaitu seng, aluminium, serta tembaga dengan bentuk pelat yang mempunyai luas permukaan 10 cm^2 , sebagai elektroda terhadap kinerja dari sistem MFC. Menggunakan reaktor MFC *dual chambers* dengan

kompartemen yang mempunyai dimensi $5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Pada sistem MFC *dual-chambers* ini menggunakan lumpur sawah sebagai substrat dalam kompartemen anoda, dan akuades dalam kompartemen katoda, serta jembatan garam ($\text{NaCl } 1 \text{ M}$) sebagai media *transfer* proton. Penelitian menunjukkan bahwa hasil maksimum kerapatan daya yang dapat dihasilkan dari sistem MFC mencapai $30,54 \text{ mW/m}^2$ (menit ke-65) dengan elektroda Cu/Zn sebagai pengukuran pertama, dan $32,62 \text{ mW/m}^2$ (menit ke-145) dengan elektroda Zn/Cu sebagai pengukuran kedua. Perolehan kuat arus dan tegangan pada kedua pengukuran tidak berbeda secara signifikan, secara keseluruhan nilai kuat arus semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu pengukuran. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa produksi energi listrik tertinggi dihasilkan oleh kombinasi elektroda dengan material seng dan tembaga.

Supiah (2010) melakukan penelitian ini dengan meneliti elektrolisis *aquades*, air sumur dan larutan soda dengan menggunakan elektroda *stainless steel* selama 900 detik dengan tegangan 12 V. Tahap penelitian yang dilakukan pada penelitian ini ialah sebagai berikut.

- a. Mengumpulkan sampel air sumur masing-masing 1000 cm^3 , yang diambil dari Daerah Istimewa Yogyakarta dan Klaten, yang diberi label ASKM, ASKR, ASBK dan ASKB serta membuat larutan soda kue (Na_2CO_3) menggunakan berbagai konsentrasi (SKM-1G, SKM-2G dan SKM-3G), yaitu dengan melarutkan masing-masing 1 gram, 2 gram dan 3 gram soda kue dalam 1000 cm^3 *aquades*.
- b. Menyiapkan peralatan elektrolisis, dengan menggunakan elektroda *stainless steel* lempengan dengan tebal 1 mm, lebar 52 mm dan panjang 97 mm, jumlah anoda

sebanyak 7 lempeng dan katoda sejumlah 8 lempeng, jarak antar elektroda 3,5 mm - 4 mm.

- c. Melakukan proses elektrolisis air sumur, larutan soda kue berbagai konsentrasi dan *aquades* (aq) pada tegangan 12 V, serta mengamati perubahan temperatur dan pH untuk masing-masing sistem selama 900 detik.
- d. Menentukan termogram temperatur dan waktu untuk masing-masing sistem.
- e. Membuat kurva perubahan pH terhadap waktu.

Berdasarkan data perubahan suhu dan pH selama proses elektrolisis, dapat dibuat termogram suhu dan waktu serta kurva perubahan pH untuk setiap sel elektrolisis. Untuk setiap sel elektrolit memberikan termogram dan kurva pH yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa setiap sel elektrolisis berperilaku berbeda, menunjukkan bahwa jenis dan atau jumlah bahan yang terlibat dalam proses elektrolisis dapat bervariasi.

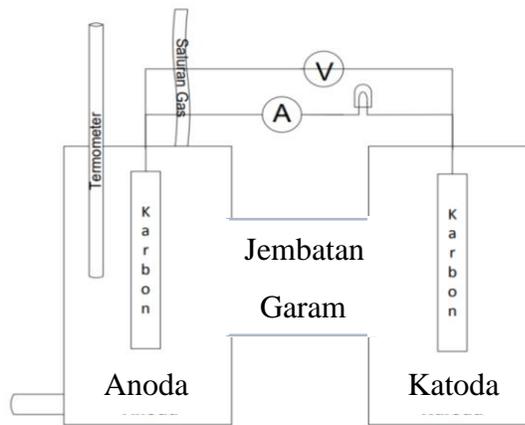
Dalam penelitian yang dilakukan oleh Imaduddin dkk. (2014) merupakan skala laboratorium, yaitu dengan membuat sistem miniatur yang dioperasikan untuk memperoleh data menggunakan reaktor MFCs. Sampel sampah yang digunakan adalah sampah sayuran dari Pasar Peterongan, Kota Semarang yang dikumpulkan menggunakan teknik *grab sampling*. Sampah sayuran tersebut kemudian dikarakterisasi jenis sayuran yang ada. Selanjutnya, dibuat sampel sampah artifisialnya dalam bentuk fase *slurry*. Variabel bebasnya adalah fraksi fasa *slurry* sampah sayuran, serta ada tidaknya penambahan mikroba EM4 pada reaktor. Variabel terikat yang berhubungan dengan parameter produksi listrik adalah tegangan listrik (*voltage*), dan

arus listrik. Selain itu, diukur pula pH dan temperatur terkait dengan kondisi lingkungan tempat hidup mikroba. Penelitian ini menggunakan 6 jenis reaktor utama dan 1 reaktor kontrol. Pada **Tabel 2.1** diperlihatkan komposisi reaktor yang digunakan.

Tabel 2.1. Komposisi substrat pada reaktor MFC

Reaktor	Komposisi substrat air:sampah sayur	Penambahan EM4 (50 ml)
R1	2:1	-
R1+	2:1	√
R2	1:1	-
R2+	1:1	√
R3	1:2	-
R3+	1:2	√
Kontrol	100% air	-

Skema reaktor MFCs dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema reaktor *microbial fuel cell*

Tujuan dari studi ini adalah untuk menerapkan MFC sebagai sebuah aplikasi sel volta untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan fase bubur limbah sayuran sebagai substrat. Variasi yang dilakukan pada perbandingan fase bubur: air adalah 1:2 ; 1:1 dan 2:1, serta penambahan EM4. Operasi dilakukan selama 21 hari. Produksi Tegangan

tertinggi terjadi pada reaktor R1 (1:2 dengan penambahan EM4) dan mencapai 1180 mV. Arus listrik 5,1 μA , daya listrik 6,02 mW, dan rapat daya 462,92 mW/m². Keberadaan air dalam MFC berperan dalam mekanisme nabati degradasi limbah. Kecenderungan kenaikan energi listrik pada awal pengoperasian reaktor menunjukkan adanya peningkatan sintesis seluler mikroorganisme. Penurunan energi listrik dipengaruhi oleh pH sebagai tempat hidup mikroorganisme dan lingkungan pembentukan media yang terpasang pada elektroda.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Salah satu sumber energi alternatif terbarukan ini adalah *Microbial Fuel Cells* (MFCs). MFCs adalah jenis utama dari *bioelectrochemical system* (BECs) yang mengonversi biomassa secara spontan mengubah biomassa menjadi listrik melalui aktivitas metabolisme mikroorganisme. MFCs dianggap sebagai teknologi berkelanjutan yang dapat mengatasi permintaan energi yang terus meningkat. MFCs telah banyak digunakan untuk mengolah air limbah seperti limbah domestik, limbah makanan, limbah bir, limbah wiski, limbah industri gula, limbah industri kertas, limbah penggilingan padi, limbah peternakan babi dan limbah fenolik (Mufandi dkk., 2018). *Microbial fuel cell* atau lebih dikenal dengan singkatan MFC adalah sistem untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan interaksi bakteri alami dengan mengubah bahan organik menjadi energi listrik, sifat bakteri yang dapat mendegradasi medium organik pada *microbial fuel cell* (MFC) menghasilkan ion elektron dan proton.

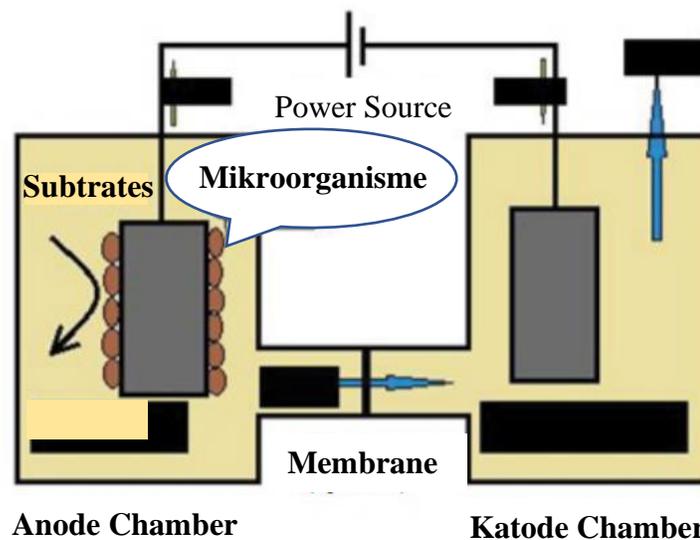
Ion-ion inilah yang menghasilkan perbedaan potensial listrik sehingga dapat dihasilkan energi. Umumnya pada sistem konvensional, MFC terdiri dari dua ruang yang terdiri dari ruang anoda dan katoda. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh sebuah membran tempat terjadinya pertukaran proton (*proton exchange membrane*) dan pada elektron akan terjadi pertukaran dengan melewati elektroda (Purnama dkk., 2020). *Microbial fuel cell* sama seperti *fuel cell* biasa yaitu tersusun berdasarkan katoda, anoda, dan larutan elektrolit. Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi, sedangkan katoda adalah tempat terjadinya reaksi reduksi. Pada *microbial fuel cell* digunakan kultur mikroba dalam kompartemen anoda. Mikroba akan melakukan metabolisme dalam keadaan anaerob dengan menguraikan glukosa menjadi proton, elektron (e) dan karbon dioksida (CO₂). Proton mengalir ke katoda melalui jembatan garam, sedangkan elektron yang menempel pada anoda kemudian mengalir melalui sirkuit eksternal menuju ke katoda. Pertemuan antara elektron dan proton inilah yang menyebabkan adanya perbedaan potensial antara kedua ujung elektroda (katoda dan anoda) sehingga menghasilkan daya listrik. Kemampuan *microbial fuel cell* dalam menghasilkan listrik bergantung pada reaksi elektrokimia yang terjadi antara penerima elektron akhir yang berpotensi tinggi (oksigen) dan substrat organik berpotensi rendah (glukosa). Glukosa sebagai molekul *biodegradable* akan terdegradasi seperti yang ditunjukkan pada reaksi persamaan 2.1.



(Ali dan Widodo, 2019)

2.2.2 Sistem *dual chamber* pada *microbial fuel cell* (MFC)

Pada penelitian MFC biasanya menggunakan sistem *dual chamber* yang terdiri dari anoda dan katoda terpisah pada kompartemen yang berbeda. Substrat yang digunakan pada MFC umumnya adalah limbah, karena sistem ini dinilai lebih efisien dengan nilai tambah yang menghasilkan energi (Dewi dkk., 2020). Anoda dan katoda dipisahkan oleh jembatan garam sebagai membran penukar proton (Yogaswara dkk., 2017). Selain menggunakan jembatan garam dapat juga digunakan separator PVA /kitosan (Ibrahim dkk., 2017). Di dalam setiap kompartemen terdapat elektroda yang dijepit dengan penjepit buaya dan dihubungkan dengan kabel. Kabel dan penjepit buaya ini dihubungkan pada multimeter analog untuk mengukur arus listrik dan menentukan power density yang dihasilkan oleh MFC. Desain *microbial fuel cell* (MFC) dengan menggunakan sistem *dual chamber* dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Parkash, 2016).



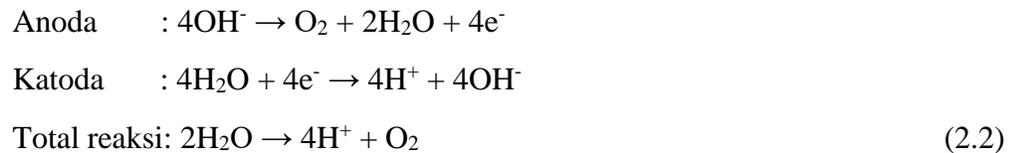
Gambar 2.3. Desain *microbial fuel cell dual chamber*

2.2.3 Elektrolisis

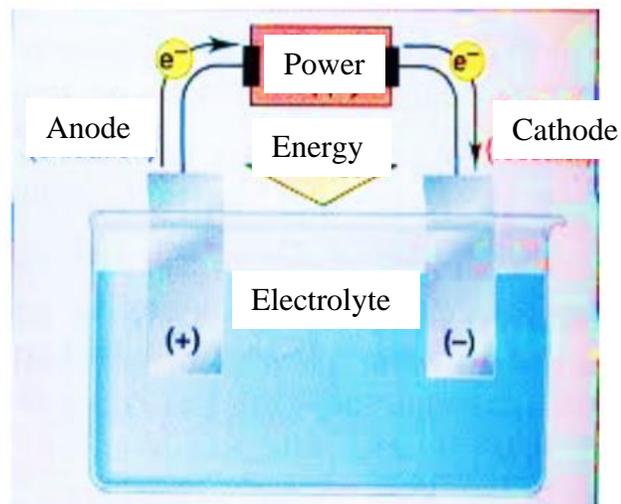
Elektrolisis adalah perubahan kimia, atau reaksi penguraian dalam elektrolit melalui arus listrik. Elektrolit dilarutkan dalam pelarut polar (seperti air) dengan terdisosiasi menjadi ion positif (kation) dan ion negatif (anion). Ion negatif disebut anion karena tertarik pada muatan positif anoda melalui larutan, sedangkan ion positif disebut katoda karena berpindah ke muatan negatif melalui larutan (Supiah, 2010). Ada dua elektrolisis yang berbeda yaitu hubungan antara beda potensial yang diterakan dan arus yang mengalir melalui sel elektrolisis. Pengisian selektif antara ion-ion pada permukaan elektroda. Potensi disosiasi tiba-tiba meningkat, pada saat elektron mulai menjalani elektrolisis. Menghasilkan hidrogen dan oksigen (Putra, 2012).

Sel elektrolisis adalah sel elektrokimia yang menimbulkan terjadinya reaksi redoks yang tidak spontan dengan adanya energi listrik dari luar. Sel elektrolisis memanfaatkan energi listrik untuk menjalankan reaksi non spontan lingkungan melakukan kerja terhadap sistem. Contohnya adalah elektrolisis lelehan NaCl dengan elektroda platina (Afandi dkk., 2017). Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana partikel positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan partikel negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Fakhrudin dkk., 2017). Elektrolisis adalah suatu penguraian molekul air (H_2O) menjadi Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) dengan energi pemicu reaksi berupa energi listrik. Perpindahan ini dapat berlangsung ketika dua buah elektroda ditempatkan dalam air dan arus searah dilewatkan diantara dua

elektroda tersebut. Hidrogen terbentuk pada katoda, sementara oksigen pada anoda. Selama ini elektrolisis dikenal sebagai perpindahan produksi hidrogen dari air yang tingkat kemurniannya tinggi, tapi terbatas untuk skala kecil. Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan 2.2.



Pada proses elektrolisis air, katalis yang digunakan adalah larutan elektrolit. Elektrolit dapat berfungsi sebagai konduktor listrik, dimana arus listrik dibawa oleh pergerakan partikel (Marlina dkk., 2013). Elektrolisis merupakan perubahan reaksi kimia dengan perantara elektroda yang tercelup dalam larutan elektrolit saat tegangan diterapkan pada elektroda tersebut (Nurajijah dkk., 2014). Proses elektrolisis dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Proses elektrolisis

elektrolisis adalah peristiwa ketika suatu larutan diuraikan menjadi particle ion, yaitu ion positif (kation) dan ion negatif (anion) pada saat arus searah dialirkan ke dalam larutan elektrolit melalui elektroda (Nurajjah dkk., 2014).

2.2.4 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum) (Afandi dkk., 2017). Elektroda merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada *compositions* elektrolisis air. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke air yang akan dielektrolisis. Pada elektrolisis yang menggunakan arus DC, elektroda terbagi menjadi dua kutub yaitu positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda. Material serta luasan katoda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas HHO (Brown's Gas) yang dihasilkan dari komposisi elektrolisis air (Marlina dkk., 2013). Elektroda negatif akan menarik partikel bermuatan positif (kation) seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan Natrium (Na), sedangkan elektroda positif akan menarik partikel negatif (anion) seperti klorida (Cl) dan nitrat (NO₃). Selanjutnya air yang sudah dialirkan pada sistem ini akan berkurang kandungan garamnya. Salah satu material yang baik untuk digunakan sebagai elektroda adalah karbon aktif. Karbon aktif bersifat konduktif, porositasnya tinggi, dan mempunyai sifat penyerapan yang baik serta harganya terjangkau (Himmaty dan Endarko, 2013).

Jenis-jenis elektroda dibagi menjadi dua, yaitu anoda dan katoda. Anoda adalah elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi, elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit). Anoda berupa logam penghantar listrik, pada sel elektrokimia anoda akan terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada sel galvani (baterai) maupun sel elektrolisis, anoda merupakan tempat berlangsung reaksi oksidasi (Riyanto, 2013).

2.2.5 Sel Volta

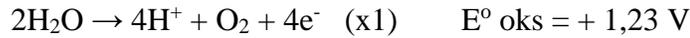
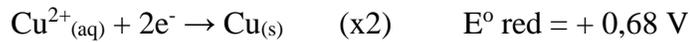
Sel Volta adalah sel elektrokimia yg membentuk tenaga listrik diperoleh dari reaksi kimia yg berlangsung spontan. Beberapa literatur mengungkapkan pula bahwa sel volta sama dengan sel galvani. Dalam sel volta, anoda adalah kutub negatif dan katoda kutub positif. Sel volta dibagi menjadi tiga jenis yaitu sel volta primer yang merupakan sel volta tidak terbarukan (sekali pakai) contohnya baterai kering. Sel volta sekunder adalah sel volta yang dapat diperbarui (sekali pakai) dan dapat dikembalikan ke keadaan semula contohnya baterai aki. Fuel cell adalah sel volta yang tidak dapat diperbarui tetapi tidak habis contohnya sel campuran pesawat luar angkasa (Harahap, 2016). Pada suatu sel volta, arus listrik yang terbaca pada potensiometer yaitu perbedaan potensial elektroda antara katoda dan anoda, bukan potensial elektroda dari salah satu elektroda. apabila ada elektroda yang dapat diketahui dengan tepat harga potensial elektrodanya, maka dengan mudah dapat diketahui harga potensial elektroda pasangannya dalam suatu sel elektrokimia, melalui pembacaan potensial pada

potensiometer, yang merupakan perbedaan potensial elektroda (Budiwati, 2019). Nilai potensial standar dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2. Nilai potensial elektroda (Vlack, 1992).

Reaksi Reduksi	Logam	E⁰ (volt)
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$	Au	+1,50
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$	Pt	+1,20
$\text{Ag}^+ + \text{e}^-$	Ag	+0,80
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$	Fe^{2+}	+0,77
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$	$4(\text{OH})^-$	+0,40
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	Cu	+0,34
$\text{C} + 4\text{H}^+ + \text{e}^-$	CH_4	+0,13
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	H_2	0,00
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	Pb	-0,13
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Sn	-0,14
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	Ni	-0,25
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	Fe	-0,44
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	Cr	-0,71
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Zn	-0,76
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	Al	-1,66
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	Mg	-2,37
$\text{Na}^+ + \text{e}^-$	Na	-2,71
$\text{K}^+ + \text{e}^-$	K	-2,92
$\text{Li}^+ + \text{e}^-$	Li	-2,96

Menurut buku Setiyana (2020), Potensial elektroda mengacu pada reaksi reduksi elektroda sehingga dikatakan potensial reduksi standar (E^0 reduksi). Potensial sel volta dapat ditentukan melewati eksperimen dengan menggunakan voltmeter atau dihitung berdasarkan data potensial elektroda standar. - Unsur yang mempunyai E^0 reduksi lebih besar mengalami reaksi reduksi di katoda - Unsur yang mempunyai E^0 reduksi lebih kecil mengalami reaksi oksidasi di anoda, Data E^0 reduksi dari redoks spontan $\text{Cu}_{(\text{aq})} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H} + \text{O}_2 + \text{Cu}_{(\text{aq})}$ adalah sebagai berikut:



(2.3)

Unsur Eo yang mengalami reaksi reduksi yaitu Cu dan unsur Eo yang mengalami reaksi oksidasi yaitu 2H₂O, maka katoda = logam Cu dan anoda = 2H₂O. Reaksi sel



$$E^{\circ} \text{ sel} = E^{\circ} \text{ reduksi} + E^{\circ} \text{ oksidasi}$$

$$= (0,68 \text{ V}) + (1,23 \text{ V}) = + 1,91 \text{ V}$$

(2.4)

2.2.6 Elektroplating

Proses elektroplating merupakan perpindahan partikel logam dengan bantuan arus listrik melalui elektrolit sehingga partikel logam tersebut mengendap pada benda padat konduktif dan membentuk lapisan logam. Partikel logam diperoleh langsung dari elektrolit atau dengan pelarutan anoda logam ke dalam elektrolit. Lapisan logam yang mengendap disebut juga sebagai *store* (Purwanto dan Huda, 2005). Proses pelapisan logam secara elektroplating merupakan fenomena kebalikan dari korosi (Supriadi dkk., 2013). Berbagai macam aspek tujuan dari elektroplating adalah :

- a. menambah kekerasan dan ketahanan aus logam
- b. untuk mencegah timbulnya korosi
- c. menambah ketebalan logam
- d. memberikan tampilan yang lebih menarik (dekoratif)

(Supriadi, 2010).

Berdasarkan hukum Faraday mengenai prinsip dasar elektroplating menyatakan bahwa:

- a. jumlah zat yang terbentuk pada elektroda sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit
- b. jumlah zat yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama proses elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut

Komponen yang penting di dalam proses elektroplating sebagai berikut (Andayani dkk., 2017) .

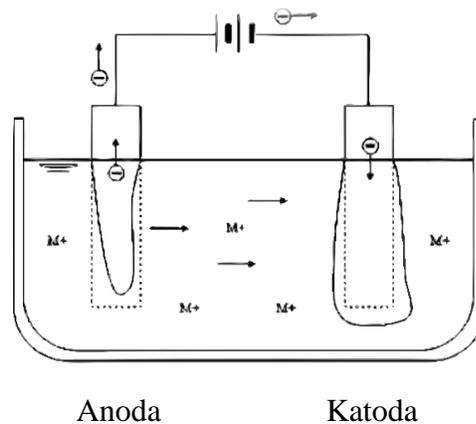
- a. Katoda merupakan logam yang akan dilapisi sebagai elektroda negatif dalam larutan elektrolit terjadi proses reduksi,
- c. Anoda sebagai elektoda positif yang merupakan logam yang melapisi, dalam larutan elektrolit terjadi proses oksidasi yang melepaskan elektron,
- d. Larutan elektrolit, sebagai media penghantar berfungsi sebagai penyedia ion logam yang dapat berupa asam, basa maupun garam,
- e. Arus listrik, berfungsi sebagai penghantar ion-ion yang bergerak dari anoda ke katoda saat arus listrik mengalir antara anoda dan katoda di dalam larutan elektrolit, maka terjadi reaksi kimia pada permukaan logam tersebut. Besarnya arus listrik dipengaruhi oleh besarnya beda potensial pada elektroda dan besarnya tahanan dari larutan elektrolit.

Faktor-faktor yang mempengaruhi elektroplating.

- a. Kerapatan Arus: Kecepatan arus yang baik adalah arus yang tinggi pada saat arus diperkirakan masuk, bagaimanapun nilai kerapatan arus mempengaruhi waktu plating untuk mencapai ketebalan yang diperlukan.
- b. Voltase (tegangan): Tegangan merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses elektroplating karena mempengaruhi penguraian ionion logam menjadi logam yang menempel pada benda kerja yang dilapisi.
- c. Suhu: Suhu sangat penting untuk menyeleksi kecocokan jalannya reaksi dan melindungi pelapisan. Keseimbangan suhu ditentukan oleh beberapa faktor seperti ketahanan, jarak anoda dan katoda, serta kuat arus yang digunakan.

(Permadi dkk., 2020).

Prinsip utama proses elektroplating dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema utama proses elektroplating

Dalam pelapisan elektroplating diperlukan dua buah elektroda, larutan elektrolit dan sumber elektron. Dalam prakteknya, elektron dihasilkan oleh suatu sumber arus listrik

searah (DC), dapat berupa batu baterai atau pengubah arus (*rectifier*) yang dihubungkan dengan elektroda. Sumber arus listrik DC dihubungkan dengan dua buah elektrolit, yaitu anoda dan katoda. Anoda terhubung dengan kutub positif dari sumber arus, sedangkan katoda terhubung dengan kutub yang berlawanan. Arus listrik, yang bermuatan elektron, mengalir dari anoda ke katoda melalui elektrolit, sehingga benda yang diposisikan sebagai anoda adalah logam yang digunakan untuk melapisi. Sementara sebagai katodanya benda yang akan dilapisi. Partikel logam (M^{n+}) dalam elektrolit yang bermuatan positif menuju benda kerja sebagai katoda yang bermuatan negatif, sehingga partikel logam (M^{n+}) akan tereduksi menjadi logam M dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (*store*). Menurut reaksi pada persamaan 2.5.



Posisi ion logam dalam elektrolit yang telah tereduksi dan menempel di katoda akan digantikan oleh anoda logam yang teroksidasi dan larut dalam elektrolit atau dari penambahan larutan senyawa logam. Sehingga pada anoda terjadi oksidasi menurut reaksi pada persamaan 2.6.



Apabila proses elektroplating berjalan seimbang maka konsentrasi elektrolit akan tetap, anoda makin lama makin berkurang, dan terjadi pengendapan logam yang melapisi katoda sebagai benda kerja (Supriadi dkk., 2013).

2.2.7 *Effective Microorganism 4 (EM4)*

EM4 merupakan salah satu larutan biologi tanah, mempercepat dekomposisi bahan organik karena mengandung bakteri asam laktat yang dapat memfermentasikan bahan organik yang tersedia dan dapat diserap langsung oleh perakaran tanaman. Penggunaan EM4 mempunyai beberapa keuntungan yang dapat meningkatkan produksi tanaman dan mengatur keseimbangan mikroorganisme tanah. EM4 mampu meningkatkan dekomposisi limbah dan sampah organik, meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman serta menekan aktivitas serangga hama dan mikroorganisme patogen, EM4 juga dapat digunakan untuk mempercepat pengomposan sampah organik atau kotoran hewan (Rahmah dkk., 2013).

Banyak ahli percaya bahwa mikroorganisme yang efektif bukanlah pupuk. EM4 merupakan bahan yang membantu mempercepat proses pembuatan pupuk organik dan meningkatkan kualitasnya. Selain itu, EM4 juga dapat digunakan untuk memperbaiki struktur dan tekstur tanah serta menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Oleh karena itu, penggunaan EM4 akan membuat tanaman lebih subur, sehat, dan relatif tahan terhadap hama dan penyakit. Berikut ini adalah beberapa manfaat EM4 untuk tanaman dan tanah:

1. menghambat pertumbuhan hama dan penyakit tanaman dalam tanah;
2. membantu meningkatkan kapasitas fotosintesis tanaman;
3. meningkatkan kualitas bahan organik sebagai pupuk;
4. meningkatkan kualitas pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman.

Mikroorganisme yang terkandung di dalamnya secara genetika bersifat asli, tidak dimodifikasi. Umumnya, EM4 dapat dibuat sendiri dengan menggunakan bahan yang tersedia (Nur dkk., 2016).

Kandungan di dalam EM4 yaitu sebagai berikut.

1. Bakteri fotosintetik adalah bakteri bebas yang dapat mensintesis senyawa nitrogen, gula dan zat aktif biologis lainnya. Metabolit yang dihasilkan dapat langsung diserap oleh tanaman dan dapat digunakan sebagai substrat untuk perkembangbiakan mikroorganisme yang menguntungkan.
2. *Lactobacillus sp.* (bakteri asam laktat), adalah bakteri yang menghasilkan asam laktat dengan memecah gula dan karbohidrat lainnya. Bakteri ini terurai bersama dengan bakteri fotosintetik dan ragi. Asam laktat adalah bakterisida kuat yang dapat menghambat mikroorganisme berbahaya dan dengan cepat menguraikan bahan organik.
3. *Streptomyces sp.*, mengeluarkan enzim streptomisin yang bersifat racun bagi penyakit berbahaya dan hama serangga. *Streptomyces* dibagi menjadi dua kelompok.
 - a. Ragi menghasilkan zat yang berguna bagi tanaman melalui fermentasi. Zat aktif biologis yang dihasilkan oleh ragi dapat digunakan untuk pertumbuhan sel dan *dehiscence* akar. Ragi ini berperan dalam proliferasi atau pembelahan atau mikroorganisme menguntungkan lainnya seperti *actinomycetes* dan bakteri asam laktat,

b. *Actinomycetes* adalah organisme perantara antara bakteri dan jamur yang menyerap asam amino dan zat serupa yang dihasilkan oleh bakteri fotosintetik dan mengubahnya menjadi antibiotik untuk mengendalikan patogen. Selain itu, organisme ini menghambat jamur dan bakteri berbahaya dengan menghancurkan kitin, yang merupakan zat penting untuk pertumbuhan jamur dan bakteri berbahaya ini. *Actinomycetes* juga dapat menciptakan kondisi yang menguntungkan bagi perkembangan mikroorganisme lain.

Manfaat EM4 dalam proses fermentasi bahan organik, mikroorganisme akan bekerja dengan baik pada kondisi yang tepat (Ekawandani, 2018).

2.2.8 Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam yang diekstraksi dari bijih dasar di Copperpriites. Copperpriites adalah tambang di mana tembaga bereaksi secara kimia dengan besi dan belerang = CuFeS_2 . Logam ini memiliki konduktivitas termal sebesar $0,941 \text{ Cal } ^\circ\text{C}/\text{cm detik}$ pada suhu 20°C . Dalam proses pemurnian tembaga untuk keperluan industri, biasanya terdapat unsur gas yang mempengaruhi berbagai karakteristik (Majanasastra, 2016). Tembaga murni jarang digunakan, kecuali untuk perkakas listrik atau penukar panas. Hal ini antara lain karena harganya yang cukup mahal dan kekuatannya yang tidak terlalu tinggi. Tembaga biasanya digunakan dalam bentuk paduan. Tembaga dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam lain. Paduan lainnya, seperti aluminium kuningan, paduan tembaga-berilium (Suarsana, 2008).

Tembaga lunak dan ulet, dan tidak akan teroksidasi berlebihan oleh udara. Karena sifatnya yang positif, tembaga mudah diendapkan oleh logam dengan gaya gerak listrik yang lebih tinggi. Pelapisan tembaga itu mudah, dan solusinya mudah dikendalikan. Tembaga merupakan logam yang mudah dibentuk dan ulet, sehingga mudah dibentuk menjadi bentuk yang diinginkan dan merupakan konduktor termal yang baik (Putri dan Handani, 2015). Ketika patina (hijau) terbentuk, itu terdiri dari bikarbonat dan bisulfat. Reaksi dengan sulfida (gas, *moisture*) juga sangat sedikit, tetapi akan membentuk diskolorasi (stain film) yang sulit untuk dilas. Inilah sebabnya mengapa alat komunikasi tembaga masih sering ditemukan pada pelat kalengan (Hartomo dan Tomijiro, 1992).

2.2.9 Perak (Ag)

perak adalah unsur logam dengan nomor atom 47 simbolnya adalah Ag, logam ini terjadi secara alamiah dalam bentuk murni, bentuk bebas (perak asli), sebagai paduan dengan emas dan logam lainnya, dan dalam mineral seperti argentit dan klorargirit. Selain itu, perak tergolong logam mulia sehingga berharga mahal dengan pemanfaatannya yang cukup luas, sebagai bahan baku perhiasan, sebagai nanomaterial anti bakteri (Negara dkk., 2017). Perak juga mudah membentuk senyawa dengan unsur stibium (Sb), arsen (As), selenium (Se) dan terium (Te). Perak dalam batas-batas tertentu digolongkan sebagai polutan karena bersifat sangat toksik terhadap flora dan fauna air (Suhendrayatna, 2001). Sebagian besar Ag yang masuk ke ekosistem lingkungan perairan berasal dari industri fotografi, limbah pertambangan dan elektroplating.

Diperkirakan 150.000 kg Ag masuk ke lingkungan perairan tiap tahunnya berasal dari industri fotografi (Achmad, 2004).

Perak merupakan logam putih mengkilap, tahan korosi dan ringan serta penghantar listrik yang baik. Perak mempunyai nilai komersial yang cukup tinggi setelah emas dan platina. Pada umumnya perak ditemukan bersama-sama dengan Zn, Pb, Co, Ni dan Au. Perak diperoleh dari hasil pelelehan dan pemurnian logam dari bijihnya. Selain diperoleh dari bijih mineral yang ada di alam, logam perak juga diperoleh dari pengolahan limbah. Pengembangan film menyebabkan limbah fotografi mengandung Ag pada larutan *fixer* dan air bilasan masing-masing sebesar 1.000-10.000 dan 50-200 mg/L. Perak merupakan zat yang berbahaya sehingga harus dipungut kembali (*recovery*) secara sempurna baik dari segi ekonomi maupun alasan lingkungan (Gufron dkk., 2017).

2.2.9. Fungsi separator MFC

Separator dalam *microbial fuel cell* (MFC) digunakan sebagai tempat terjadinya pertukaran proton dari anoda ke katoda sekaligus pemisah antara larutan katoda dan anoda. Penggunaan separator antara katoda dan anoda menjadi bagian yang penting dalam desain reaktor MFC sebab dapat meningkatkan kinerja dari MFC. Separator yang ideal merupakan separator yang dapat menghambat transfer oksigen terhadap substrat, namun membiarkan proton untuk masuk secara efisien dan dengan biaya yang murah (Ibrahim dkk., 2017). Modifikasi sistem MFC perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja MFC. Pada aplikasinya, membran yang umum digunakan adalah

proton exchange membrane (PEM) seperti Nafion dan Ultrex. Akan tetapi, harga PEM yang relatif mahal serta keberadaan air di dalam bejana anoda menyebabkan PEM menjadi tidak efisien karena air akan menghantarkan proton ke katoda (Kim dkk., 2016). Maka banyak peneliti mengembangkan separator alternatif yang efektif dengan harga terjangkau. Selain PEM dapat juga digunakan jembatan garam, *Anion Exchange Membrane* (AEM), *Cation Exchange Membrane* (CEM), membran bipolar, dan membran ultrafiltrasi (Ismawati dkk., 2015).

Separator dengan menggunakan PVA dapat meningkatkan produksi daya yang dihasilkan sampai $444 \pm 8 \text{ mW/m}^2$. Kitosan merupakan polimer yang banyak digunakan dalam berbagai bidang salah satunya dalam aplikasi *fuel cell* terutama kaitannya dengan elektroda yang digunakan sebagai binder dan separator untuk elektroda dalam *borohydride fuel cell* (Hoskins dkk., 2014). *Crosslinking* merupakan salah satu cara yang umum digunakan dalam memodifikasi kitosan. Modifikasi polimer kitosan dan PVA secara *crosslinking* dan digunakan sebagai separator dapat menjadi solusi terhadap efisiensi pemanfaatan energi pada MFC (Ibrahim dkk., 2017).

2.2.10. Polivynil Alcohol (PVA)

PVA adalah butiran atau bubuk semi kristal atau polimer sintesis linier dengan mempunyai sifat optik yang baik, kekuatan dielektrik yang besar,. PVA tersedia dalam berbagai tingkatan berdasarkan viskositas dan derajat hidrolisis. PVA paling banyak digunakan dalam sintesis poli (*vinyl butyral*) (PVB) dan serat vinilon. PVB adalah termoplastik fleksibel nilai rendah digunakan sebagai perekat yang kuat dalam

berbagai aplikasi dan mungkin digunakan dalam perangkat memori bentuk (Aslam dkk., 2018). *Polyvinyl alcohol* adalah polimer tidak berbau, tidak beracun, larut air, bisa membentuk plastik film yang baik, kekuatan mekanik serta fleksibilitas yang baik. Karakteristik fisik serta fungsi khusus *polyvinyl alcohol* seperti kelarutan (solubilitas) bergantung pada derajat polimerisasi serta derajat hidrolisis, baik hidrolisis sebagian maupun hidrolisis sempurna (Waluyo dan Sabarman, 2019). *Polyvinyl alcohol* (PVA) merupakan bahan sintesis yang dapat terbiodegradasi dengan mempunyai keuntungan berupa pembentukan film yang cukup baik, dan stabilitas termal yang tinggi (Terzioglu dan Parin, 2020). Polimer PVA dipilih karena sifatnya yang menakjubkan seperti transmisi optik tinggi, kelarutan air, termal stabil, dan sifat non korosif yang menjadikannya matriks yang baik untuk optoelektronik dan berbagai aplikasi lainnya (Aslam dkk., 2018).

PVA merupakan polimer kimia dari *vinyl alcohol* yang mempunyai nama IUPAC *poly(1- acetyloxiethylene)*. *Polyvinyl alcohol* (PVA) mempunyai banyak manfaat antara lain untuk lem kertas jika di tambahkan dengan asam borat, sebagai film dalam proses *water transfer process*, pengental dan modifikator dalam lem polivinil asetat, pelindung CO₂ dalam botol PET, dan bahan produk pembalut *biodegradable*. *Polyvinyl alcohol* (PVA) dapat digunakan untuk pembentukan lapisan film pada pembuatan *biofilm* atau *bioplastic* (Dermawan dkk., 2020). PVA mempunyai sifat berubah warna secara perlahan-lahan ketika berada pada suhu 100 °C dan akan berubah menjadi hitam ketika berada pada suhu diatas 160 °C. PVA dapat terurai pada suhu diatas 180 °C atau

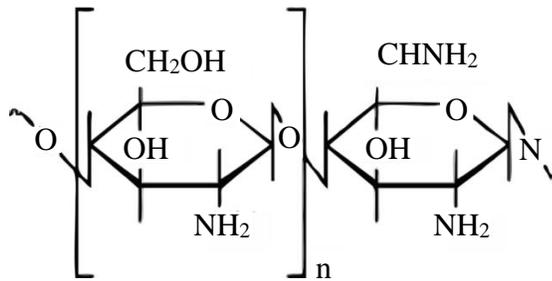
sama dengan titik lelehnya. PVA tidak dapat larut dalam tubuh binatang, tumbuhan, dan bahan berminyak (Wiliastuti, 2006).

Tabel 2.3. Sifat kimia *polivynil alcohol* (PVA) murni (Aslam dkk., 2018).

Parameter	Deskripsi
Berat molekul	20.000 hingga 400.000 g / mol
Formula sturuktural	$(-\text{CH}_2\text{CHOH})_n-(\text{CH}_2\text{CHOCOCH}_3)_m$
Rumus empiris	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)_m$
PVA terhidrolisis Sebagian	84,2% - 89%
PVA terhidrolisis sedang	92,2% - 96,5%
PVA yang sepenuhnya terhidrolisis	98% - 99%

2.2.11. Polimer kitosan

Kitosan merupakan polimer yang bersifat polikationik, sifat ini cenderung menggolongkan kitosan kepada bahan dielektrik. Bahan dengan sifat dielektrik yang tinggi akan mampu menyimpan gelombang yang terserap dalam jumlah besar. Keberadaan gugus hidroksil dan amino sepanjang rantai polimer, mengakibatkan kitosan sangat efektif mengikat kation ion logam berat maupun kation dari zat - zat organik (Agustina dkk., 2015). Kitosan dapat membentuk sebuah membran yang berfungsi sebagai adsorben pada waktu terjadinya pengikatan zat-zat organik maupun anorganik oleh kitosan (Sanjaya dan Yuanita, 2007). Kitosan mempunyai rumus molekul $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4)_n$ yang dapat diperoleh dari destilasi kitin. Struktur polimer kitosan dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Sugita dkk., 2009).



Gambar 2.6. Struktur polimer kitosan (Sugita dkk., 2009)

Kitosan saat ini mempunyai banyak sekali manfaat, antara lain dalam bidang Kesehatan, membran, pengolahan air, perekat, antioksidan, *hydrogel*, dan pengemas makanan. Kitosan tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut asam organik dibawah pH 6 antara lain asam formiat, asam asetat, dan asam laktat (Purwanti, 2010).

2.2.12. Asam fosfat (H_3PO_4)

Asam fosfat merupakan salah satu bahan kimia yang sangat diperlukan untuk keperluan laboratorium. Asam fosfat atau yang sering disebut asam *orthophospat* dengan rumus kimia H_3PO_4 (Anggraenie dkk., 2017). Asam fosfat mengandung tiga ion H^+ , dengan kekuatan asam yang dimilikinya dari ion tersebut tidak sama. Asam fosfat adalah asam utama yang digunakan dalam industri kimia yang dihasilkan dengan hidrasi fosfor peroksida. Asam fosfat komersial mempunyai 75% sampai 85%. Asam fosforik merupakan molekul yang mempunyai kutub, dan sangat larut dalam air. Keadaan pengoksidaan atom fosforus dalam asam fosforik adalah +5, dimana dalam keadaan pengoksidaan oksigen ialah +2 dan hidrogen +1 (Warlinda dan Zainul, 2019).

Penggunaan asam fosfat, senyawa fosfat dipakai dalam berbagai industri, seperti industri bahan makanan, tekstil, plastik, gelas, cat, dan industri farmasi. Pada industri

bahan makanan, asam fosfat dipakai sebagai bahan pengawet dan pemberi rasa minuman, sedangkan garamnya (Natrium Hidrophospat dan Natrium Karbonat) dipakai sebagai penjernih pada pabrik gula atau soda kue agar adonan kue mengembang (Anggraenie dkk., 2017), dan asam fosfat dapat digunakan sebagai *fuel cell*. Sel bahan bakar asam fosfat (PAFC) adalah jenis sel bahan bakar yang paling banyak digunakan dan merupakan jenis yang baik. Efisiensi PAFC juga relatif tinggi. Misalnya, terbukti mempunyai efisiensi listrik bersih sebesar 37%, dan efisiensi total 87% dalam gabungan aplikasi panas dan daya, saat dijalankan pada gas alam. Konsekuensinya adalah konsumsi bahan bakar yang rendah, dan pengurangan emisi polusi, dibandingkan ke sistem tenaga tradisional (Sammes, 2004).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2021 sampai Juli 2021. Perancangan dan pembuatan alat serta pengambilan data dilakukan di Laboratorium Elektronika, Laboratorium Instrumentasi, dan Laboratorium Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung, Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. *Magnetic stirrer* sebagai pengaduk campuran larutan.
2. Gerinda digunakan untuk pemotong elektroda dan akrilik.
3. Solder angin uap kecil untuk membentuk lengkungan pada akrilik agar menjadi wadah atau chamber pada substrat yang digunakan.
4. Multimeter untuk mengukur tegangan yang dihasilkan pada *microbial fuel cell*.
5. Penggaris sebagai alat ukur dimensi elektroda, akrilik dan separator.
6. Gelas ukur sebagai pengukur volume larutan.

7. Penjepit buaya sebagai media penghubung elektroda.
8. *Stopwatch* digunakan menghitung waktu elektroplating dan pengukuran tegangan pada MFC.
9. Kertas, pulpen, spidol, dan alat tulis untuk mencatat pengamatan dan keperluan lainnya.
10. Pipet tetes untuk mempermudah pemindahan larutan.
11. Penjepit kertas digunakan untuk lebih menemperekat ke dua *chamber*.
12. *Cutter* sebagai pemotong pola akrilik.

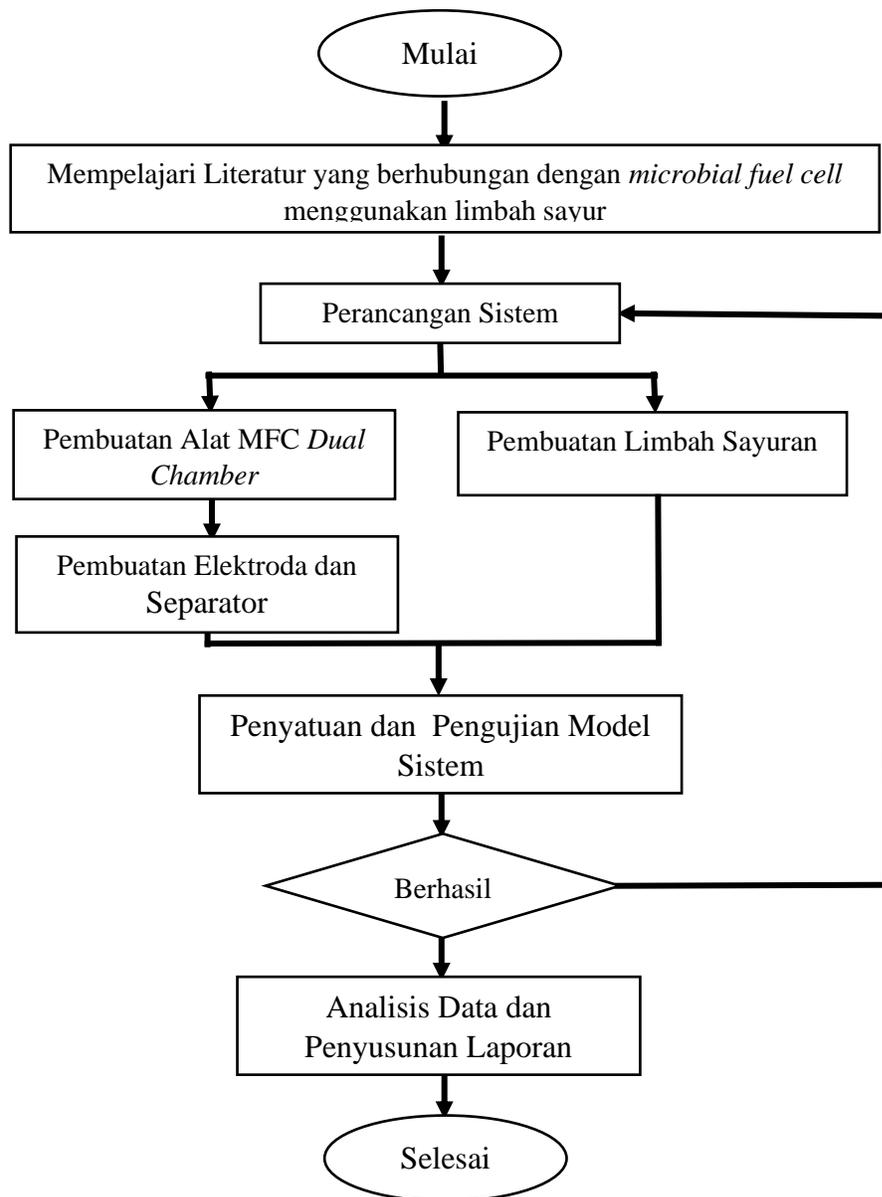
Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut.

1. PVA, kitosan, dan H_3PO_4 sebagai bahan utama pembuatan separator.
2. *Stearic acid* sebagai bahan pelapis membran separator.
3. Akrilik untuk pembuatan wadah pada sistem *microbial fuel cell*.
4. Limbah sayur sebagai elektrolit pada penelitian *microbial fuel cell*.
5. EM4 digunakan sebagai mikroba pengurai limbah sayuran.
6. Carbon (C) digunakan sebagai elektroda pada katoda yang berfungsi untuk menerima elektron yang di transfer dari anoda.
7. Lempengan tembaga (Cu) untuk penerima elektron yang dihasilkan anoda.
8. Larutan $AgNO_3$ sebagai larutan elektrolit pada proses elektroplating Cu(Ag).
9. Larutan HNO_3 1% untuk membersihkan logam Cu sebelum electroplating.
10. Etanol 96% untuk membersihkan logam Cu setelah dibersihkan dengan HNO_3 .
11. Aquades sebagai bahan pengencer larutan.

12. Kabel penghubung untuk menghubungkan antar elektroda.
13. Lem korea dan PVC sebagai perekat pada pembentukan *chamber* MFC.
14. Koni drat dan penutup untuk tempat pembuangan substrat pada *chamber*.

3.3 Tahapan Penelitian

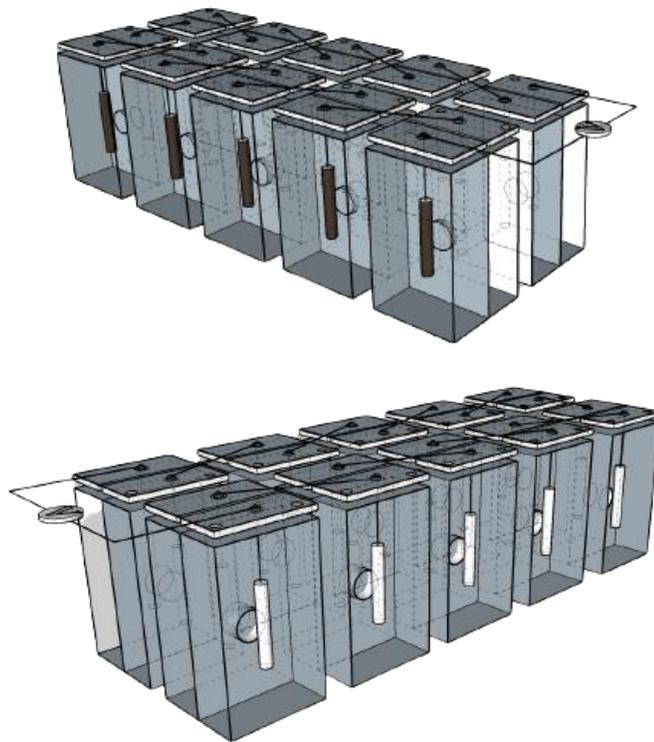
Penelitian ini merealisasikan perancangan *microbial fuel cell* (MFC) kedalam beberapa tahapan mulai dari pembuatan awal sampai selesai. Secara umum untuk tahap awal yaitu mencari literatur yang berhubungan dengan metode *microbial fuel cell* (MFC) dengan menggunakan limbah sayuran sebagai substrat utama. Kemudian membuat rancangan sistem, dan selanjutnya membuat skema rangkaian alat MFC serta membuat elektroda pada anoda dengan sistem elektroplating pada plat tembaga yang dilapisi perak (Ag). Sistem elektroplating pada tembaga berfungsi sebagai penghambat laju korosi pada tembaga yang akan mentransfer elektron dari anoda ke katoda. Selanjutnya membuat limbah sayuran menggunakan bahan utama yaitu sayuran dan pengurai EM4. Setelah semua dilakukan yaitu ke proses penggabungan alat dengan limbah sayur yang telah di fermentasi menggunakan EM4. Kemudian melakukan pengukuran pada MFC dengan menggunakan multimeter untuk mendapatkan hasil yang diinginkan pada limbah sampah. Untuk lebih rincinya dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

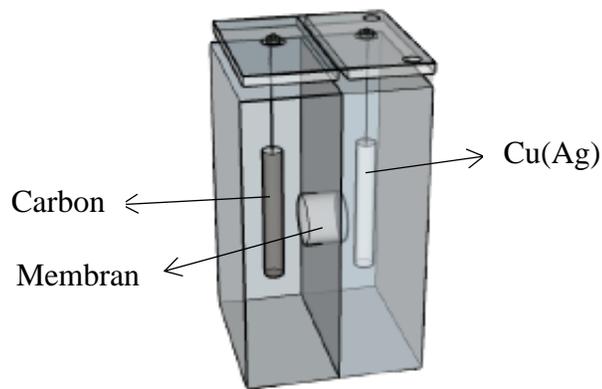
3.3.1. Perancangan alat *microbial fuel cell* (MFC)

Microbial fuel cell (MFC) dirancang dengan metode *dual chamber* yang terdiri dari kompartmen katoda dan kompartmen anoda. Perancangan MFC menggunakan akrilik sebagai bahan untuk pembuatan *chamber* yang dibentuk menjadi persegi panjang dengan ukuran 8 cm x 8 cm x 11 cm dan ketebalan 2 mm, kedua *Chamber* diberi lubang pembuangan untuk mempermudah saat pergantian substrat baru. *Microbial fuel cell* (MFC) menggunakan elektroda (Cu(Ag)-C), pada pembuatan elektroda Cu(Ag) menggunakan metode elektroplating. Kemudian kedua *chamber* dipisah menggunakan separator kitosan sebagai tempat pertukaran proton. Sistem *microbial fuel cell* (MFC) dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3.2. Desain sistem seri *microbial fuel cell* (MFC)

Pada **Gambar 3.2** dapat dilihat bahwa sistem MFC menggunakan 10 sampel dan dihubungkan secara seri yang akan diukur tegangannya menggunakan multimeter. Desain MFC berukuran 8 cm x 8 cm x 11 cm, pada elektroda Cu(Ag) berukuran 7 cm x 4 cm, dan karbon memiliki Panjang 7 cm dengan diameter 0,8 cm. MFC diberi lubang separator dengan diameter 3 cm dan lubang pembuangan berdiameter 2 cm untuk mempermudah pergantian limbah selanjutnya, seperti pada **Gambar 3.3**.

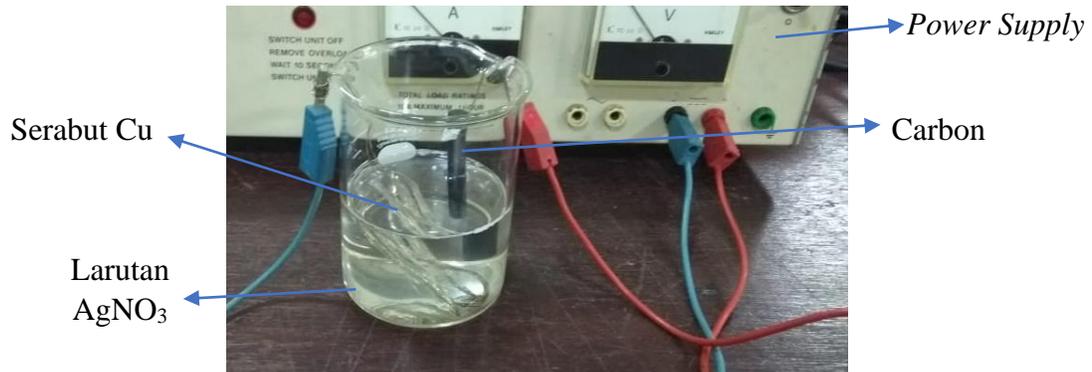


Gambar 3.3. Spesifikasi *microbial fuel cell* (MFC)

3.3.2. Elektroplating Cu(Ag)

Pada tahap elektroplating Ag pada Cu dilakukan dengan menggunakan larutan sepup perak (AgNO_3) 0,02 M sebanyak 300 ml sebagai larutan elektrolit. Kemudian menggunakan logam Cu dengan ukuran 4 cm x 7 cm sebagai anoda dan batang Carbon sebagai katoda. Sebelum melakukan proses elektroplating, permukaan Cu di bersihkan menggunakan HNO_3 1% untuk menghilangkan kandungan lemak yang menempel pada Cu, setelah itu dibersihkan menggunakan etanol 96% untuk menghilangkan HNO_3 pada Cu. Proses elektroplating dapat dilakukan dengan menggunakan tegangan 2 volt

selama 5 menit. Proses elektroplating dapat dilihat pada **Gambar 3.4** (Hardiyanti dan Santoso, 2018).



Gambar 3.4. Skema elektroplating pada logam (Hardiyanti dan Santoso, 2018)

3.3.3. Pembuatan Separator

Pembuatan separator yang digunakan pada tahap ini yaitu berbahan dasar *polivynil alcohol* (PVA). Selain menggunakan PVA murni, separator juga di variasikan menggunakan kitosan dan asam sulfat, untuk melihat keefektifan dari PVA dengan berbagai jenis perlakuan dan variasi yang digunakan pada *microbial fuel cell* (MFC).

3.3.3.1. Pembuatan Membran PVA/Kitosan

Proses pembuatan membran dibutuhkan larutan kitosan dengan konsentrasi 2% dan larutan PVA 5% sebagai bahan utama dengan perbandingan 2:3. Pada tahap awal, kedua larutan dicampur dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 12 jam dan didiamkan selama 48 jam. Campuran tersebut akan dipotong persegi dengan ukuran Panjang dan lebar sebesar 4 cm. Potongan tersebut direndam kedalam NaOH 2

M selama 10 menit dan dibilas dengan menggunakan *aquades*, kemudian dikeringkan (Ibrahim dkk., 2017).

3.3.3.2. Membran PVA/Kitosan – Asam Fosfat

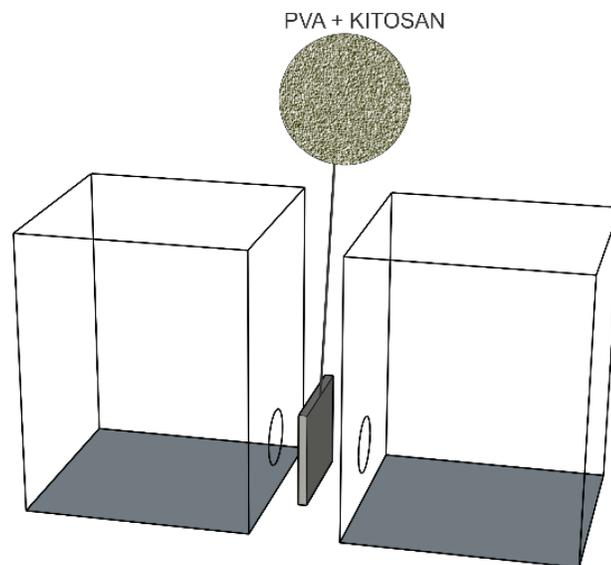
Membran PVA/kitosan dengan penambahan Asam fosfat dibuat melalui tahap pertama yaitu dengan membuat larutan kitosan 2% menggunakan pelarut asam asetat dan PVA 5% menggunakan *aquades* sebagai bahan utama dengan perbandingan PVA : kitosan yaitu 3:2 sebanyak 100 ml (Ibrahim dkk., 2017). Kemudian ditambahkan larutan H_3PO_4 2,5% sebanyak 2 ml ke dalam larutan PVA/kitosan, Setelah itu, semua bahan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu $40^\circ C$ selama 10 menit hingga homogen. Larutan PVA yang telah tercampur oleh H_3PO_4 dicetak kedalam cawan petri yang kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu $120^\circ C$ selama 15 menit (Nurdiati dan Astuti, 2015).

3.3.3.3. Membran PVA/Kitosan – Sodium Alginat

Membran PVA/kitosan dengan penambahan sodium alginat dibuat melalui tahap pertama yaitu dengan membuat larutan kitosan 2% menggunakan pelarut asam asetat dan PVA 5% menggunakan *aquades* sebagai bahan utama dengan perbandingan PVA : kitosan yaitu 3:2 sebanyak 100 ml (Ibrahim dkk., 2017). Kemudian membuat larutan sodium alginat dengan konsentrasi 3% menggunakan *aquades* sebanyak 20 ml. Masing masing larutan dicampur dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai homogen dengan suhu $60^\circ C$ selama 6 jam. Setelah itu larutan dicetak menggunakan cawan dan dikeringkan selama 24 jam pada suhu ruangan (Noor dkk., 2018).

3.3.3.4. Pelapisan Membran MFC

Membran PVA/kitosan memiliki tingkat ketahanan air yang rendah, maka perlu adanya perlakuan agar dapat menambah tingkat ketahanan terhadap air dengan cara melakukan perendaman menggunakan larutan *stearic acid*. Larutan dibuat dengan melarutkan *stearic acid* dengan konsentrasi 2% menggunakan alcohol 96% sebanyak 100 ml. Campuran larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai homogen, kemudian membran direndam pada larutan *stearic acid* selama 12 jam. Setelah itu membran dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 2 jam. Membran siap digunakan pada sistem MFC (Liu dkk., 2020). Membran yang digunakan pada metode MFC berfungsi sebagai pemisah dan tempat pertukaran proton yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5.**



Gambar 3.5. Separator pada *microbial fuel cell* (MFC)

3.3.4. Pengujian sistem dan Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem dan pengambilan data. Pengujian MFC menggunakan perlakuan dengan melakukan penelitian langsung pada limbah sayur yang diberi mikroorganisme EM4, serta variasi jika menggunakan separator PVA kitosan dan tidak menggunakan separator. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan kabel secara seri pada 10 pasang MFC. Pengukuran tegangan dilakukan setiap 1 jam sekali selama 3 hari. Pada penelitian ini menggunakan multimeter sebagai alat untuk pengambilan data dan stopwatch sebagai pengukuran waktu saat pengambilan data. Data pengamatan yang diambil pada penelitian MFC ini berupa tegangan tidak menggunakan beban (V_0), menggunakan beban (V_1), dan kuat arus (I). Setelah itu, dihitung besar hambatan dalam (R_{in}) (**Persamaan 3.1**) dan daya (P) (**Persamaan 3.2**).

$$R_{in} = \frac{V_0 - V_1}{I} \quad (3.1)$$

$$P = V_1 \times I \quad (3.2)$$

Keterangan:

R_{in} = hambatan dalam ($k\Omega$) ; V_0 = tegangan tanpa beban (V);

V_1 = tegangan dengan beban ; I = arus (A) ; P = daya ($watt$).

Rancangan, pengamatan, dan hasil perhitungan dari penelitian ini, ditunjukkan pada

Tabel 3.1 sampai dengan **Tabel 3.3**.

Tabel 3.1. Data Pengamatan Karakteristik Elektrik Membran PVA/Kitosan

No	Waktu (jam)	V ₀ (Volt)	V ₁ (Volt)	I (mA)	P (mW)	R _{in} (Ω)
1	0					
2	3					
3	6					
...	...					
...	...					
19	48					

Tabel 3.2. Data Pengamatan Karakteristik Elektrik Membran PVA/Kitosan-Sodium Alginat

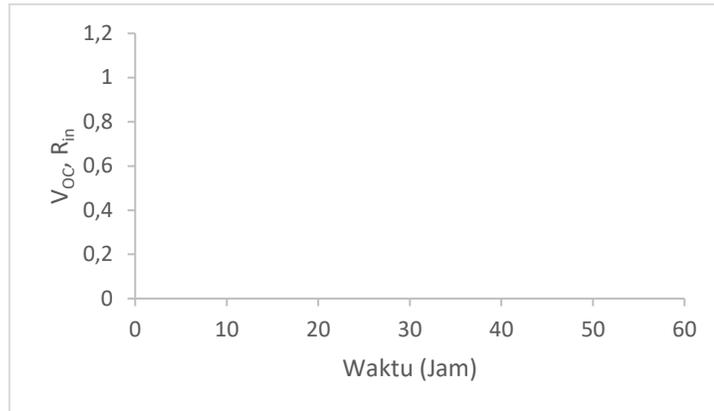
No	Waktu (jam)	V ₀ (Volt)	V ₁ (Volt)	I (mA)	P (mW)	R _{in} (Ω)
1	0					
2	3					
3	6					
...	...					
...	...					
19	48					

Tabel 3.3. Data Pengamatan Karakteristik Elektrik Membran PVA/Kitosan-Asam fosfat (H₃PO₄)

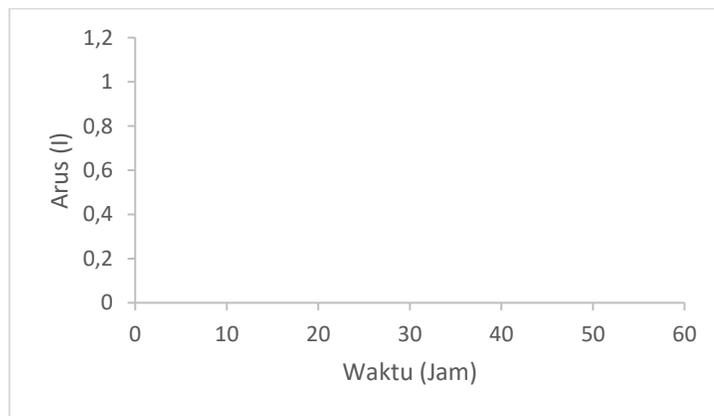
No	Waktu (jam)	V ₀ (Volt)	V ₁ (Volt)	I (mA)	P (mW)	R _{in} (Ω)
1	0					
2	3					
3	6					
...	...					
...	...					
19	48					

Pada penelitian ini dilakukan analisis untuk menganalisa data pengamatan dan perhitungan yang diperoleh. Analisis dari hasil pengamatan dan perhitungan dilakukan

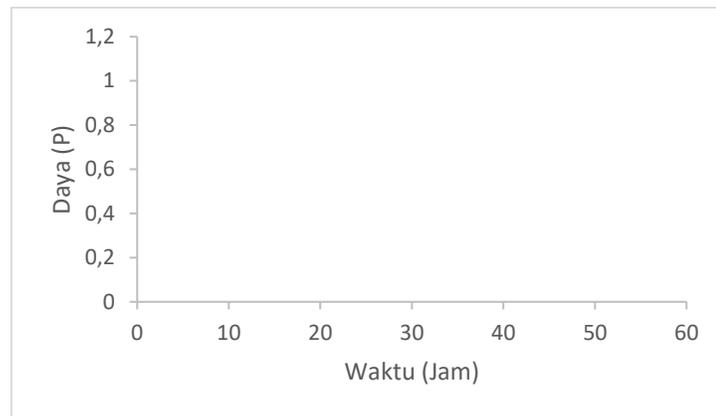
dengan menganalisa hubungan tegangan (V), kuat arus (I), daya (P), dan hambatan (R) terhadap waktu (jam). Rancangan analisis berupa grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 3.6** sampai **Gambar 3.9**.



Gambar 3.6. Grafik pengukuran tegangan (V) dan hambatan (R) pada limbah sayur terhadap waktu (jam).



Gambar 3.7. Grafik hubungan antara arus (I) terhadap waktu (jam).



Gambar 3.8. Grafik hubungan antara daya (P) terhadap waktu (jam).

3.4. Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan metode analisis berupa tampilan grafik yang menganalisa pengaruh variasi bahan separator PVA pada *microbial fuel cell* (MFC) dengan jenis separator PVA/kitosan (3:2), PVA/kitosan + sodium alginat, PVA/kitosan + H₃SO₄ yang dilapisi dengan larutan *stearic acid* terhadap energi listrik yang dihasilkan. Analisis pada penelitian ini dilakukan selama 72 jam (3 hari) setiap 1 jam sekali. Analisis pada penelitian ini sebagai berikut.

- 1) Menganalisis tegangan tanpa menggunakan beban (V_{ocv}). Analisis yang dilakukan pada metode ini yaitu dengan menganalisa hasil keluaran tegangan tanpa menggunakan beban atau lampu LED 3 watt pada *microbial fuel cell* (MFC) dengan variasi separator PVA-kitosan.
- 2) Menganalisis arus pada penelitian ini dilakukan dengan mengukur keluaran arus menggunakan multimeter pada sistem *microbial fuel cell* (MFC).

- 3) Menganalisis hambatan menggunakan hasil keluaran arus yang dihitung dengan menggunakan perhitungan pada persamaan 3.1.
- 4) Menganalisis daya, metode yang digunakan pada analisa ini menggunakan persamaan 3.2 dengan menghitungnya pada hasil keluaran arus listrik yang didapat pada *microbial fuel cell* (MFC).

Analisis pada penelitian ini tidak hanya berupa tampilan grafik, namun juga menggunakan pemaparan hasil perlakuan sistem *microbial fuel cell* menggunakan variasi separator PVA/kitosan untuk menjelaskan rumusan masalah yang dibuat. Kemudian penjelasan pada analisa ini pengaruh efektifitas variasi PVA/kitosan dengan penambahan sodium alginat atau H_3SO_4 dalam menghasilkan energi listrik pada sistem *microbial fuel cell* (MFC) dengan menggunakan limbah sampah.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil tegangan maksimum pada membran PVA-kitosan sebesar 2,25 volt lebih besar dibandingkan membran PVA-kitosan dengan penambahan asam fosfat dan sodium alginat yaitu sebesar 1,941 volt dan 2,1 volt.
2. Dari hasil penelitian mengenai perbandingan variasi membran PVA-kitosan tanpa penambahan dan dengan penambahan sodium alginat atau asam fosfat menghasilkan nilai elektrisitas yang berbeda. Hal ini dapat dikatakan bahwa perbedaan kualitas membran berpengaruh terhadap nilai karakteristik elektrik yang dihasilkan.
3. Hasil penelitian menyatakan bahwa penggunaan limbah sayur dengan penambahan bakteri EM4 dalam sistem MFC menghasilkan nilai karakteristik elektrik pada setiap pengukuran kuat arus dan tegangan. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa limbah sayuran dapat dijadikan salah satu alternatif energi terbarukan.

4. Membran PVA-kitosan tanpa penambahan memiliki nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dibandingkan dengan penambahan sodium alginat dan asam fosfat.

5.2. Saran

Saran dari penelitian yang dilakukan untuk perkembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait konduktivitas elektrik dengan variasi komposisi membran pada penambahan sodium alginat dan asam fosfat.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperpanjang waktu penelitian dalam pengambilan data dan secara kontinu.
3. Memperbanyak sistem MFC untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait intensitas cahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad.R. 2004. *Kimia Lingkungan*. 1st ed. Yogyakarta: Andi Offset.
- Afandi, A. M., Rijal, I., & Aziz, T. (2017). Pengaruh Waktu dan Tegangan Listrik Terhadap Limbah Cair Rumah Tangga dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol 23, No.2, pp 114–119.
- Agustina, S., Swantara, I. M. D., & Suartha, I. N. 2015. Isolasi Kitin, Karakterisasi dan Sintesis Kitosan dari Kulit Udang. *Jurnal Kimia*, Vol 9, No. 2, pp 271–278.
- Akbar, T. N., Kirom, M. R., & Iskandar, R. F. (2017). Analisis Pengaruh Material Logam sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell terhadap Produksi Energi Listrik. *E-Proceeding of Engineering*, Vol 4, No. 2, pp 2123–2138
- Ali, M., dan Widodo, A. A. 2019. Biokonversi Bahan Organik pada Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan Menjadi Energi Listrik Menggunakan Microbial Fuel Cell. *Jurnal Envirotek*, Vol 11, No. 2, pp 30–37.
- Andayani, R. D., Nuryanti, S. Z., Afriany, R., dan Rais, A. 2017. Analisa Pengaruh Jarak Katoda dan Anoda dalam Proses Elektroplating Aluminium terhadap Ketebalan Lapisan. *Teknika: Jurnal Teknik*, Vol 3, No. 2, pp 142.
- Anggraenie, R., Utami, T. D., Haenur, A. M., dan Susandy, A. 2017. Pemanfaatan Tulang Ayam sebagai Bahan Baku Pembuatan Asam Phospat Menggunakan Proses Basah dengan Pelarut HCL. *Teknik Kimia*, Vol 6, No. 3, pp 112–115.
- Aslam, M., Kalyar, M. A., dan Raza, Z. A. 2018. Polyvinyl Alcohol: A Review of Research Status and Use of Polyvinyl Alcohol Based Nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*, Vol 58, No. 12, pp 2119–2132.
- Budiwati. R. 2019. *Kimia Dasar Edisi 5*. Bandung: Itenas.
- Dermawan, K., Ambarwati, R., dan Kasmiyatun, M. 2020. Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati Biji Nangka dengan Penambahan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dan Sorbitol. *Journal of Chemical Engineering*, Vol 1, No. 1, pp 1–6.
- Dewi, A. K., Djajakirana, G., dan Santosa, D. A. 2020. Potensi Limbah Tahu untuk Menghasilkan Listrik pada Tiga Model Sistem Microbial Fuel Cell (MFC). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, Vol 22, No. 1, pp 29–34
- Ekawandani, N. 2018. Efektifitas Kompos Daun Menggunakan Em4 dan Kotoran Sapi. *Teknik Kimia*, Vol 12, No. 2, pp 145-149

- Fadhila, N., Kirom, M. R., dan Fitriyanti, N. 2020. Fuel Cell Analysis Electrical Energy Production Using Fish Pool and Rice Waste Substrate By Using Sediment Microbial Fuel Cell. *E-Proceeding of Engineering*, Vol 7, No. 2, pp 4315–22.
- Fakhrudin, Nurdiana, J., dan Wijayanti, D. W. 2017. Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda dengan Menggunakan Metode Elektrolisis. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*, Vol 4, No. 1, pp 10–15.
- Genisa, Marlina Ummas, and Lia Auliandari. 2018. “Sebaran Spasial Bakteri Koliform di Sungai Musi Bagian Hilir.” *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: a Scientific Journal*, Vol 35, No. 3, pp 131–38.
- Gufron, B. I., Kurniasih, Y., dan Nufida, B. A. 2017. Pengaruh Penggunaan Senyawa Pengemban Gabungan terhadap Pemisahan Logam Perak dengan Teknik SLM (Supported Liquid Membrane). *Pendidikan Kimia*, Vol 1, No. 2, pp 28–36.
- Harahap, M. R. 2016. Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, Vol 2, No. 1, pp 177–80.
- Hardiyanti, F., dan Santoso, M. Y. 2018. Analisis Pelapisan Tembaga terhadap Laju Korosi dan Struktur Mikro Grey Cast Iron. *Jurnal Teknologi Maritim*, Vol 1, No. 1, pp 37–42.
- Hartomo, A.J., dan Kaneko,T., 1995. *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Himmaty, I., dan Endarko. 2013. Pembuatan Elektroda dan Perancangan Sistem Capacitive Deionization untuk Mengurangi Kadar Garam pada Larutan Sodium Clorida (Nacl). *Berkala Fisika*, Vol 16, No. 3, pp 67–74.
- Hoskins, D. L., Zhang, X., Hickner, M. A., dan Logan, B. E. 2014. Spray-on Polyvinyl Alcohol Separators and Impact on Power Production in Air-cathode Microbial Fuel Cells with Different Solution Conductivities. *Bioresource Technology*, Vol 172, pp 156–161.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., dan Syahreza, F. 2017. Kinerja Microbial Fuel Cells Pada Pengolahan Limbah Cair Pemindangan Dengan Membran Separator Campuran Polimer Kitosan/PVA. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, Vol 27, No. 3, pp 235–241.
- Imaduddin, M., Hermawan, H., Hadiyanto, H., dan Wawan, W. 2014. Pemanfaatan Sampah Sayur Pasar dalam Produksi Listrik Melalui Microbial Fuel Cells. *Media Elekrika*, Vol 7, No. 2, pp 22–35.
- Ismawati, N., Aminin, A., dan Suyati, L. 2015. Whey Tahu Sebagai Penghasil Bioelektrisitas pada Sistem Microbial Fuel Cell dengan *Lactobacillus Plantarum*. *Jurnal Sains dan Matematika*, Vol 23, No. 2, pp 43–49.

- Kholida, H., dan Pujayanto. 2015. Hubungan Kuat Arus Listrik dengan Keasaman Buah Jeruk dan Mangga. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, Vol 6, No. 1, pp 42–46.
- Kim, T., Kang, S., Sung, J., Kang, Y., Kim, Y., dan Jang, J. 2016. Characterization of Polyester Cloth as an Alternative Separator to Nafion Membrane in Microbial Fuel Cells for Bioelectricity Generation Using Swine Wastewater. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol 26, No. 12, pp 2173-2180.
- Kurniati, Evi., Haji, A. T. S., dan Permatasari, C. A. 2019. Pengaruh Penambahan EM4 dan Jarak Elektroda terhadap Listrik yang dihasilkan MFC (Air Lindi). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Vol 6, No. 3, pp 19–30.
- Liu, H., Su, S., Xie, J., Ma, Y., dan Tao, C. 2020. Preparation of Superhydrophobic Magnetic Stearic Acid Polyurethane Sponge for Oil-Water Separation. *Journal of Materials Research*, Vol 35, No. 21, pp 2925–2935.
- Majanasastra, R. 2016. “Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming pada Material Tembaga (Cu) C84800 Dan Aluminium Al 6063.” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma “45” Bekasi*, Vol 4, No. 2, pp 1–16.
- Marlina, E., Wahyudi, S., dan Yuliati, L. 2013. Produksi Brown's GAS Hasil Elektrolisis H₂O dengan Katalis NaHCO₃. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol 4, No. 1, pp 53–58.
- Min, Booki, Shaoan Cheng, and Bruce E. Logan. 2005. “Electricity Generation Using Membrane and Salt Bridge Microbial Fuel Cells.” *Water Research*, Vol 39, No. 9, pp 1675–86.
- Mufandi, I., Azizah, I. N., Efendi, A., dan Mufrodi, Z. 2018. Pengolahan Slurry Sampah melalui Microbial Fuel Cells di Pasar Giwangan Yogyakarta. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol 5, No. 1, pp 29-36.
- Negara, I. M. S., Simpen, I. N., dan Suryatika, I. B. M. 2017. Elektrolisis Logam Perak dari Limbah Pencucian Film Fotografi. *Jurnal Kimia*. Vol 11, No. 1, pp 95–100.
- Noor, H. F. 2018. Kinerja Membran Komposit Kitosan-Sosium Alginat pada Sistem Microbial Fuel Cell dalam Menghasilkan Biolistrik dari Limbah Pemandangan Ikan. *Institut Pertanian Bogor*, Vol 6, No. 11, pp 951–952.
- Nur, T., Noor, A. R., dan Elma, M. 2016. Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bioaktivator EM4 (Effective Microorganism). *Konversi*, Vol 5, No. 2, pp 44–51.
- Nurajijah, L., Harjunowibowo, D., dan Radiyono, Y. 2014. Pengaruh Variasi Tegangan pada Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Proses Elektrolisis. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*, Vol 4, No. 1, pp 31–35.
- Nurdiati, D., dan Astuti. 2015. Sintesis Komposit PANi / Karbon dari Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) sebagai Elektroda Kapasitor. *Jurnal Fisika*

- Unand*, Vol 4, No. 1, pp 51–57.
- Parkash, A. 2016. Microbial Fuel Cells: A Source of Bioenergy. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, Vol 8, No. 3, pp 247-255.
- Pauzi, G. A., Nisa, M. A., Samosir, A. S., Sulitiyanti, S. R., dan Simanjuntak, W. 2020. Peningkatan Karakteristik Listrik Sel Elektrokimia Cu (Ag) -Zn dengan Penggunaan Anoda Tumbal Mg pada Accumulator Berbahan Air Laut. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, Vol 8, No. 1, pp 83–92.
- Permadi, Billy, Asroni Asroni, and Eko Budiyo. 2020. “Proses Elektroplating Nikel Dengan Variasi Jarak Anoda Katoda dan Tegangan Listrik pada Baja ST-41.” *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, Vol 8, No. 2, pp 226–30.
- Purnama, W. A., Kirom, M. R., dan Qurthobi, A. 2020. Analisis Pengaruh Temperatur dengan Substrat Lumpur Sawah terhadap Produksi Arus Listrik Microbial Fuel Cell. *E-Proceeding of Engineering*, Vol 7, No. 1, pp 1172–1177.
- Purwanti, A. 2010. Analisis Kuat Tarik dan Elongasi Plastik Kitosan Terplastisasi Sorbitol. *Jurnal Teknologi*, Vol 3, No. 2, pp 99–106.
- Purwanto, P., dan Huda, S. 2005. *Teknologi Industri Elektroplating*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Putra, A. M. 2012. Analisis Produktifitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan Koh. *Jurnal Neutrino*, Vol 2, No. 2, pp 141–154.
- Putri, A., dan Handani, S. 2015. Karakterisasi Sifat Mekanik Hasil Elektroplating Nikel Karbonat (NiCO 3) pada Tembaga (Cu). *Jurnal Fisika*, Vol 4, No. 1, pp 83–90.
- Rahmah, A., Sipayung, R., dan Simanungkalit, T. 2013. Pertumbuhan dan Produksi Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L.) dengan Pemberian Pupuk Kandang Ayam Dan Em4 (Effective Microorganism 4). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, Vol 1, No. 4, pp 952-962.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu..
- Sammes, N., Bove, R., dan Stahl, K. 2004. Phosphoric Acid Fuel Cells: Fundamentals and Applications. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, Vol 8, No. 5, pp 372–378.
- Sanjaya, I., dan Yuanita, L. 2007. Adsorpsi Pb (II) oleh Kitosan Hasil Isolasi Kitin Cangkang Kepiting Bakau (*Scylla* sp). *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol 8, No. 1, pp 30–36.
- Setiyana. 2020. *Sel Volta dan Aplikasinya dalam Kehidupan*. Magelang: Badongan.
- Suarsana, I. 2008. Pengaruh Waktu Pelapisan Nikel pada Tembaga dalam Pelapisan Khrom Dekoratif terhadap Tingkat Kecerahan dan Ketebalan Lapisan. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, Vol 3, No. 1, pp 48-60.

- Sudrajat, H. 2007. *Mengelola sampah kota*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Sugita, P., Wukirsari, T., Sjahriza, A., dan Wahyono, D. 2009. *Kitosan Sumber Biomaterial Masa Depan*. Bandung: IPB Press.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Microorganism : Suatu Kajian Kepustakaan. *Bioteknologi untuk Indonesia Abad*, Vol 21, No. 1, pp 1–9.
- Supiah, I. 2010. Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia*, Vol 3, No. 2, pp 1– 9.
- Supriadi, H. 2010. Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Variasi Rapat Arus pada Hard Chrome Electroplating terhadap Karakteristik Permukaan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Mechanical*, Vol 1, No. 1, pp 1–6.
- Supriadi, H., Irwanto, dan Zulhanif. 2013. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Pemerata Arus pada Elektroplating Tembaga terhadap Baja AISI 1045 terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin*, Vol 12, No.1 , pp 1267-1271.
- Syamsul, N. H., Wahyudin, I., dan Kirom, M. R. 2019. Studi Pengaruh Suhu Subtrat Terhadap Produksi Daya Listrik Microbial Fuel Cell dengan Subtrat Lumpur Sawah dan Nasi Basi. *E-Proceeding of Engineering*, Vol 6, No. 2, pp 5478– 5484.
- Terzioglu, P., dan Parin, F. N. 2020. Biochar Reinforced Polyvinyl Alcohol /Corn Starch Biocomposites Pinar. *Suleyman Demirel Universitesi Fen Bilimleri Enstitusu Dergisi*, Vol 24, No. 1, pp 35–42.
- Victory, Shelly et al. 2019. “Karakteristik Fungsional Edible Film Dari Komposit Pati/Kitosan/Asam Stearat.” *Jurnal Natural*, Vol 17, No. 2, pp 143–48.
- Waluyo, A. F., dan Sabarman, H. 2019. Fabrikasi Fiber Polyvinyl Alcohol (PVA) dengan Elektrosponing. *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, Vol 5, No. 1, pp 88–98.
- Warlinda, Y. A., dan Zainul, R. 2019. Asam Posfat (H₃PO₄): Ionic Transformation of Phosphoric Acid in Aqueous Solution. *Universitas Negeri Padang*, Vol 1, No. 1, pp 1-33.
- Wiliastuti, R. A. (2006). Studi Penumbuhan Membran Polyvinyl Alcohol (PVA) dengan Variasi Konsentrasi PVA menggunakan Metode Spin Coating di Atas Lapisan Elektroda Platinum. *Universitas Sebelas Maret*, Vol 1, No.1, pp 1-4
- Wulansari, A Diah, and Lukman Atmaja. 2016. “Pengaruh Variasi Konsentrasi Metanol Terhadap Daya Serap Dan Permeabilitas Metanol Membran Komposit Kitosan/Montmorilont-Glutaraldehyd.” *Skripsi* 5(2): 6–11.
- Yogaswara, R. R., Farha, A. S., Khairunnisa, K., Pusfitasari, M. D., dan Gunawan, A. 2017. Studi Penambahan Mikroorganism pada Subtrat Limbah Pome terhadap Kinerja Microbial Fuel Cell. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol 12, No. 1, pp 14–18.

Yokoyama, H., Ohmori, H., Ishida, M., Waki, M., dan Tanaka, Y. 2006. Treatment of Cow-Waste Slurry by a Microbial Fuel Cell and the Properties of the Treated Slurry as a Liquid Manure. *Animal Science Journal*, Vol 77, No. 1, pp 634–38.