

**ANALISIS VARIASI JUMLAH ECENG GONDOK DAN CAHAYA
MATAHARI TERHADAP POTENSI DAYA LISTRIK PADA MODEL
PLANT MICROBIAL FUEL CELL (PMFC) MENGGUNAKAN
ELEKTRODA AI DAN Fe**

(Skripsi)

Oleh

Ruth Sanilawati Sipangkar



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS VARIASI JUMLAH ECENG GONDOK DAN CAHAYA MATAHARI TERHADAP POTENSI DAYA LISTRIK PADA MODEL *PLANT MICROBIAL FUEL CELL* (PMFC) MENGGUNAKAN ELEKTRODA Al DAN Fe

Oleh

RUTH SANILAWATI SIPANGKAR

Telah dilakukan penelitian Pengaruh Variasi Jumlah Eceng Gondok dan Cahaya Matahari Terhadap Potensi Daya Listrik Pada Model *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) Menggunakan Elektroda Al dan Fe. Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh variasi jumlah batang eceng gondok terhadap energi listrik yang dihasilkan dari elektroda dengan pengaruh cahaya matahari. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu Al dan Fe. Pada penelitian ini menggunakan variasi jumlah batang eceng gondok, yaitu variasi penuh sebesar 1.300 gram, variasi setengah sebesar 650 gram serta variasi kontrol tanpa media tanaman. Variasi jumlah batang tersebut diletakan di dalam ruangan dan di luar ruangan. Penelitian ini dilakukan selama 2 minggu setiap pukul 12.00 WIB. Daya listrik yang dihasilkan tertinggi didapatkan pada hari ke 8 pada variasi jumlah batang penuh yaitu sebesar 1,48 mW yang diletakan di luar ruangan.

Kata Kunci : *PMFC, Variasi jumlah, Daya Listrik*

ABSTRACT

ANALYSIS OF VARIATIONS IN THE AMOUNT OF WATER HYACON AND SUNLIGHT ON ELECTRIC POTENTIAL IN A MICROBIAL FUEL CELL (PMFC) PLANT MODEL USING Al AND Fe ELECTRODES

By

RUTH SANILAWATI SIPANGKAR

Research has been carried out on the influence of variations in the number of water hyacinths and sunlight on the potential of electrical power in the Microbial Fuel Cell (PMFC) plant model using Al and Fe electrodes. The aim of the research is to determine the effect of varying the number of water hyacinth stems on the electrical energy produced from electrodes under the influence of sunlight. The electrodes used in this research are Al and Fe. This research used variations in the number of water hyacinth stems, namely the full variation of 1,300 grams, the half variation of 650 grams and the control variation without plant media. Variations in the number of rods are placed indoors and outdoors. This research was conducted for 2 weeks every time at 12.00 PM. The highest electrical power produced was obtained on the 8th day with a variation of the number of full rods, namely 1.48 mW which was placed outdoors.

Keywords: *PMFC, Variation in number, Electric Power*

**ANALISIS VARIASI JUMLAH ECENG GONDOK DAN CAHAYA
MATAHARI TERHADAP POTENSI DAYA LISTRIK PADA MODEL
PLANT MICROBIAL FUEL CELL (PMFC) MENGGUNAKAN
ELEKTRODA Al DAN Fe**

Oleh

Ruth Sanilawati Sipangkar

Skripsi

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

Pada

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



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : Analisis Variasi Jumlah Eceng Gondok dan Cahaya Matahari Terhadap Potensi Daya Listrik Pada Model *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) Menggunakan Elektroda Al dan Fe

Nama Mahasiswa : Ruth Sanilawati Sipangkar

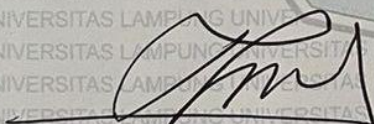
Nomor Pokok Mahasiswa : 1957041010

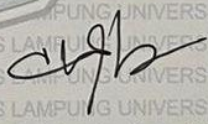
KBK : Instrumentasi

Jurusan : Fisika

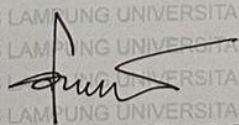
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP. 196504071991111001


Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP. 19901125019032018

2. Ketua Jurusan Fisika


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

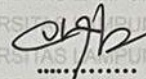
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Amir Supriyanto, M.Si.



Sekretaris : Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 11 Januari 2024

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 12 Januari 2024



Ruth Sanilawati Sipangkar
NPM. 1957041010

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ruth Sanilawati Sipangkar, dilahirkan pada tanggal 14 Februari 2001 di Tangerang. Penulis merupakan anak pertama dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Palson Sipangkar dan Ibu Rosdiana Sitanggung. Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak Pintari Bangsa pada tahun 2007, dilanjutkan Sekolah Dasar (SD) Citra Berkat Citra Raya Tangerang pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Citra Berkat Citra Raya Tangerang pada tahun 2016 dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Kabupaten Tangerang pada tahun 2019.

Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Penguruan Tinggi Negeri Barat (SMM PTN-BARAT). Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota Sosial dan Masyarakat tahun 2020, Staf Ahli Komunikasi dan Informasi Badan Eksekutif Masyarakat (BEM) FMIPA Unila tahun 2021, Staf Keuangan Koperasi Mahasiswa (KOPMA) Universitas Lampung tahun 2021, Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota Kaderisasi tahun 2021, Staf Pengembangan Sumber Daya Anggota Koperasi Mahasiswa (KOPMA) Universitas Lampung tahun 2022.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis mendapat prestasi sebagai Duta Generasi Berencana Favorite Puteri Universitas Lampung tahun 2020, *Runner Up IV* Puteri Ekowisata Provinsi Lampung tahun 2022,

Puteri Wisata Digital Indonesia tahun 2023, *Runner Up* III Miss Glocal International tahun 2023. Penulis juga sebagai asisten praktikum mata kuliah Fisika Komputasi pada tahun 2023 dan Metode Pengukuran dan Kalibrasi pada tahun 2023.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Semen Baturaja (Persero) bertempat di Baturaja Ogan Komering Ulu (OKU) pada tahun 2022 dan menyelesaikan laporan PKL dengan judul “Kajian Teknis dan Monitoring Kecepatan *Belt Conveyor* XSAV11901 di Area *Cement Mill* PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk.” Penulis pernah melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2022 di Pekon Wonoharjo, Kecamatan Sumberejo, Kabupaten Tanggamus. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di Jurusan Fisika dengan Judul “**Analisis Variasi Jumlah Eceng Gondok dan Cahaya Matahari Terhadap Potensi Daya Listrik Pada Model *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) Menggunakan Elektroda Al dan Fe**”.

MOTTO

“Serahkan perbuatanmu kepada Tuhan, dan rencanamu akan terlaksana.”

(Amsal 16:3)

“Janganlah takut, sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang, sebab Aku ini AllahMu; Aku akan meneguhkan, bahkan Aku akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang membawa kemenangan”

(Yesaya 41:10)

“Bersukacitalah dalam pengharapan, sabarlah dalam kesesakan, dan bertekunlah dalam doa!”

(Roma 12:12)

“Doa bapa mama dan adik adikmu selalu untukmu nang”

PERSEMBAHAN

Terpujilah Nama Tuhan

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yesus atas segala berkat kemurahan dan penyertaanNya, kupersembahkan skripsi ini untuk semua orang yang ku sayangi dan cintai

Bapak Palson Sipangkar dan Ibu Rosdiana Sitanggang

Kedua orang tuaku yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, mendukung, dan mendoakanku, serta menjadi penyemangatku sehingga aku mampu menghadapi pergumulan dan menyelesaikan pendidikan S1

Anggie Alfharetha, Ezra Silvy Andhini, Dipa Ranez Efrata, Abadi Amos

Mangiring dan Citra Indah

Adik-adikku yang kakak sayang terimakasih telah menjadi penyemangat serta tempat kakak pulang dalam permasalahan kakak, tawa canda kalian yang membuat kakak kuat

Bapak/Ibu Dosen Fisika FMIPA Unila

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasihat serta saran yang membangun kepadaku

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, yang telah memberikan kesehatan, berkat kemurahan dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah serta skripsi yang berjudul “Analisis Variasi Jumlah Eceng Gondok dan Cahaya Matahari Terhadap Potensi Daya Listrik Pada Model *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) Menggunakan Elektroda Al dan Fe”. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 12 Januari 2024

Penulis

SANWACANA

Terpujilah nama Tuhan, penulis menyadari bahwa selama penulisan skripsi ini tentunya mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak yang telah mendukung, memberikan motivasi dan membimbing penulis. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati dan ketulusan, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku pembimbing 1 yang telah senantiasa merelakan waktunya untuk memberikan bimbingan, saran dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi.
2. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si. selaku pembimbing 2 yang telah membimbing, memberikan saran, masukan dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi.
3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku penguji yang telah memberikan masukan berupa kritik dan saran kepada penulis dalam penulisan skripsi.
4. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan kepada penulis selama masa kuliah.
5. Seluruh Bapak/Ibu dosen di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
6. Seluruh tenaga kependidikan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi.
7. Kedua orang tuaku Bapak Palson Sipangkar dan Ibu Rosdiana yang senantiasa memberikan doa, semangat, nasihat, motivasi, pengorbanan, ketulusan kasih sayang kepada penulis.
8. Kelima adik-adikku Anggie Alfharetha, Ezra Silvy Andhini, Dipa Ranez Efrata, Abadi Amos Mangiring dan Citra Indah yang selalu memberikan semangat dan menjadi tempat ternyaman penulis.

9. Indriya Wati, S.Si. yang selalu bersama dengan penulis dari awal bersekolah di SMA Negeri 1 Kabupaten Tangerang hingga dipertemukan kembali di Fisika FMIPA Universitas Lampung serta kembali bertemu menjadi kawan selama KKN di Pekon Wonoharjo yang selalu memberikan semangat, motivasi dan menjadi tempat keluh kesah penulis.
10. Alpin Multi Putra Pinem, S.Pd. selaku sahabat yang menemani, memberikan semangat, motivasi dan menjadi tempat keluh kesah penulis selama perkuliahan.
11. Romi Simanungkalit, Ade Irma, S.Pt. dan Haposan Sihombing, S.Si. yang telah bersama penulis membantu menemani mengambil eceng gondok.
12. Teman-teman dekat penulis, Ester Lusiana Siregar, Lidya Listra, Rifki Mohamad K, S.Si, Serly Asola, Ajeng Oktasari, Razka Wildan, Rhabeca Fetrylia yang telah memberikan semangat dan membentuk kenangan selama perkuliahan bersama penulis.
13. Teman-teman fisika angkatan 2019 dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi penulis.
14. Last but not least, terimakasih kepada diri saya sendiri yang telah mampu kooperatif dalam mengerjakan skripsi ini, selalu berpikir positif ketika keadaan pernah tidak berpihak, berusaha mempercayai diri sendiri, hingga akhirnya mampu membuktikan bahwa penulis mampu bertahan.

Semoga Tuhan Yesus Kristus senantiasa memberikan berkat dan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 12 Januari 2024

Penulis,

Ruth Sanilawati Sipangkar

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
PERSEMBAHAN	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Eceng Gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i>).....	9
2.3 Energi Listrik.....	10
2.3.1 Potensi Sumber Energi.....	11
2.3.2 Beda Potensial.....	11
2.4 <i>Fuel Cell</i>	12

2.5 Microbial Fuel Cell (MFC)	15
2.6 <i>Plant Microbial Fuel Cell</i> (PMFC)	16
2.7 Elektrokimia	17
2.8 Elektroda	19
2.9 pH Larutan.....	21

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Prosedur Penelitian.....	25
3.3.1 Persiapan Penelitian.....	26
3.3.2 Perancangan Desain PMFC	27
3.3.3 Pengambilan Data	28
3.3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian.....	29
3.3.5 Rancangan Analisis Data Penelitian	30

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Variasi Jumlah Batang Eceng Gondok.....	33
4.2 Hasil Penelitian PMFC	36
4.2.1 Tegangan PMFC	36
4.2.2 Arus PMFC	38
4.2.3 Daya Listrik	39
4.3 Hubungan pH dan Daya Listrik.....	41

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Lahan Basah (a) Atas (b) Samping.....	6
Gambar 2.2 Metode Pengukuran PMFC.....	8
Gambar 2.3 Eceng Gondok	9
Gambar 2.4 Skema PMFC.....	17
Gambar 2.5 Komponen Sel Elektroda.....	20
Gambar 2.6 Nilai pH	22
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	26
Gambar 3.2 Desain PMFC.....	28
Gambar 3.3 Grafik Variasi Jumlah Tegangan PMFC	31
Gambar 3.4 Grafik Variasi Jumlah Arus PMFC	31
Gambar 3.5 Grafik Hasil PMFC di dalam Ruangan.....	32
Gambar 3.6 Grafik Hasil PMFC di dalam Ruangan.....	32
Gambar 4.1 Massa 1 Batang Eceng Gondok.....	33
Gambar 4.2 Susunan PMFC Variasi Kontrol	35
Gambar 4.3 Tegangan PMFC.....	37
Gambar 4.4 Arus PMFC.....	39
Gambar 4.5 Pengukuran pH	41
Gambar 4.6 pH dan Daya Listrik di dalam Ruangan	43
Gambar 4.7 pH dan Daya Listrik di luar Ruangan	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik <i>Fuel Cell</i> dan Status Saat ini	13
Tabel 2.2 Potensi Sumber Daya Alam logam di Indonesia.....	14
Tabel 2.3 Potensial Reduksi Standar pada 25°	19
Tabel 3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian	24
Tabel 3.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	25
Tabel 3.3 Pengukuran PMFC di dalam Ruangan	29
Tabel 3.4 Pengukuran PMFC di luar Ruangan.....	29
Tabel 3.5 pH dan Daya Listrik di dalam Ruangan	30
Tabel 3.6 pH dan Daya Listrik di luar Ruangan.....	30
Tabel 4.1 Tegangan PMFC di dalam Ruangan	36
Tabel 4.2 Tegangan PMFC di luar ruangan	37
Tabel 4.3 Arus PMFC di dalam Ruangan	38
Tabel 4.4 Arus PMFC di luar ruangan	38
Tabel 4.5 Daya Listrik PMFC di dalam Ruangan	39
Tabel 4.6 Daya Listrik PMFC di luar Ruangan.....	40
Tabel 4.7 pH PMFC	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan. Sumber listrik yang digunakan berasal dari batu bara sebesar 50%, gas bumi sebesar 29%, bahan bakar minyak (BBM) sebesar 7% dan energi terbarukan sebesar 14%. Seperti yang kita ketahui bahwa banyak negara yang berupaya mengurangi penggunaan energi fosil karena mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan dan manusia. Hal ini membuat pemerintah melalui Perpres No. 4 Tahun 2016 berusaha untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan melalui pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan (Cahyani, 2020). Penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi energi alternatif sebagai pengganti energi fosil yang ramah lingkungan dengan konversi energi (Kholiq, 2015). Salah satu jenis energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah sel bahan bakar berbasis mikroba-tanaman (PMFC) (Cahyani, 2020).

PMFC menggunakan sel bahan bakar (*Fuel Cell*) yang memiliki konversi energi sehingga dapat mengubah energi dari bahan bakar tertentu menjadi energi listrik arus searah (*Direct Current*) dengan menggunakan prinsip elektrokimia. *Fuel cell* dengan memanfaatkan hidrogen sebagai bahan bakar yang mempunyai potensi untuk memberikan energi. *Fuel cell* dapat dikembangkan menjadi *Microba Fuell Cell* (MFC) dengan memanfaatkan tanaman dari mikroba yang dapat memecah komponen organik menjadi elektron dan proton. Elektron akan mengalir dari anoda menuju katoda sehingga menyebabkan beda potensial yang akan membentuk energi listrik (Suryani, 2022). Perkembangan MFC saat ini beragam, salah satunya menggunakan tanaman sebagai media sel bahan bakar. Tanaman yang biasanya digunakan ialah *Eichhornia crassipes* (Nisa, 2018).

Namun, tanaman *Canna indica* dan *Spartina anglica* juga dapat digunakan PMFC karena mempunyai akar (*Rhizosphere*) yang akan melakukan pembuangan bahan organik yang berlebihan dari hasil fotosintesis melalui akar yang menghasilkan listrik karena terjadi pertukaran ion (Cahyani dkk., 2020).

Komponen utama PMFC antara lain matriks pendukung (bakteri), tanaman hidup dan elektroda. Komponen tersebut berpengaruh terhadap karakteristik elektrik PMFC. Penelitian sebelumnya oleh Pubiyanti (2022) melakukan karakterisasi PMFC menggunakan eceng gondok dengan variasi jumlah eceng gondok dan pengaruh cahaya matahari. Penelitian ini menggunakan elektroda Zn dan Cu karena logam ini sulit mengalami perkaratan. Pada anoda diberi plat Zn dan katoda diberi plat Cu. Penelitian ini dilakukan di dua tempat berbeda yaitu di luar ruangan dan di dalam ruangan. PMFC dari penelitian ini menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 6,31 mW di luar ruangan pada hari ketiga pukul 13.00 WIB dan 1,64 mW di dalam ruangan pada hari pertama pukul 07.00 WIB.

Penelitian Novelendah dkk., (2018) melakukan PMFC dengan plat Aluminium (Al) yang didalamnya terdapat bubuk karbon dengan menggunakan tanaman eceng gondok. PMFC akan menghasilkan oksidasi dan reduksi dengan elektroda. Penelitian ini menghasilkan eceng gondok sebagai tanaman teknologi PMFC yang menghasilkan listrik melalui kandungan akar yang terjadi akibat degradasi kandungan fosfat. Penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel eceng gondok, air sungai dan sedimen sungai. Penelitian ini menggunakan 4 variasi yaitu: penuh, setengah, seperempat dan kontrol. Eceng gondok penuh menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 0,7722 mW/m² pada hari ketiga. Eceng gondok setengah menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 0,352 mW/m² pada hari pertama. Eceng gondok seperempat menghasilkan daya listrik sebesar 0,756 mW/m² pada hari ketujuh serta kontrol dengan daya maksimum sebesar 0,575 mW/m². Selanjutnya, Kadhafi (2020) melakukan potensi energi listrik dengan PMFC menggunakan variasi jenis elektroda, yaitu: Al dengan Cu, Zn dengan Cu dan Al dengan Pb. Elektroda ini juga mampu mencegah terjadinya oksidasi. Penelitian ini menggunakan tanaman hias kadaka (*Asplenium Nidus*)

yang menghasilkan energi listrik dari variasi elektroda. Pada Al dengan Cu daya maksimum sebesar 0,9603 mW. Pada Zn dengan Cu daya maksimum sebesar 0,6566 mW. Pada Al dengan Pb daya maksimum sebesar 0,0577 mW.

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan pembuatan energi terbarukan yang ramah lingkungan dengan menggunakan metode PMFC. Penelitian ini menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) karena memiliki akar yang dapat menghasilkan pengantar listrik yang baik, memiliki tangkai daun berisi serat yang mengandung banyak air, mempunyai mikroorganisme yang terdiri dari bakteri sehingga mampu mempunyai senyawa yang sulit terurai seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan bantuan energi sinar matahari (Winata, 2011). Selain itu, eceng gondok dapat berkembang biak secara vegetatif maupun generatif dengan cepat. Eceng gondok dapat tumbuh berlipat ganda sehingga akan muncul tunas baru selama 7-10 hari (Pubiyanti, 2022). Pada penelitian ini menggunakan elektroda Al dan Fe. Masing-masing elektroda sebagai oksidasi dan reduksi yang dapat menghasilkan tegangan yang tergantung dengan sifat logam dan mempunyai ketahanan terhadap korosi (Pubiyanti, 2022). Penelitian ini menggunakan metode PMFC dengan variable variasi jumlah. Variasi jumlah yang digunakan pada penelitian ini mengambil tiga variasi jumlah yang akan diletakan dengan 2 keadaan. Keadaan pertama diletakkan di dalam ruangan dan keadaan kedua diletakan di luar ruangan yang didalam masing-masing keadaan terdiri dari tiga variasi jumlah batang eceng gondok. Pada variasi jumlah penuh sebesar 1300 gram, setengah sebesar 650 gram dan kontrol tanpa eceng gondok. Karakteristik pada penelitian ini berupa nilai tegangan, arus yang dihasilkan. Oleh karena itu, maka akan dihitung daya listrik yang dihasilkan oleh PMFC pada penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah yang mendasari penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah batang eceng gondok menggunakan elektroda Al dan Fe terhadap energi listrik yang dihasilkan di dalam ruangan maupun di luar ruangan?
2. Bagaimana pengaruh pH terhadap daya listrik yang dihasilkan di dalam ruangan maupun di luar ruangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Bedasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan yang mendasari dilakukannya penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh variasi jumlah batang eceng gondok menggunakan elektroda Al dan Fe terhadap energi listrik yang dihasilkan di dalam ruangan maupun di luar ruangan.
2. Mengetahui pengaruh pH terhadap daya listrik yang dihasilkan di dalam ruangan maupun di luar ruangan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Memberikan informasi bahwa PMFC dapat digunakan sebagai energi terbarukan yang akan menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan tanaman eceng gondok.
2. Memberikan informasi pengaruh pH terhadap daya listrik.

1.5 Batasan Masalah

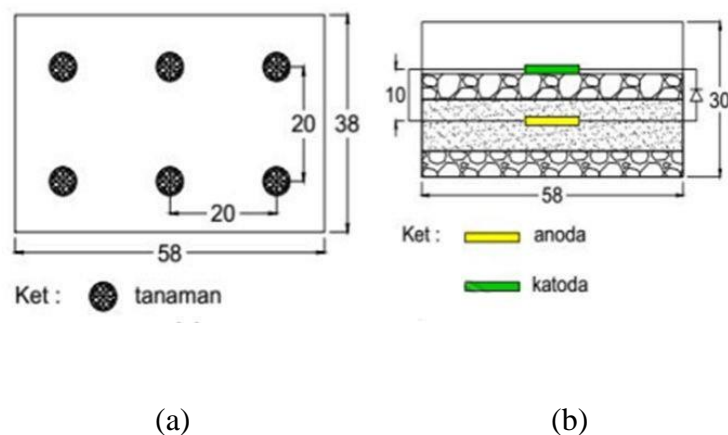
Batasan masalah yang dibahas pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Jenis tanaman yang digunakan penelitian adalah eceng gondok.
2. Eceng gondok diambil di Gang Murai IV, Sukarame, Bandar Lampung.
3. Jenis elektroda yang digunakan yaitu Al dan Fe.
4. Jenis metode *fuel cell* yang digunakan penelitian ini adalah PMFC.
5. Variasi eceng gondok yang digunakan penuh sebesar 1300 gram (4 batang), setengah sebesar 650 gram (2 batang) dan kontrol tanpa eceng gondok.
6. Massa satu gumpal eceng gondok sebesar 325 gram.
7. Menggunakan sedimentasi sebagai nutrisi pada tanaman eceng gondok.
8. Menggunakan pH meter sebagai pengukur kadar air pada eceng gondok.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) berkaitan dengan pengolahan air limbah dan produksi pada lahan basah dapat menggunakan PMFC dengan menggunakan berbagai tanaman oleh Nisa (2018). Penelitian ini menggunakan tempat yang berkondisi basah yang berukuran 66 liter dengan panjang, lebar, dan tinggi sebesar 58 cm, 38 cm dan 30 cm. Tempat yang digunakan dengan bahan plastik yang terdapat suatu elektroda sebagai penghasil listrik yang terbuat dari karbon grafit berbentuk tabung dengan luas permukaan yang elektrodanya berukuran masing-masing $15,3232 \text{ cm}^2$. Pada setiap tempat terdapat 20 elektroda yang didalamnya 10 anoda dan 10 katoda dengan jarak antar komponen anodanya 5 cm begitu juga dengan katodanya 5 cm. Elektroda yaitu anoda dan katoda diletakan di dalam reaktor. Dimana anoda pada kedalaman 10 cm dari permukaan substrat, sedangkan katoda pada permukaan substrat sehingga dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Pada penelitian ini didapatkan nilai voltase tertinggi sebesar 424 mV.



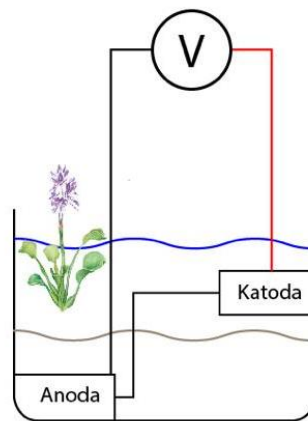
Gambar 2.1 Lahan Basah (a) Atas (b) Samping (Nisa, 2018)

Penelitian PMFC lainnya menggunakan eceng gondok yang menghasilkan potensi listrik dan degradasi fosfat oleh Novelendah dkk., (2018). Potensi listrik ini menggunakan 4 buah reaktor yang bermuatan 50 liter. Penelitian ini terdapat 2 variabel, yaitu variabel bebas dimana mempunyai jumlah tanaman eceng gondok dan variabel terikat dimana mempunyai besar daya listrik serta degradasi konsentrasi fosfat yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan variasi jumlah tanaman eceng gondok yang mempunyai masing-masing reaktornya terdiri dari penuh, setengah, seperempat serta tanpa eceng gondok sebagai kontrol.

Elektroda yang digunakan *graphene* dari plat aluminium yang berukuran 20 cm X 11 cm dengan luas sebesar 458 cm², sedimen sungai setinggi 14 cm dari dasar reaktor, air sungai setinggi 14 cm dari bagian atas permukaan sedimen. Pada proses penelitian ini membuat plat aluminium dengan larutan HCl 1 mol dan NaOH 1 mol. Daya listrik yang dihasilkan pada penelitian ini menghasilkan daya listrik sebesar 0,772 mW/m² pada reaktor penuh di hari ketiga, 0,352 mW/m² pada reaktor setengah di hari pertama, 0,756 mW/m² pada reaktor seperempat di hari ketujuh, dan 0,575 mW/m² pada kontrol di hari ketujuh. Pada penelitian ini variabel bebas yang memenuhi permukaan reaktor sebesar 0,4806 mW/m². Potensi degradasi fosfat sebesar 8,426 mg/L dengan efisiensi 87,36%.

Penelitian lainnya mengenai potensi energi listrik menggunakan PMFC dengan variasi jenis elektroda dilakukan oleh Kadhafi (2020). PMFC melakukan perbandingan perbedaan antara daya listrik yang berasal dari elektroda satu dengan yang lain. Dapat diketahui juga dengan adanya metode PMFC tanaman dapat mengeluarkan listrik yang proses terjadinya terdapat di akar pada tanaman. Tanaman yang digunakan mengandung bahan organik yang mendapatkan energi dari karbondioksida dan sinar matahari sehingga berfotosintesis. Penelitian ini dilakukan dengan jenis elektroda yaitu aluminium dan seng sebagai anoda serta Tembaga dan Timbal sebagai katoda. Penelitian ini menggunakan tanaman kadaka (*Asplenium Nidus L*) dengan memakai 3 perbedaan jenis elektroda yang diletakkan diletakkan di pot.

Pada pot I dengan elektroda aluminium/Al sebagai anodanya dengan tembaga/Cu sebagai katodanya. Pada pot II dengan elektroda seng/Zn sebagai anodanya dengan Tembaga/Cu sebagai katodanya. Pot III menggunakan elektroda aluminium/Al sebagai anodanya dengan timbal/Pb sebagai katodanya. Penelitian ini juga menggunakan elektroda yang masing-masing memiliki luas 4 cm x 10 cm. Anoda terletak tertutup di antara tanah dan katoda terletak di atas permukaan tanah sehingga anoda mencegah oksigen yang masuk dan katoda membuka oksigen agar tetap masuk dapat dilihat seperti **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Metode Pengukuran PMFC

Penelitian yang berhubungan dengan PMFC juga dilakukan oleh Rosyadi dkk., (2017) dengan memanfaatkan alga hijau sebagai biokatoda. Penelitian ini menggunakan anoda, katoda, membran penukar kation dan elektroda grafit. Anoda yang digunakan yaitu limbah cair tempe sebanyak 400 ml, menambahkan glukosa 1 mol sebanyak 200 ml, katoda yang digunakan yaitu alga hijau air tawar dengan variasi kadar yaitu 30 gram, 40 gram, 50 gram dan 60 gram, serta menambahkan aquades sebanyak 600 ml tiap variasinya. Penelitian ini menggunakan alga hijau jenis *cladophora* yang termasuk kedalam makroalga yang menempel di batu tepi sungai. Tegangan maksimum yang terukur sebesar 320 mV pada kadar alga 60 gram, kuat arus sebesar 5,9 μA dan kepadatan daya 1293,151 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

2.2 Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)

Eceng Gondok diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Magnoliophyta
Classis	: Liliopsida
Ordo	: Liliales
Familia	: Pontederiaceae
Genus	: <i>Eichhornia</i>
Species	: <i>Eichhornia crassipes</i>

Eceng gondok merupakan gulma air yang hidup bebas di permukaan air, tumbuh dengan cepat dan dapat tumbuh sepanjang tahun. Eceng gondok memiliki tinggi 0,4-0,8m, bukaan batang pendek, diameter 1-2,5cm, dan panjang batang mencapai 30cm. Daun eceng gondok diameternya bisa mencapai 1,5 cm, bentuknya lentur, agak membulat, warnanya hijau cerah, dan mengkilat jika terkena sinar matahari. Kelopak bunganya berwarna ungu muda. Setiap bunga mempunyai kepala putik dan setiap batang menghasilkan 500 biji dan disajikan pada **Gambar 2.3**. Pertumbuhan dari daun eceng gondok dapat mencapai 7,5–12,5% per hari.



Gambar 2.3 Eceng Gondok

Hasil analisis industri pada eceng gondok menunjukkan kadar air, abu, protein, lemak kasar, serat kasar dan BENT masing-masing sebesar 94,09%; 1,41%;

0,71%; 0,07%; 2,19% dan 1,25%. Eceng gondok memiliki kemampuan berkembang biak dengan cepat, dan eceng gondok memiliki kemampuan menyerap unsur hara, senyawa organik, dan unsur kimia lainnya dalam air limbah dalam jumlah besar (Marwoto dkk., 2022).

2.3 Energi Listrik

Energi adalah kemampuan untuk menjalankan pekerjaan sehingga menghasilkan usaha didalamnya. Energi listrik adalah hasil dari energi yang mengakibatkan suatu gerakan muatan listrik yang terjadi karena muatan listrik. Di dalam muatan listrik terdapat beda potensial yang dapat menghasilkan energi sehingga mengubah muatan elektron dari titik potensial rendah menuju titik potensial tinggi (Hakimah, 2019). Karena adanya energi listrik maka energi mempunyai daya yang digunakan sebagai energi terbarukan yang berasal dari sumber panas bumi, sinar matahari, air, angin yang dapat diolahkan sehingga mendapatkan suatu energi baru (Lumbangaol, 2007).

Energi listrik biasanya di dalam kehidupan manusia dipakai di rumah tangga, perusahaan, gedung, penerang jalan umum, dan lainnya. Energi listrik setiap tahunnya menghasilkan beban listrik yang tidak sama, sehingga PLN (Perusahaan Listrik Negara) melakukan perencanaan yang dapat memprediksi beban listrik tersebut tanpa mengalami kerugian (Hakimah, 2019). Sumber energi fosil yang berasal dari alam dapat menjadi energi listrik yang menghasilkan energi terbarukan. Hal ini dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang semakin meningkat. Energi terbarukan dapat memanfaatkan barang bekas yang tidak dapat digunakan kembali. Misalnya, kulit pisang sebagai pengganti batu baterai karena menghasilkan reaksi kimiawi yang didalamnya terdapat listrik yang keluarannya berbentuk listrik arus searah yaitu DC (*Direct Current*). Batu baterai yaitu energi listrik dan termasuk kedalam golongan B3 (Bahan Berbahaya Beracun). Didalam batu baterai terdapat berbagai macam logam kuat seperti timbal, nikel, lithium,

dan lainnya yang dapat mencemari air dan tanah sehingga berdampak pada makhluk hidup (Muhlisin dkk., 2015).

2.3.1 Potensi Sumber Energi

Energi terbarukan memiliki potensi yang berdampak positif dari sumber energi dari panas bumi, air, tumbuhan, laut, sel bahan bakar, angin, surya, panas bumi, serta nuklir (Lubis, 2007). Penggunaan energi mengalami peningkatan terus-menerus. Konsumsi energi dunia diunggul oleh sumber daya energi fosil yaitu batu bara dan minyak bumi (Hasan, 2015). Konsep energi tidak terlepas dari perubahan energi. Salah satu metode untuk menghasilkan energi listrik adalah dengan menggunakan metode elektrokimia. Elektrokimia merupakan ilmu kimia yang mempelajari tentang terjadinya perpindahan elektron yang terjadi pada sebuah media pengantar listrik yang disebut elektroda. Konsep elektrokimia didasari oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Pada reaksi reduksi terjadi peristiwa penangkapan elektron sedangkan reaksi oksidasi merupakan peristiwa pelepasan elektron yang terjadi pada media pengantar pada sel elektrokimia (Harahap, 2016).

2.3.2 Beda Potensial

Pada sebuah rangkaian terdapat energi yang diubah yang bermuatan Q (Coulomb) bergerak melintasi beda potensial (volt) sehingga menghasilkan daya listrik (*watt*) dimana 1 watt bernilai 1 Joule/detik. Maka, daya listrik yang bersimbol P menjadi kecepatan perubahan energi seperti Persamaan 2.1.

$$P = \text{daya} = \frac{\text{energi yang diubah}}{\text{waktu}} = \frac{QV}{t} \quad (2.1)$$

Muatan yang mengalir per detik atau $\frac{Q}{t}$, dimana arus listrik I (ampere) dapat dituliskan seperti Persamaan 2.2.

$$P = I V \quad (2.2)$$

Hubungan ini menghasilkan daya yang diubah oleh suatu rangkaian dimana I adalah arus yang melewatinya dan V adalah beda potensial yang melintasinya.

Kecepatan perubahan energi pada hambatan R dapat dituliskan dengan menggunakan hukum Ohm seperti Persamaan 2.3.

$$V = IR \quad (2.3)$$

(Giancoli, 2001).

2.4 Fuel Cell

Fuel Cell atau sel bahan bakar ialah suatu teknologi yang unik dan mempunyai kekhususan dari sehingga dapat diaplikasikan (Oktaufik, 2009). *Fuel Cell* termasuk dalam golongan sel galvanik yang terdapat energi kimia sehingga menghasilkan reaksi kimia yang akan berubah menjadi energi listrik dilakukan secara berlanjut. *Fuel Cell* adalah sel listrik yang dapat menyimpan energi listrik secara berkelanjutan sehingga dapat mengalirkan daya listrik selanjutnya tanpa adanya batas waktu (Safitri dkk., 2016). Sumber energi mengakibatkan dampak lingkungan seperti polusi udara, pemanasan global, hutan yang semakin gundul, serta emisi yang berasal dari unsur radioaktif. *Fuel Cell* dapat mengatasi dampak tersebut karena lebih efisien, tahan uji, dapat menerima bahan bakar serta emisi SO_2 dan NO_2 sangat rendah. *Fuel Cell* berdasarkan karakteristik dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu PAFC (*Phosphoric Acid Fuel Cell*), PEMFC (*Proton exchange Membrane Fuel Cell*), MCFC (*Molten Carbonate Fuel Cell*) serta SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*). Karakteristik ini dapat dilihat pada **Tabel 2.1** (Raharjo dkk., 2008).

Tabel 2.1 Karakteristik *Fuel Cell* dan Status Saat ini

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Elektrolit	<i>Proton-exchange membrane</i> (nafion)	<i>Posphoric acid</i> (H_3PO_4)	<i>Molten salt</i> ($Na_2CO_3 - Li_2CO_3$)	Keramik ($ZrO_2 - Y_2O_3$ & doped ceria 600-1000)
Temperatur Operasi	50-80	160-200	630-650	600-1000
Bahan bakar	H_2	H_2	H_2, CO, CH_4	H_2, CO, CH_4
Oksidan	O_2 , udara	O_2 , udara	O_2, CO_2 , udara	O_2 , udara
Efiensi (HHV) (%)	40-50	40-50	50-60	45-65

Sel bahan bakar yaitu alat yang mampu menghasilkan arus listrik yang searah yang terdiri dari 2 elektroda, yaitu anoda dan katoda yang berfungsi sebagai elektrolit karena dipisahkan oleh membran *polymer* (Suhada, 2001). Sumber energi pada sel bahan bakar yaitu gas hidrogen sebagai bahan baku utama. Gas hidrogen sebagai pembangkit energi listrik yang memiliki kerapatan energi yang besar (Lubis, 2007). Penggunaan sel bahan bakar menjadi mudah, terutama sebagai pembangkit tenaga untuk peralatan las yang berkapasitas 5 kW. Sel bahan bakar yaitu teknologi elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik secara stabil selama bahan bakar dan oksidan tersedia. Sel bahan bakar berkaitan dengan reaksi elektrokimia, parameter lingkungan, pH serta suhu (Pubiyanti, 2022).

Fuel cell memiliki persamaan dengan baterai dimana menggunakan anoda, katoda serta elektrolit, kemudian *fuel cell* melalui reaksi elektrokimia sehingga menghasilkan listrik yang searah. Sedangkan perbedaan pada *fuel cell* memanfaatkan bahan bakar yaitu hidrogen dan oksigen secara terus menerus dan tidak mengalami perubahan struktur kimia, tidak menghasilkan kebisingan, konstruksi sederhana yang berbentuk modular sehingga cukup efisien membuat energi kimia menjadi energi listrik (Hasanah dkk., 2019). *Fuel cell* termasuk ke bagian elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia yaitu gas hidrogen menjadi energi listrik. Struktur *fuel cell* terdiri dari lapisan elektrolit yang terdapat anoda dan katoda.

Indonesia dalam mengembangkan *fuel cell* mempunyai 4 pertimbangan sebagai berikut.

1. Kemampuan sumber daya manusia (SDM)

Indonesia memiliki sumber daya manusia yang dapat memperdalam ilmu dan pengetahuan di bidang teknologi sel bahan bakar. Ilmu yang berkaitan dengan instrumentasi dan kontrol serta dapat desain, simulasi kesetimbangan panas dan massa yang terbatas sehingga sel bahan bakar di Indonesia dapat dikembangkan.

2. Perkembangan teknologi material

Bagian terbesar dalam sel bahan bakar terdiri dari komponen elektroda, katalis, dan membran elektrolit. Sehingga dalam pembuatan sel bahan bakar didapatkan keuntungan yang dapat mengembangkan sel bahan bakar di Indonesia.

3. Ketersediaan sumberdaya alam

SDA menentukan pengembangan dan komersialisasi komponen *fuel cell* secara jangka panjang. Pada **Tabel 2.2** terdapat potensi SDA yang dapat meningkatkan pengembangan Indonesia melalui logam yang ada di Indonesia.

Tabel 2.2 Potensi Sumber Daya Alam logam di Indonesia

Jenis Mineral	Jumlah Logam (juta ton)
Nickel	29.602.021
Bouxite	283.648.373
Tembaga	68.113.170
Besi	39.117.666
Manggan	1.105.169
Timah Putih	622.402
Emas	5.313
Perak	507.806
Seng	5.859.849
Kobal	1.304.604
Chromium	756.392
Platinum	2.985.335
Molibdinum	346.505

4. Arah aplikasi tepat dan potensi besar

Arah dan aplikasi sel bahan bakar dibagi menjadi 2 yaitu, aplikasi untuk *stationary power generation* dan aplikasi untuk transportasi. Aplikasi *stationary power generation* lebih mudah dibandingkan dengan aplikasi transportasi dimana dari segi harga sel bahan bakar sudah masuk ke harga koemrsia (USD 750) dan durabilitasnya lebih besar dari 40.000 jam. Sedangkan aplikasi untuk transportasi diperlukan biaya lebih tinggi untuk membangun (Oktaufik, 2009).

Fuel Cell memiliki keuntungan utama yaitu bekerja dengan efisiensi tinggi sekitar 50-70% sehingga berpotensi tidak menimbulkan emisi rumah kaca. Selain itu juga, *fuel cell* dapat bekerja dengan baik yang mengakibatkan tidak menimbulkan adanya getaran saat beroperasi karena memiliki bentuk dan desain yang fleksibel serta memiliki banyak pilihan umpan dari etanol yang dapat diperbarui hingga biomassa hidrogen (Dhuhita dan Arti, 2010).

2.5 Microbial Fuel Cell (MFC)

Microbial Fuel Cell (MFC) atau sel bahan bakar mikroba adalah teknologi dari sel bahan bakar hayati yang didalamnya menggunakan mikroorganisme yang dapat mengubah langsung senyawa biokimia menjadi energi listrik (Kadhafi 2020). MFC dapat menghasilkan tenaga biologi yang akan berkepanjangan. MFC dihasilkan dari sel bahan bakar hidrogen yang berpotensi tinggi. MFC termasuk salah satu jenis sel biofuel yang membuat energi kimia menjadi energi listrik. Kemajuan MFC membuat teknologi yang ramah akan lingkungan sehingga limbah kandungan organik. MFC sangat berkaitan dengan bakteri elektrokimia aktif atau biokatalis yang berfungsi mengoksidasi kontaminan organik dalam air limbah menjadi energi listrik (Chyan dkk., 1999).

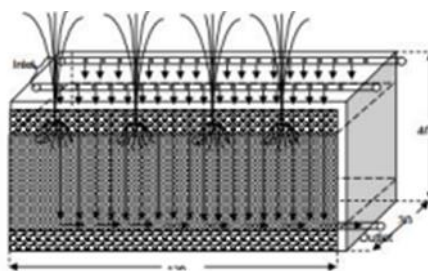
Penggunaan sumber bahan bakar fosil akan mengakibatkan pemanasan global karena gas yang dibuang berupa karbon dioksida. MFC sebagai contoh memanfaatkan eceng gondok agar energi tidak sepenuhnya bergantung pada fosil. MFC dapat dibuat menjadi sistem pengolah limbah organik serta dapat menjadi energi alternatif. Mikroorganisme yang dipakai MFC menggunakan substrat berupa serat selulosa dari eceng gondok yang diurai dari *saccharomyces cerevisiae* (Heriyono dkk., 2018). MFC membutuhkan reaksi katalis dari mikroorganisme. MFC mempunyai prinsip kerja dari adanya pembelahan *semireactions* yang berasal dari oksidasi yang membentuk reaksi redoks. MFC terdapat bagian yaitu, anoda, oksidasi substrat katalis *exoelectrogens* bakteri dan transfer elektron, yang dibebaskan dari pernafasan rantai seluler, untuk logam elektroda yaitu katoda.

Berdasarkan kompartemennya terdapat tiga jenis MFC yaitu dual *chamber* MFC, *single chamber* MFC dan *stack* MFC (Kadhafi, 2020). MFC mempunyai prinsip kerja sehingga elektroda yang dihasilkan oleh bakteri substrat berpindah ke anoda dan mengalir ke katoda yang dihubungkan melalui bahan konduktif yang mengandung resistor atau sebagai beban yang menghasilkan listrik sehingga dapat dijalankan. MFC sisi anoda terjadi karena proses bioelektrokimia yang diolah oleh mikroba. MFC sisi katoda terdapat sisa proses penguraian yang menghasilkan elektron dan proton sehingga mengalir ke dalam sisinya (Heriyono dkk., 2018).

2.6 Plant Microbial Fuel Cell (PMFC)

Plant Microbial Fuel Cell (PMFC) adalah suatu teknologi baru yang menghasilkan listrik dari tanaman biokimia. PMFC juga termasuk kedalam energi terbarukan yang ramah lingkungan sehingga tidak menimbulkan polusi (Cahyani dkk., 2020). PMFC mempunyai proses fotosintesis berkelanjutan sehingga memproduksi bioenergi yang bersih. PMFC yang berasal dari teknologi ini mempunyai dua prinsip yaitu, proses degradasi senyawa organik oleh akar (*Rhizodeposition*) dan produksi listrik oleh bakteri elektrokimia aktif atau MFC (Microbial Fuel Cell) (Nisa, 2018). Pada akar tanaman yang berfotosintesis

menguraikan molekul karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$) oleh bakteri menjadi karbondioksida, proton serta menggunakan elektroda sehingga menghasilkan listrik (Kadhafi, 2020). Dalam mengaplikasikan PMFC dapat ditinjau dari lokasi dengan banyak variasi yang luasnya berskala (Nisa, 2018). PMFC dapat diaplikasikan di setiap tempat yang membuat tumbuh tanaman sehingga tidak akan menyebabkan persaingan produksi pangan atau pakan (Kadhafi, 2020). Tujuan dari PMFC yaitu dapat mengubah sinar matahari menjadi bioenergi yang mudah dengan memanfaatkan akar tanaman. Skema dari PMFC Dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Skema PMFC (Nisa, 2018)

Energi matahari dapat mengubah daun pada tanaman yaitu CO_2 menjadi karbohidrat dalam proses fotosintesis. Tanah terdapat mikroorganisme yang mengkonsumsi $C_6H_{12}O_6$ dari tanaman, kemudian mengeluarkan CO_2 ke udara dan H_2O . Proses metabolisme bakteri akan menghasilkan elektron selanjutnya yang akan diterima oleh anoda sehingga akan menuju beban dan diteruskan ke katoda. PMFC dapat dipengaruhi dari tanaman, faktor lingkungan, dan pengaruh mikroba. Ketahanan tanaman dan cara memasangkan yang baik akan mendapatkan elektron yang menghasilkan energi menjadi lebih besar (Nisa, 2018).

2.7 Elektrokimia

Elektrokimia ialah proses dimana logam dimasukan pada larutan yang disebut elektroda serta terdiri dari katoda dan anoda. Elektrokimia merupakan proses serah terima elektron pada reaksi yang didalamnya terdapat larutan. Larutan dibagi menjadi 3 yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah dan larutan

yang bukan termasuk elektrolit. Pada larutan elektrolit kuat mengandung ion yang terlarut untuk mengantarkan arus listrik sangat baik sehingga pada elektron serah terimanya berjalan dengan cepat dan energi yang dihasilkan besar. Pada larutan elektrolit lemah mengandung ion yang terlarut dengan ionisasi yang serah terimanya berjalan dengan lambat dan energi yang dihasilkan kecil. Pada larutan elektrolit bukan termasuk elektrolit dimana pada elektron serah terimanya tidak terjadi reaksi dan energi. Pada sel elektrokimia terdiri dari sel volta dan sel elektrolisis. Sel volta sebagai sel elektrokimia yang menghasilkan energi listrik yang berjalan secara impulsif. Pada sel volta, listrik yang dihasilkan harus melalui reaksi kimia sehingga elektrolit harus seperti deret volta (Harahap, 2016). Reaksi kimia tersebut didapatkan karena adanya hasil dari elektron dan dinamai reaksi elektrokimia (Muhlisin dkk., 2015). Pada sel ini, anoda sebagai muatan negatif dan katoda sebagai muatan positif. Pada anoda dan katoda yang dimasukkan kedalam larutan elektrolit akan menghubungkan jembatan garam. Jembatan garam yang berfungsi sebagai penetralisasi dari kedua larutan yang menghasilkan listrik (Harahap, 2016). Bioelektrokimia atau elektrolisis merupakan cara untuk menghasilkan hidrogen dari biomassa yang dapat mengubah asetat menjadi gas hidrogen dimana didalamnya terdapat elektroda (Hamid dkk., 2017). Deret volta tersusun dari daya oksida dan reduksi dari masing-masing logam sehingga didapat nilai potensial reduksinya, dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

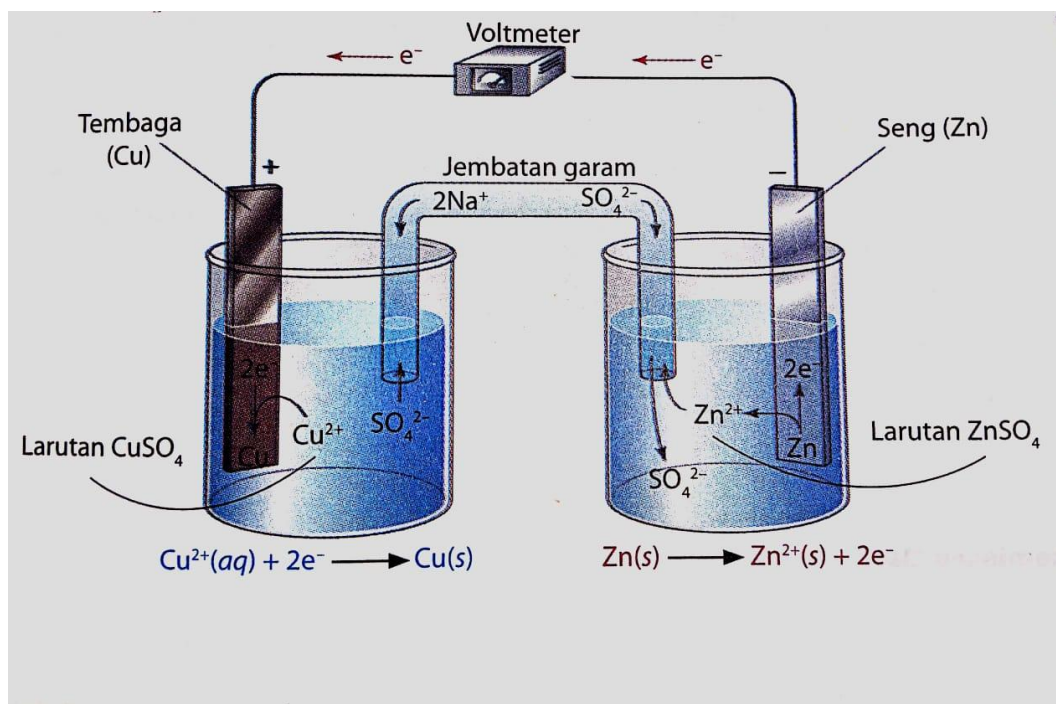
Tabel 2.3 Potensial Reduksi Standar pada 25° (Syukri, 2022)

Reaksi reduksi	E° (V)
$Li^+ + e^- \leftrightarrow Li$	-3,05
$K^+ + e^- \leftrightarrow K$	-2,92
$Ba^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Ba$	-2,90
$Ca^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Ca$	-2,76
$Na^+ + e^- \leftrightarrow Na$	-2,71
$Mg^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Mg$	-2,38
$Al^{3+} + 3e^- \leftrightarrow Al$	-1,67
$Mn^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Mn$	-1,03
$2H_2O + 2e^- \leftrightarrow H_2 + 2OH^-$	-0,83
$Zn^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Zn$	-0,76
$Cr^{3+} + 3e^- \leftrightarrow Cr$	-0,74
$Fe^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Fe$	-0,44
$PbSO_4 + 2e^- \leftrightarrow Pb + SO_4^{2-}$	-0,36
$Ni^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Ni$	-0,25
$Sn^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Sn$	-0,14
$Pb^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Pb$	-0,13
$Fe^{3+} + 3e^- \leftrightarrow Fe$	-0,04
$2H^+ + 2e^- \leftrightarrow H_2$	0,00
$AgCl + e^- \leftrightarrow Ag + Cl^-$	+0,22
$Hg_2Cl_2 + 2e^- \leftrightarrow 2Hg + 2Cl^-$	+0,27
$Cu^{2+} + 2e^- \leftrightarrow Cu$	+0,34
$Cu^+ + 2e^- \leftrightarrow Cu$	+0,52
$I_2(aq) + 2e^- \leftrightarrow 2I^-$	+0,54
$Fe^{3+} + e^- \leftrightarrow Fe^{2+}$	+0,77

2.8 Elektroda

Elektrokimia ialah ilmu yang mempelajari tentang penghantar listrik yang berupa kawat las yang terjadi akibat dari perpindahan elektroda. Elektroda mengalami pertukaran elektron yang dialiri oleh sumber arus listrik (Harahap, 2016). Elektroda terdiri dari suatu inti yang terlapis logam yang mengandung campuran zat kimia (Anggaretno dkk., 2012). Elektroda digunakan sebagai konduktor yang bersentuhan dengan bagian non-logam dari sebuah sirkuit misalnya semi konduktor, elektrolit, atau kondisi vakum. Pada elektroda, kutub anoda dan katoda diciptakan oleh Faraday. Anoda disebut sebagai elektroda yang bertempat dari elektron yang datang dari sel elektrokimia dan terjadi oksidasi, sedangkan katoda disebut sebagai elektroda yang bertempat dari elektron yang masuk ke sel

elektrokimia dan terjadi reduksi (Kadhafi, 2020). Elektroda berfungsi untuk melakukan pengelasan listrik sebagai pembakaran yang menimbulkan busur menyala. Pengelasan besar kecilnya arus dapat diatur oleh mesin las serta tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan, diameter inti elektroda dan posisi saat pengelasan (Wahyudi dkk., 2019). Baterai memiliki komponen sel elektroda dapat dilihat seperti **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Komponen Sel Elektroda

Elektroda memiliki 3 komponen sel untuk menguji korosi yang terdapat pada alat laboratorium, yaitu:

1. Bekerja sebagai anoda yang dapat di masukan ke dalam prinsip kerja fluida.
2. Mempunyai peran membantu untuk menghasilkan potensial kerja pada elektroda dan mengakibatkan reaksi korosi yang terdapat dari arus listrik.
3. Memiliki acuan yang dapat membandingkan potensial dari elektroda yang bekerja (Anggaretno dkk., 2012).

Jika tegangan diperbesar akan mendapatkan reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi akibat reaktor elektrolisis sehingga terjadi cepat. Semakin cepat reaksinya maka senyawa organik yang sudah teroksidasi jumlahnya akan semakin banyak juga (Hamid dkk., 2017). Pada PMFC menggunakan prinsip MFC yang mempunyai tujuan untuk meningkatkan produksi listrik dengan menggunakan konsentrasi substrat, elektrolit, elektroda dan jembatan garam yang tinggi. Perluasan permukaan elektroda dapat meningkatkan energinya menjadi banyak elektron yang akan dikirimkan ke katoda (Nisa, 2018).

2.9 pH Larutan

Salah satu parameter kualitas air adalah tingkat keasaman pada air dapat dilihat seperti **Gambar 2.6**. pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh larutan. Dapat didefinisikan pH sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Koefisien aktivitas ion hidrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada perhitungan teoritis. Skala pH bukanlah skala absolut. Hal ini relatif terhadap serangkaian larutan standar yang nilai pH-nya ditentukan oleh perjanjian internasional (Hariyadi dkk., 2020).

Untuk menyatakan konsentrasi H^+ terhadap asam kuat, maka didapatkan rumus sebagai Persamaan 2.4.

$$[H^+] = a \cdot M \quad (2.4)$$

$$pH = -\log H^+ \quad (2.5)$$

Nilai (H^+) sebagai dari konsentrasi ion H^+ dalam larutan. Selanjutnya, nilai a didapatkan dari jumlah ion H^+ , log sebagai logaritma basa-10 serta M sebagai konsentrasi larutan asam kuat. Kemudian, untuk mengukur asam lemah didapatkan rumus sebagai Persamaan 2.6.

$$[H^+] = \sqrt{K_a \cdot M a} \quad (2.6)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{M a}} = \frac{[H^+]}{M a} \quad (2.7)$$

Simbol α sebagai derajat ionisasi, kemudian H^+ didapatkan dari konsentrasi ion H^+ dalam larutan, selanjutnya a didapatkan dari jumlah ion H^+ , M_a sebagai konsentrasi larutan asam serta K_a sebagai tetapan asam lemah. Kemudian, terdapat nilai basa kuat seperti pada Persamaan 2.8.

$$[OH^-] = b \cdot M \quad (2.8)$$

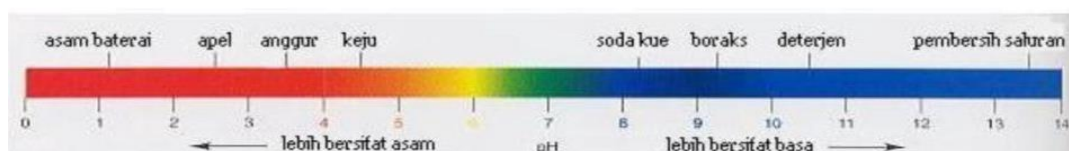
$$pOH = -\log[OH^-] \quad (2.9)$$

Nilai $[OH^-]$ sebagai konsentrasi ion OH^- dalam larutan, nilai b sebagai jumlah ion OH^- yang dilepaskan, M sebagai konsentrasi larutan basa kuat, pOH sebagai derajat keasamaan serta \log sebagai logaritma basa-10. Selanjutnya, untuk mengukur basa lemah didapatkan rumus sebagai Persamaan 2.10.

$$[OH^-] = \sqrt{K_b \cdot Mb} \quad (2.10)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{Mb}} = \frac{[OH^-]}{Mb} \quad (2.11)$$

Derajat keasamaan disimbolkan dengan, $[OH^-]$ digunakan untuk mencari ion OH^- dalam larutan, untuk jumlah ion OH^- disimbolkan dengan b , untuk konsentrasi larutan basa disimbolkan Mb serta K_b didapatkan dari tetapan basa lemah (Kilo, 2017). Sesuai dengan derajat keasamaan maka dapat dilihat pada **Gambar 2.6** nilai yang didapatkan pada masing-masing golongan pH.



Gambar 2.6 Nilai pH

Konsentrasi hidrogen yang ada dalam larutan dirumuskan sebagai Persamaan 2.4. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Skala pH berkisar antara 1-14. Kisaran nilai pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral (Ramadani dkk., 2021). Nilai pH dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain aktivitas biologi, suhu, kandungan oksigen dan ion-ion (Permana dkk., 2020). Kertas indikator universal adalah salah satu indikator untuk menentukan nilai pH sebuah larutan. Kertas Indikator berupa

kertas serap dan tiap kotak kemasan indikator universal jenis ini dilengkapi dengan peta warna. Penggunaannya sangat sederhana, sehelai kertas indikator universal dicelupkan ke dalam larutan yang akan diukur pH-nya. Kemudian dibandingkan dengan peta warna yang tersedia. Tiap warna mewakili nilai pH yang berbeda. Namun, alat ukur pH lebih akurat menggunakan pH meter (Wibowo, 2020).

Sistematis pH terhadap daya listrik mengacu pada hubungan antara tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan (dinyatakan dalam pH) dengan kemampuannya untuk menghantarkan listrik. Larutan yang mengandung ion-ion akan memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik. Sebagai contoh, larutan asam atau basa yang kuat cenderung memiliki lebih banyak ion-ion yang dapat bergerak, sehingga dapat menghantarkan listrik dengan baik. Kaitannya dengan pH, larutan asam memiliki pH di bawah 7, sementara larutan basa memiliki pH di atas 7. pH larutan berpengaruh pada ketersediaan ion-ion dalam larutan tersebut. Larutan asam dengan konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang tinggi akan memiliki kemampuan yang baik untuk menghantarkan listrik karena jumlah ion yang tinggi memungkinkan aliran arus listrik. Sebaliknya, larutan basa dengan konsentrasi ion hidroksida (OH^-) yang tinggi juga dapat menghantarkan listrik karena ion-ion ini memungkinkan aliran arus listrik. Namun, larutan yang sangat encer atau lemah baik asam maupun basa mungkin tidak menghantarkan listrik dengan baik karena konsentrasi ion-nya yang rendah. Ada juga beberapa larutan non-elektrolit yang tidak mengandung ion-ion yang dapat menghantarkan listrik sama sekali. Jadi, pH larutan dapat memberikan indikasi tentang potensi kemampuan larutan untuk menghantarkan listrik, dengan konsentrasi ion-ion yang hadir sebagai faktor utama yang memengaruhi daya hantar listriknya (Ramadani dkk., 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai Desember 2023. Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pengambilan tanaman eceng gondok dilakukan di Gang Murai IV, Sukarame, Bandar Lampung, Lampung. Lokasi pengambilan tanaman berada di $-5.368943, 105.291974$ Lintang Selatan (LS) dan 105.291974 Bujur Timur (BT).

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian “Analisis Variasi Jumlah Eceng Gondok dan Cahaya Matahari Terhadap Potensi Daya Listrik Pada Model *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) Menggunakan Elektroda Al dan Fe” dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian

Alat	Fungsi
Multimeter	Untuk mengukur tegangan listrik, resistansi, dan arus listrik
Timbangan	Untuk mengukur massa elektroda dan eceng gondok
Lap	Untuk membersihkan elektroda
Penggaris	Untuk mengukur elektroda serta jarak pada elektroda
Laptop	Untuk membuat laporan penelitian
pH meter	Untuk mengukur pH air

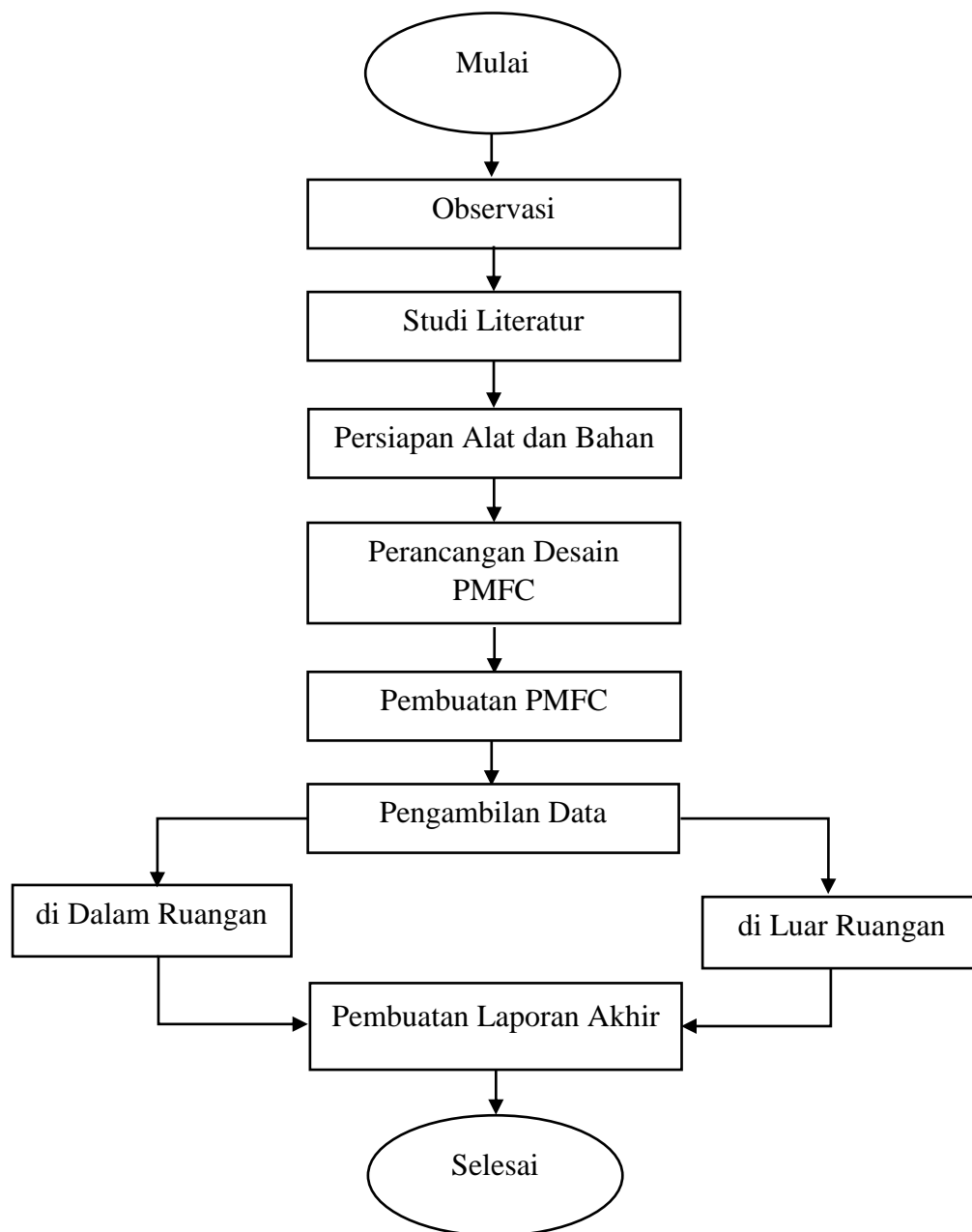
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian

Bahan	Fungsi
Box plastik ukuran 54 cm x 36,5 cm x 28,5 cm	Sebagai wadah komponen PMFC
Plat Al ukuran 28 cm x 20 cm x 1 mm	Sebagai anoda
Plat Fe ukuran 31 cm x 21 cm x 1 mm	Sebagai katoda
Kabel Penghubung	Sebagai penghubung elektroda, multimeter dan eceng gondok
Sendimentasi	Sebagai nutrisi akar tanaman eceng gondok
Air	Sebagai pelarut unsur hara tanaman

3.3 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan prosedur penelitian yang terdiri dari persiapan penelitian, perancangan bentuk PMFC serta pengambilan data PMFC. Secara umum prosedur penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.3.1 Persiapan Penelitian

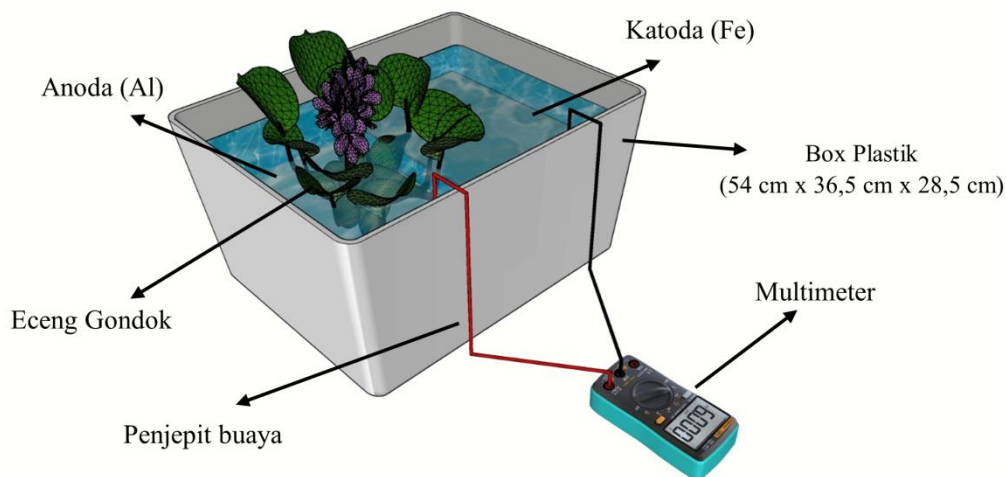
Persiapan penelitian yang dilakukan mencakup observasi, studi literatur, persiapan alat dan bahan serta tempat yang akan dilaksanakan. Pada saat observasi peneliti melakukan literasi pada jurnal, tesis dan buku untuk mendapatkan persoalan yang akan peneliti lakukan. Peneliti membahas EBT yang mempunyai potensi ramah

lingkungan. Studi literatur yang dilakukan dengan meninjau kembali hasil dari observasi yang sebelumnya. Pada persiapan alat dan bahan mencakup pengumpulan alat dan bahan, seperti box plastik yang berukuran 54 cm x 36,5 cm x 28,5 cm, pengukuran elektroda Al berukuran 28 cm x 20 cm x 1 mm dan elektroda Fe berukuran 31 cm x 21 cm x 1 mm. Pada box plastik, elektroda Al dan Fe masing-masing terdiri dari 6 buah. Sebelum penelitian ini dilakukan, melakukan pengukuran pada elektroda Al dan Fe. Bahan pada penelitian ini yaitu eceng gondok serta lumpur sebagai sedimentasi yang berasal dari Gang Murai IV, Sukarame. Terdapat variabel penelitian yaitu variasi jumlah batang tanaman eceng gondok di dalam ruangan dan di luar ruangan.

3.3.2 Perancangan Desain PMFC

Perancangan desain PMFC yang dilakukan mencakup elektroda yang digunakan serta tempat sebagai media pembuatan PMFC untuk menaruh eceng gondok. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda plat Al berukuran 28 cm x 20 cm x 1 mm sebagai anoda dan elektroda plat Fe berukuran 31 cm x 21 cm x 1 mm sebagai katoda. Anoda diletakan pada dasar tempat media pembuatan yang terbuat dari plastik sehingga sedimentasi tertutup dan katoda diletakan pada jarak 9 cm dari dasar permukaan air. Katoda diletakkan disisi yang berbeda dengan anoda. Hal ini dilakukan agar anoda tidak terkena oksigen masuk sehingga membuat sedimentasinya menjadi tertutup, sedangkan katoda dibuat terbuka agar oksigen tetap masuk. Anoda dan katoda masing-masing akan dijepit menggunakan pejepit buaya yang terhubung ke multimeter. Setelah membuat rancangan desain, maka melakukan PMFC sesuai desain dengan 3 variasi jumlah eceng gondok yaitu penuh (4 batang), setengah (2 batang) dan kontrol. PMFC dilakukan di dalam ruangan dan di luar ruangan agar dapat membandingkan PMFC yang efektif akibat terkena sinar matahari dan yang tidak terkena sinar matahari. Elektroda terhubung semua, selanjutnya memasukan air, sedimentasi dan eceng gondok dengan massa sebesar 325 gram setiap 1 batang eceng gondok. Eceng gondok di letakan diatas sedimentasi yang sejajar dengan anoda. Setelah mendapatkan variasi jumlah batang yang menghasilkan listrik, maka akan mendapatkan daya listrik yang

tertinggi pada variasi jumlah batang PMFC. Setelah sudah dibuat perancangan PMFC sesuai dengan desain, maka dilakukan pengambilan data. Desain PMFC dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Desain PMFC

3.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data variasi jumlah batang dilakukan selama 14 hari. Penelitian ini menimbang massa eceng gondok sebelum dimasukkan ke dalam box plastik terlebih dahulu. PMFC yang diletakkan diluar ruangan terdapat atap agar saat hujan datang tidak akan masuk air hujannya ke dalam box plastik PMFC. Box plastik pada penelitian ini sebagai wadah komponen yang disebut reaktor. Penelitian ini mengambil data berupa tegangan dan arus dengan menggunakan multimeter serta pH dengan menggunakan pH meter. Pengambilan data saat mencari variasi tertinggi dilakukan setiap pukul 12.00 WIB. Setelah sudah mendapatkan variasi jumlah tertinggi akan mendapatkan daya listrik tertinggi. PMFC pada penelitian ini mengambil nilai pH air yang digunakan untuk mendapatkan hubungan antara daya listrik dengan pH.

3.3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian

Data yang diperoleh penelitian ini adalah nilai tegangan beban dan arus listrik yang diukur dengan menggunakan multimeter. Pengambilan data dilakukan dengan waktu yang sudah ditentukan. Data diamati setiap pukul 12.00 WIB pada variasi jumlah batang eceng gondok Rancangan data penelitian yang dapat diambil pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.3 sampai 3.6.**

Tabel 3.3 Pengukuran PMFC di dalam Ruangan

Hari Ke-	Tegangan (V)			Arus (mA)		
	Penuh	Setengah	Kontrol	Penuh	Setengah	Kontrol
1						
2						
3						
4						
5						
...						
14						

Tabel 3.4 Pengukuran PMFC di luar Ruangan

Hari Ke-	Tegangan (V)			Arus (mA)		
	Penuh	Setengah	Kontrol	Penuh	Setengah	Kontrol
1						
2						
3						
4						
5						
...						
14						

Tabel 3.5 pH dan Daya Listrik di dalam Ruangan

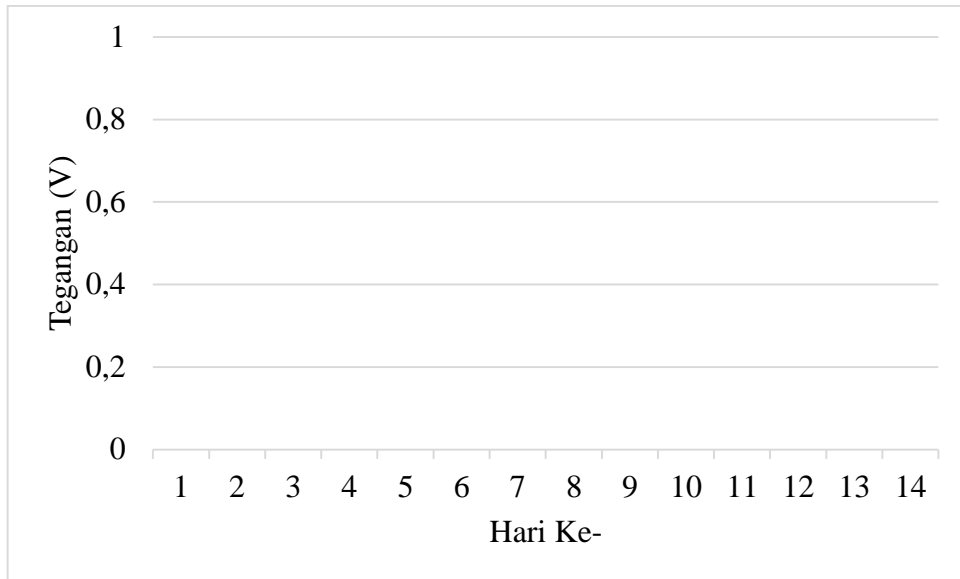
Hari Ke-	pH			Daya Listrik (mW)		
	Penuh	Setengah	Kontrol	Penuh	Setengah	Kontrol
1						
2						
3						
4						
5						
...						
14						

Tabel 3.6 pH dan Daya Listrik di luar Ruangan

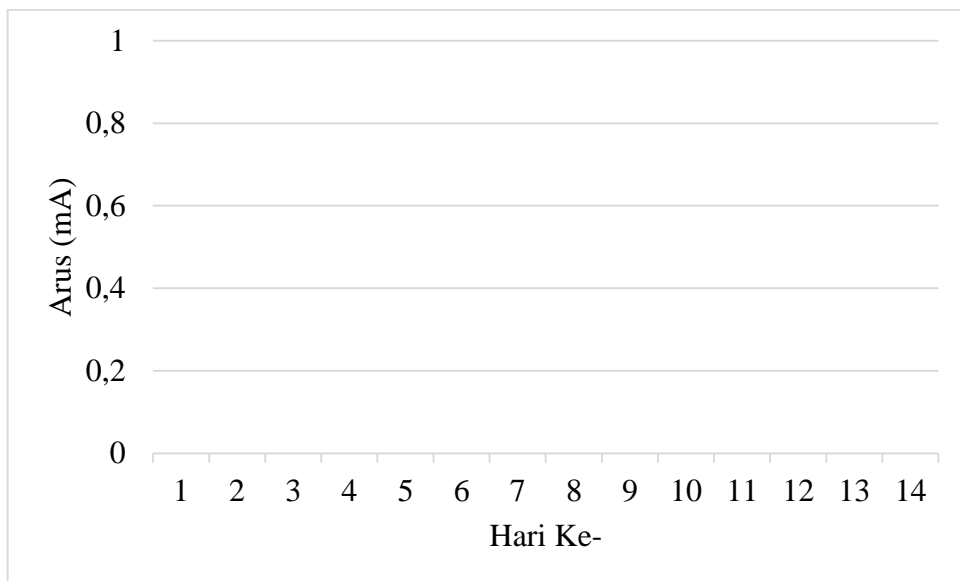
Hari Ke-	pH			Daya Listrik (mW)		
	Penuh	Setengah	Kontrol	Penuh	Setengah	Kontrol
1						
2						
3						
4						
5						
...						
14						

3.3.5 Rancangan Analisis Data Penelitian

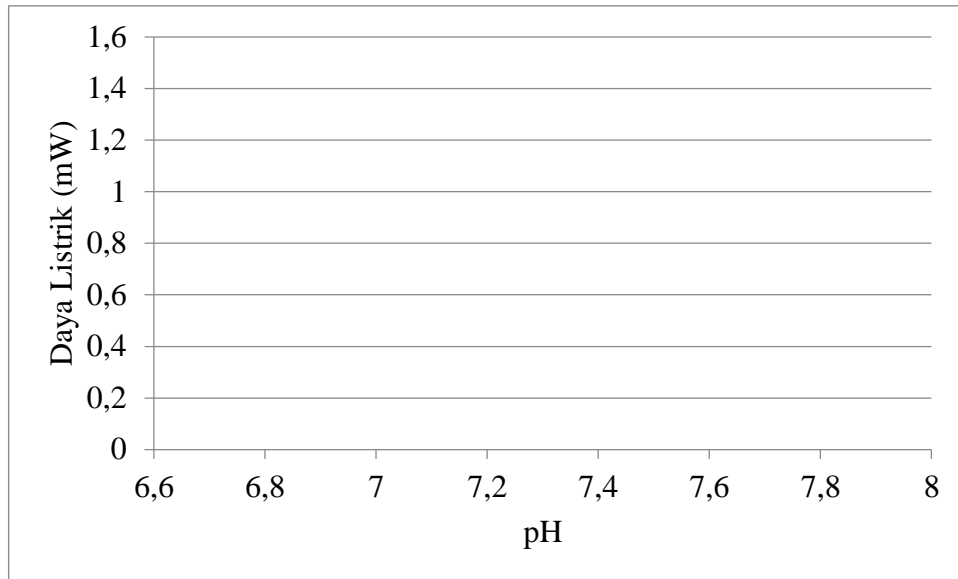
Berdasarkan data hasil penelitian yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis data pengaruh eceng gondok di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Data hasil penelitian akan mendapatkan nilai tegangan, arus serta pH pada masing-masing PMFC yang diletakan didalam ruangan maupun diluar ruangan. Analisis yang telah didapat selanjutnya dimasukan ke sebuah grafik seperti pada **Gambar 3.3** sampai **Gambar 3.6**.



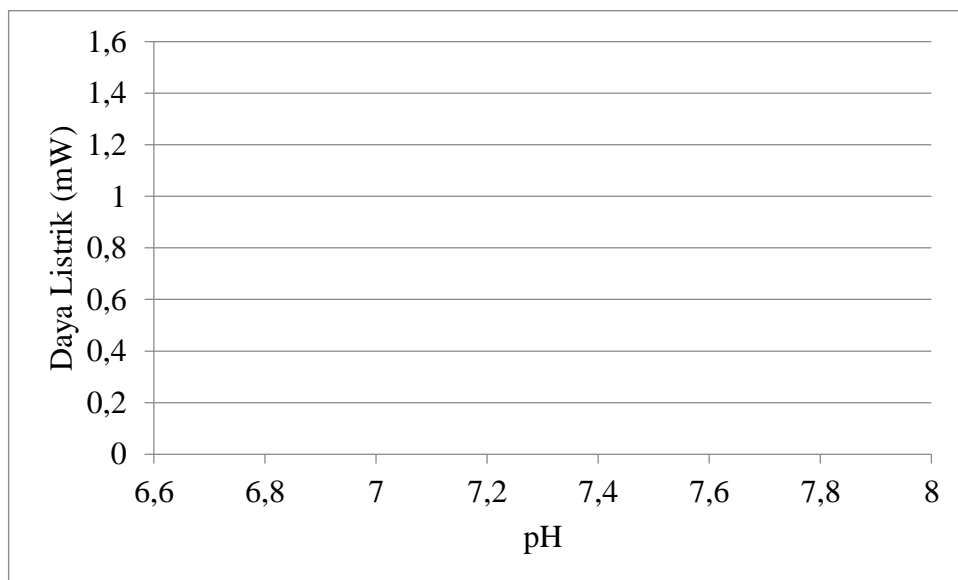
Gambar 3.3 Grafik Variasi Jumlah Tegangan PMFC



Gambar 3.4 Grafik Variasi Jumlah Arus PMFC



Gambar 3.5 Grafik Hasil PMFC di dalam Ruangan



Gambar 3.6 Grafik Hasil PMFC di dalam Ruangan

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. PMFC yang dilakukan menghasilkan energi listrik. Semakin banyak variasi jumlah batang eceng gondok yang digunakan pada variasi akan menghasilkan energi listrik yang besar. Penelitian ini mendapatkan energi listrik tertinggi pada variasi penuh yang diletakkan di luar ruangan.
2. pH berpengaruh dengan daya listrik PMFC. Penelitian ini mendapatkan pH rata-rata sebesar 7,19 atau netral sehingga daya listrik yang dihasilkan dari PMFC kecil.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan reaktor yang berukuran besar sehingga tanaman juga akan menampung jumlah batang variasi yang lebih banyak sehingga PMFC dapat menghasilkan daya yang lebih tinggi,
2. Menggunakan elektroda dengan nilai potensial yang tinggi untuk menghasilkan energi listrik yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggaretno, G., Rochani, I., dan Supomo, H. 2012. Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Laju Korosi Pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65. *Jurnal Teknik ITS*. Vol.1. No.1. Hal 3–7.
- Cahyani, D., Haryanto, A., Marpaung, D.S., dan Fil'aini, R. 2020. Sel Bahan Bakar Berbasis Mikroba-Tanaman (P-MFC) Sebagai Sumber Energi Listrik; Prinsip Kerja, Variasi Desain, Potensi Dan Tantangan. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*. Vol. 9. No.2. Hal 12–21.
- Chyan, J.B., Ying, L.P.W., Juri, M.L., Dzomir, A.Z.M., Wah, L.K., dan Awang, M.R. 1999. Microbial Fuel Cell: A Green Technology Sel Bahan Bakar Mikrob: Satu Teknologi Hijau. *Journal of Molecular Biology*. Vol. 285. No.1. Hal 55–61.
- Dhuhita, A., dan Arti, D.K. 2010. Karakterisasi Dan Uji Kinerja Speek, CSMM Dan Nafion Untuk Aplikasi Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Faqih, Nasyiin. 2014. Analisis Kehilangan Air Waduk Akibat Gulma Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Jurnal PPKM III Universitas Sains Al-Qur'an*. Hal 149–155.
- Giancoli, Douglas C. 2001. Fisika Edisi Kelima. Erlangga: Jakarta.
- Hakimah, Y. 2019. Analisis Kebutuhan Energi Listrik Danprediksi Penambahan Pembangkit Listrik Di Sumatera Selatan. *Jurnal Desiminasi Teknologi*. Vo.7. No.2. Hal 12.
- Hamid, R.A., Purwono., dan Oktiawan. 2017. Penggunaan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Karbon Dengan Variasi Tegangan Listrik Dan Waktu Elektrolisis Dalam Penurunan Konsentrasi TSS Dan COD Pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol.6. No.1. Hal 1–18.
- Harahap, M.R. 2016. Sel Elektrokimia: Karakteristik Dan Aplikasi. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*. Vol.2. No.1. Hal 77–80.

- Hasan, Y. 2015. *Energi Dan Penggunaannya*. Batan Press. Jakarta.
- Hasanah, L.M., Yudha, C.S., Muzayanha, S.U., Inayati. 2019. Desain Sistem Fuel Cell Untuk Pembangkit Listrik Daerah Terpencil. *Jurnal SNTK Ecosmart*. Vol.1. No.1. Hal 42–47.
- Heriyono, H., Hasrullah., dan Basmanto. 2018. Produksi Energi Listrik Melalui Teknologi Mikrobial Fuel Cell Menggunakan Limbah Eceng Gondok. *Skripsi*. UIN Alauddin Makassar. Makassar.
- Hidayat dkk. 2022. Pemodelan Baterai Air Garam Dan Pengujian Salinitas Elektrolit Berbasis PLC. Vol. 6. No.2. Hal 26–38.
- Kilo, Akram La. 2017. Solusi Rumus Derajat Keasaman Reaksi Asam Basa pada Larutan Penyangga dengan Metode Mol Awal (Rums Akram). *Jurnal Kimia*. Vol.1. No.1. Hal 1-16.
- Kholiq, Imam. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Journal Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol.19. No.2. Hal 75–91.
- Kholiq, Imam. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Journal Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol.19. No.2. Hal 75–91.
- Lubis, A. 2007. Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol.8. No.2. Hal 55–62.
- Lumbangaol, P.H. 2007. Energi Terbarukan Untuk Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia. *Jurnal Teknik*. Vol.1. No.4. Hal 1–14.
- Marwoto, P., Hakim, L., Wahyuni, S., Astuti, B., Mutiarano, A., dan Nafisah, D. 2022. Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Alternatif Kisi Difraksi Sederhana Berbahan Alam. *Unnes Physics Education Journal*. Vol.11. No.2. Hal 35-45.
- Muhlisin, M., Soedjarwanto, N., Komarudin, M. 2015. Pemanfaatan Sampah Kulit Pisang Dan Kulit Durian Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Pasta Batu Baterai. *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*. Vol.9. No.3. Hal 37–47.
- Nisa, K. 2018. Pengolahan Air Limbah Dan Produksi Biolistrik Pada Lahan Basah Dengan Metode. *Skripsi*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Novelendah, L., Senoaji, M.H., Sinurat, F., Musthofa, A.M.H., Istirokhatun. 2018. Potensi Listrik dan Degradasi Fosfat Berteknologi Plant Microbial Fuel Cell Dengan Media Tanaman Eceng Gondok. *Jurnal Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*. Vol.1. No.1. Hal 1–6.

- Oktaufik, M A M. 2009. Membangun Strategi Pengembangan Fuel Cell Di Indonesia: Tinjauan Ringkas. *Jurnal Ilmu Teknik Energi*. Vol.1. No.9. Hal 15–21.
- Permana, Bina, Devi, I. S., Hilman S., Okta O., Novita C.F., Neha R.S., Wildan S. 2020. Analisis Sifat Fisika Dan Derajat Keasaman Terhadap Kualitas Air Minum Isi Ulang 20 Rumah RW 01 Di Kampung Cilember Desa Jogjogan Kecamatan Cisarua Kabupaten Bogor. *Jurnal Risenologi*. Vol.5. No.1. Hal 64–69.
- Pubiyanti, Intan. 2022. Desain dan Karakterisasi Elektrik *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) Menggunakan Tanaman Eceng Gondok Dengan Variasi Jumlah Eceng dan Pengaruh Cahaya Matahari. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Raharjo, J., Dedikarni., dan Daud, W.R.W. 2008. Perkembangan Teknologi Material Pada Sel Bahan Bakar Padat Temperatur Operasi Menengah. *Indonesian Journal of Materials Science*. Vol.10. No.1. Hal 411–1098.
- Rahmawati dan Fitrialia. 2018. Penggunaan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes* (Mart) Solms) dan Bioball Dalam Perbaikan Kuliatas Limbah Cair TPA Sampah Bakung Teluk Betung Barat Bandar Lampung. *Jurnal Malahayati*. Vol. 2. No.2. Hal 57–61.
- Ramadani, Randy, Sigit Samsunar, and Maisari Utami. 2021. Analisis Suhu, Derajat Keasaman (PH), Chemical Oxygen Demand (COD), Dan Biological Oxygen Demand (BOD) Dalam Air Limbah Domestik Di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*. Vol. 6. No.2. Hal 12–22.
- Ratnani, R.D., Hartati, I., dan Kurniasari, L. 2011. Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Untuk Menurunkan Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demond*), pH, Bau, dan Warna Pada Limbah Cair Tahu. *Momentum*. Vol.7. No.1. Hal 41-47.
- Rosyadi, F.A., Laily, E.N., Sitoresmi, S., Yushardi. 2017. Pemanfaatan Alga Hijau Sebagai Biokatoda Pada Pmfc (Photosynthetic Microbial Fuel Cell). *Jurnal Teknik Kimia*. Vol.12. No.1. Hal 4–8.
- S, Syukri. 1999. Kimia Dasar 3. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Safitri, I.A., Rudiyanto, B., Nursalim, A., dan Hariono, B. 2016. Uji Kinerja Smart Gried Fuel Cell Tipe Proton Exchange Membran (PEM) Dengan Penmbahan Hidrogen. *Jurnal Ilmiah Inovasi*. Vol.16. No.1. Hal 11–16.
- Suhada, H. 2001. *Fuel Cell* Sebagai Pengganti Motor Bakar Pada Kendaraan. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.3. No.2. Hal 85–91.

- Suryani, Mei. 2022. Desain dan Karakterisasi Elektrik *Plant Microbial Fuel Cell* (PMFC) Menggunakan Eceng Gondok Variasi Jarak Elektroda dan Pengaruh Cahaya Matahari. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung.
- Wahdah, Raihani, Hikma Ellya, and Hasni Hairina. 2020. Respon Viabilitas Benih Kacang Tunggak Nagara (*Vigna Unguiculata Ssp Cylindrica*) Akibat Pemberian Konsentrasi Ekstrak Akar Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Jurnal Sains STIPER Amuntai*. Vol.10. No.1. Hal 63–73.
- Wahyudi, R., Nurdin., dan Saifuddin. 2019. Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Pada Pengelasan SMAW Penyambungan Baja Karbon Rendah Dengan Baja Karbon Sedang Terhadap TYensile Strenght. *Journal of Welding Technology*. Vol.1. No.2. Hal 43–47.
- Wibowo, Rizky Satrio. 2020. Alat Pengukur Warna Dari Tabel Indikator Universal Ph Yang Diperbesar Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Edukasi Elektro*. Vol.3. No.2. Hal 99–109.
- Winata, R C A. 2011. Studi Pengomposan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dan Jerami Padi Dengan Penambahan Biodekomposer. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahm Malang. Malang.
- Zahara, Fuji, dan Sa'diyatul Fuadiyah. 2021. Pengaruh Cahaya Matahari Terhadap Proses Fotosintesis. *Jurnal Semnas Biologi FMIPA UNP*. Vol.1. No.1. Hal 1–4.