

**UJI EFEKTIVITAS PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU  
MENJADI ENERGI BIOLISTRIK DENGAN METODE  
*MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DUAL CHAMBER***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Oleh :**

**ANDRI ARIANTONI  
NIM. 170702030  
Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Sains dan Teknologi**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
BANDA ACEH  
2023 M/1444 H**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### UJI EFEKTIVITAS PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU MENJADI ENERGI BIOLISTRIK DENGAN METODE *MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DUAL CHAMBER*

### TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry (UIN) Banda Aceh  
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S-1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

**ANDRI ARIANTONI**  
**NIM. 170702030**

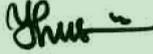
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 06 Maret 2023  
Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Arief Rahman, M.T  
NIDN.2010038901

  
Husnawati Yahya, M.Sc  
NIDN. 2009118301

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

  
Husnawati Yahya, M.Sc  
NIDN. 2009118301

## LEMBAR PENGESAHAN

### UJI EFEKTIVITAS PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU MENJADI ENERGI BIOLISTRIK DENGAN METODE *MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DUAL CHAMBER*

#### TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh  
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)  
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin, 20 Maret 2023  
27 Sya'ban 1444  
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munqasyah Tugas Akhir:

Ketua,

Sekretaris,

  
Arief Rahman, M.T  
NIDN. 2010038901

  
Husnawati Yahya, Msc  
NIDN. 2009118301

Penguji I,

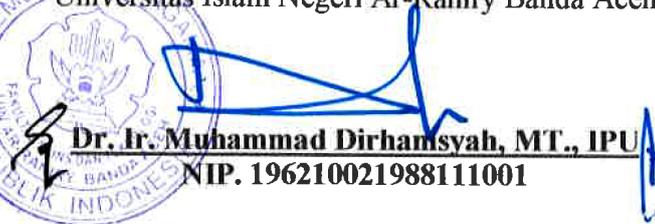
Penguji II,

  
Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc  
NIDN. 2013128901

  
Dr. Eng. Nur Aida, M.Si  
NIP. 197806162005012009

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



  
Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU  
NIP. 196210021988111001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Nama : Andri Ariantoni  
NIM : 170702030  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh  
Judul Tugas Akhir : Uji Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Energi Biolistrik Dengan Metode *Microbial Fuel Cell (MFC) Dual Chamber*

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 10 April 2023  
Yang membuat pernyataan,



Andri Ariantoni  
NIM: 170702030

## ABSTRAK

Nama : Andri Ariantoni  
NIM : 170702030  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Uji Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Energi Biolistrik Dengan Metode *Microbial Fuel Cell* (MFC) *Dual Chamber*  
Tanggal Sidang : Senin, 20 Maret 2023  
Tebal Tugas Akhir : 82 Halaman  
Pembimbing 1 : Arief Rahman, M.T.  
Pembimbing 2 : Husnawati Yahya, M.Sc.  
Kata Kunci : Limbah cair tahu, *E. coli*, MFC,  $\text{KMnO}_4$ , Biolistrik

Semakin bertambahnya jumlah populasi manusia akan berpengaruh terhadap peningkatan jumlah kebutuhan pemakaian energi, khususnya pada energi listrik akan menyebabkan menipisnya pasokan sumber daya energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah cair tahu secara berlebihan dapat merusak estetika lingkungan perairan sungai. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah cair tahu sebagai substrat menggunakan teknologi *Microbial Fuel Cell* dan penggunaan variasi konsentrasi larutan  $\text{KMnO}_4$  dalam memproduksi energi listrik. Substrat yang digunakan adalah limbah cair tahu, limbah cair tahu memiliki kadar protein tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan oleh mikroba sebagai sumber makanan. Proses pengoperasian reaktor *Microbial Fuel Cell* menggunakan dua wadah yang berfungsi sebagai anoda dan katoda, reaktor dihubungkan menggunakan jembatan garam dan disetiap wadah dilengkapi dengan elektroda grafit yang telah tersambung pada kabel tembaga. Analisis hasil data selama pengoperasian dilakukan, reaktor MFC dapat memproduksi kuat arus listrik maksimum sebesar 107,91 mA, tegangan listrik maksimum sebesar 1.200 mV, daya listrik maksimum sebesar 1.295 mW dan *power density* maksimum sebesar 39,240 mW/m<sup>2</sup> pada konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,2 M. Pencemaran limbah dan krisis energi dapat diatasi dengan memanfaatkan substrat limbah menjadi energi terbarukan melalui reaktor *Microbial Fuel Cell*.

## ABSTRACT

Name : Andri Ariantoni  
Student ID Number : 170702030  
Study program : Environmental Engineering  
Title : Effectiveness Test of Processing Tofu Liquid Waste into Bioelectric Energy Using the Method *Microbial Fuel Cell (MFC) Dual Chamber*  
Session Date : Monday, 20 March 2023  
Thesis Thicknes : 82 Page  
Advisor 1 : Arief Rahman, M.T.  
Advisor 2 : Husnawati Yahya, M.Sc.  
Keywords : Liquid waste tofu, *E. coli*, MFC,  $\text{KMnO}_4$ , bioelectricity

The increasing number of human population will affect the increase in the number of energy consumption needs, especially in electrical energy will cause the depletion of the supply of energy resources derived from fossil fuels. Environmental pollution due to excessive disposal of tofu liquid waste can damage the aesthetics of the river water environment. This study aims to utilize tofu liquid waste as a substrate using Microbial Fuel Cell technology and the use of variations in the concentration of  $\text{KMnO}_4$  solution in producing electrical energy. The substrate used is tofu liquid waste, tofu liquid waste has high protein levels, so it can be used by microbes as a food source. The process of operating the Microbial Fuel Cell reactor uses two containers that function as anodes and cathodes, the reactor is connected using a salt bridge and each container is equipped with graphite electrodes that have been connected to copper wires. Analysis of data results during operation is carried out, the MFC reactor can produce a maximum electric current strength of 107,91 mA, a maximum electric voltage of 1.200 mV, a maximum electric power of 1.295 mW, and a maximum power density of 39,240  $\text{mW/m}^2$  at a  $\text{KMnO}_4$  concentration of 0,2 M. Waste pollution and energy crisis can be overcome by utilizing waste substrates into renewable energy through reactor microbial fuel cell.

## KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Segala puji hanya milik Allah Swt, Dia-lah yang telah menganugerahkan Al-Qur'an sebagai Hudallin'nas (petunjuk bagi seluruh manusia) dan Rahmatan lil'alamin (Rahmat bagi seluruh alam). Dia-lah yang Maha Mengetahui makna dan maksud di dalam isi kandungan Al-Qur'an. Shalawat beserta salam kepada Rasulullah Saw yang telah berjuang dalam membawa umat islam dari alam kegelapan menuju alam berilmu pengetahuan.

Dan dengan berkat hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul **“Uji Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Energi Biolistrik Dengan Metode *Microbial Fuel Cell (MFC) Dual Chamber*”**. Tugas akhir merupakan sebuah penelitian yang dilakukan dengan melewati beberapa tahapan prosedur penelitian sehingga dapat memperoleh hasil analisis data penelitian yang akurat dan jelas sesuai dengan tujuan penelitian. Tugas akhir menjadi salah satu mata kuliah dan syarat untuk meraih gelar sarjana S1 di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry.

Selama persiapan dalam pengerjaan tugas akhir, penulis telah banyak mendapat pengarahan serta bimbingan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih khususnya kepada kedua orang tua dan keluarga atas harapan dan do'a-do'anya selama ini serta penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU**. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry.
2. Ibu **Husnawati Yahya, M.Sc.** Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, sekaligus penasehat akademik dan pembimbing tugas akhir penulis, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry.
3. Bapak **Aulia Rohendi, M.Sc.** Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan sekaligus koordinator tugas akhir, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry.
4. Bapak **Arief Rahman, M.T.** Dosen Pembimbing tugas akhir Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry.

5. Ibu **Firda Elvisa**, koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry.
6. Kak **Nurul Huda**, Laboran, Laboratorium Multifungsi Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry, Banda Aceh.
7. Bapak dan Ibu dosen penguji tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan serta masukan terkait revisi tugas akhir.
8. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan motivasi kepada penulis untuk terus berjuang pada saat pengerjaan tugas akhir.

Penulis berharap Allah Swt dapat membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa/i dalam kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan masukan, guna menyempurnakan tugas akhir ini dengan maksimal.

Banda Aceh, 21 Januari 2023

Penulis

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

**Andri Ariantoni**

**170702030**

# DAFTAR ISI

|   | Halaman     |
|---|-------------|
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....                           | <b>i</b>    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                            | <b>ii</b>   |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....       | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRAK</b> .....                                      | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                     | <b>v</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                               | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                   | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                 | <b>xi</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                            | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                  | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                 | 4           |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                               | 4           |
| 1.4 Batasan Penelitian .....                              | 4           |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                              | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                      | <b>6</b>    |
| 2.1 Energi Terbarukan .....                               | 6           |
| 2.2 Penggunaan Energi Listrik Di Aceh .....               | 7           |
| 2.3 Limbah Industri Tahu .....                            | 8           |
| 2.3.1 Karakteristik Limbah Cair Tahu .....                | 9           |
| 2.3.2 Standar Baku Mutu .....                             | 10          |
| 2.4 <i>Fuel Cell</i> .....                                | 10          |
| 2.5 <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) .....                | 11          |
| 2.5.1 Prinsip Kerja MFC .....                             | 12          |
| 2.5.2 Kompartemen Anoda .....                             | 14          |
| 2.5.3 Kompartemen Katoda .....                            | 14          |
| 2.5.4 Elektroda Grafit .....                              | 14          |
| 2.5.5 Jembatan Garam .....                                | 15          |
| 2.6 Riboflavin .....                                      | 16          |
| 2.7 Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....                 | 17          |
| 2.7.1 Pertumbuhan Mikroba .....                           | 18          |
| 2.8 <i>State Of The Art</i> .....                         | 19          |
| 2.9 Aplikasi Energi .....                                 | 21          |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....                | <b>22</b>   |
| 3.1 Tahapan Umum Penelitian .....                         | 22          |
| 3.2 Lokasi Penelitian .....                               | 24          |
| 3.3 Teknik Pengambilan Sampel .....                       | 25          |
| 3.4 Reaktor <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) .....        | 26          |
| 3.4.1 Bahan .....   | 26          |
| 3.4.2 Prosedur Perancangan Reaktor MFC .....              | 26          |
| 3.4.3 Prosedur Preparasi <i>Microbial Fuel Cell</i> ..... | 27          |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4.4 Prosedur Preparasi Larutan $\text{KMnO}_4$ .....            | 29        |
| 3.5 Prosedur Eksperimen .....                                     | 30        |
| 3.5.1 Alat dan Bahan.....   | 30        |
| 3.5.2 Prosedur Eksperimen MFC .....                               | 30        |
| 3.5.3 Prosedur Penggunaan Substrat Limbah .....                   | 30        |
| 3.5.4 Pengoperasian Reaktor MFC .....                             | 31        |
| 3.5.5 Pengukuran Energi Listrik .....                             | 32        |
| 3.5.6 Pengukuran Energi Variasi Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ ..... | 33        |
| 3.5.7 Pengukuran Energi Variasi Waktu.....                        | 34        |
| 3.5.8 Parameter Penentu Kemampuan MFC.....                        | 35        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                           | <b>36</b> |
| 4.1 Hasil Penelitian .....  | 36        |
| 4.1.1 Data Kuat Arus Listrik.....                                 | 36        |
| 4.1.2 Data Tegangan Listrik.....                                  | 37        |
| 4.1.3 Data Daya Listrik.....                                      | 38        |
| 4.1.4 <i>Power Density</i> .....                                  | 39        |
| 4.2 Pembahasan.....   | 41        |
| 4.2.1 Kuat Arus Listrik.....                                      | 41        |
| 4.2.2 Tegangan Listrik.....                                       | 43        |
| 4.2.3 Daya Listrik.....   | 45        |
| 4.2.4 <i>Power Density</i> .....                                  | 48        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>   | <b>52</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 52        |
| 5.2 Saran.....  | 53        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>LAMPIRAN GAMBAR.....</b>                                       | <b>62</b> |
| <b>LAMPIRAN PERHITUNGAN.....</b>                                  | <b>67</b> |

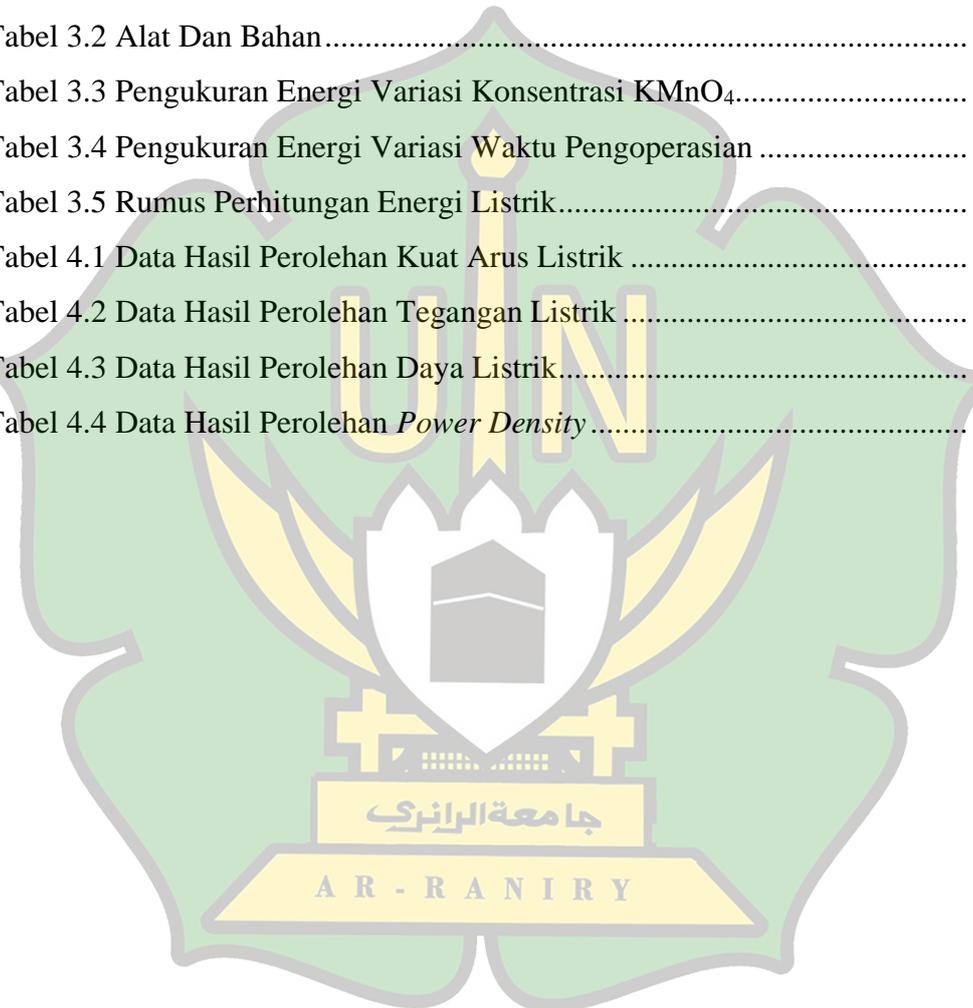
## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Prinsip Pengoperasian Sistem <i>Fuel Cell</i> .....           | 11 |
| Gambar 2.2 Prinsip Pengoperasian Sistem Reaktor MFC .....                | 13 |
| Gambar 2.3 Elektroda Grafit.....   | 15 |
| Gambar 2.4 Struktur Kimia Riboflavin.....                                | 17 |
| Gambar 2.5 <i>Escherichia coli</i> .....                                 | 18 |
| Gambar 2.6 Kurva Pertumbuhan Mikroba.....                                | 19 |
| Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....                             | 23 |
| Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel Limbah Cair Tahu.....               | 24 |
| Gambar 3.3 Saluran <i>Outlet</i> Limbah Cair Tahu .....                  | 25 |
| Gambar 3.4 Alat Reaktor MFC <i>Dual Chamber</i> .....                    | 28 |
| Gambar 3.5 Bahan $KMnO_4$ .....  | 29 |
| Gambar 3.6 Diagram Alir Pengukuran Energi Listrik .....                  | 32 |
| Gambar 3.7 Multimeter Digital UX-389.....                                | 33 |
| Gambar 4.1 Perubahan Kuat Arus Listrik Konsentrasi 0,1 M.....            | 41 |
| Gambar 4.2 Perubahan Kuat Arus Listrik Konsentrasi 0,15 M.....           | 41 |
| Gambar 4.3 Perubahan Kuat Arus Listrik Konsentrasi 0,2 M.....            | 42 |
| Gambar 4.4 Perubahan Tegangan Listrik Konsentrasi 0,1 M.....             | 43 |
| Gambar 4.5 Perubahan Tegangan Listrik Konsentrasi 0,15 M.....            | 44 |
| Gambar 4.6 Perubahan Tegangan Listrik Konsentrasi 0,2 M.....             | 44 |
| Gambar 4.7 Perubahan Daya Listrik Konsentrasi 0,1 M.....                 | 45 |
| Gambar 4.8 Perubahan Daya Listrik Konsentrasi 0,15 M.....                | 46 |
| Gambar 4.9 Perubahan Daya Listrik Konsentrasi 0,2 M.....                 | 46 |
| Gambar 4.10 Perubahan Nilai <i>Power Density</i> Konsentrasi 0,1 M.....  | 48 |
| Gambar 4.11 Perubahan Nilai <i>Power Density</i> Konsentrasi 0,15 M..... | 48 |
| Gambar 4.12 Perubahan Nilai <i>Power Density</i> Konsentrasi 0,2 M.....  | 49 |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Data Pemakaian Energi Listrik Provinsi Aceh .....          | 7  |
| Tabel 2.2 Data Jumlah Pemakaian Energi Listrik Kota Banda Aceh ..... | 8  |
| Tabel 2.3 Standar Baku Mutu Limbah Cair Tahu.....                    | 10 |
| Tabel 2.4 Kondisi Operasi <i>Fuel Cell</i> Dan MFC .....             | 12 |
| Tabel 3.1 Bahan Pembuatan Reaktor MFC <i>Dual Chamber</i> .....      | 26 |
| Tabel 3.2 Alat Dan Bahan.....  | 30 |
| Tabel 3.3 Pengukuran Energi Variasi Konsentrasi $KMnO_4$ .....       | 34 |
| Tabel 3.4 Pengukuran Energi Variasi Waktu Pengoperasian .....        | 34 |
| Tabel 3.5 Rumus Perhitungan Energi Listrik.....                      | 35 |
| Tabel 4.1 Data Hasil Perolehan Kuat Arus Listrik .....               | 36 |
| Tabel 4.2 Data Hasil Perolehan Tegangan Listrik .....                | 37 |
| Tabel 4.3 Data Hasil Perolehan Daya Listrik.....                     | 38 |
| Tabel 4.4 Data Hasil Perolehan <i>Power Density</i> .....            | 39 |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energi semakin meningkat, khususnya pada kebutuhan jumlah pemakaian energi listrik. Selama ini energi yang dihasilkan sebagian besar berasal dari pemanfaatan bahan bakar fosil, akibat dari penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus akan berdampak pada menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Penggunaan energi di Indonesia mengalami peningkatan jumlah pemakaian energi secara berkala hingga mencapai 4,6% angka ini akan terus mengalami peningkatan hingga mencapai tiga kali lipat di tahun 2030 mendatang. Hal ini mendedikasikan bahwa peningkatan jumlah populasi penduduk akan meningkatkan kapasitas konsumsi energi listrik secara berkala (Agung dkk, 2018).

Peningkatan penggunaan energi secara terus menerus akan menyebabkan menipisnya persediaan cadangan bahan fosil. Permasalahan ini akan memicu perkembangan teknologi dalam bidang energi terbarukan, energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif untuk menghentikan penggunaan bahan bakar fosil yang selama ini dipakai oleh masyarakat. Salah satu teknologi terbarukan yang telah dikembangkan dengan memanfaatkan bahan alami yang berasal dari limbah organik dan anorganik dikenal dengan istilah *Microbial Fuel Cell* (MFC). *Microbial Fuel Cell* (MFC) atau bahan bakar mikroba merupakan salah satu teknologi yang dapat menghasilkan energi dengan memanfaatkan limbah organik sebagai substrat reaktor, limbah cair tahu merupakan salah satu jenis limbah yang memiliki kandungan bahan organik cukup tinggi serta dapat dimanfaatkan sebagai makanan mikroba. Reaktor MFC merupakan teknologi yang mampu menghasilkan energi listrik dengan cara memanfaatkan kandungan bahan organik dari limbah (Dewi dkk, 2020).

Industri tahu Solo yang terletak di Kota Banda Aceh telah berdiri dari tahun 1997 hingga sekarang, industri tersebut secara langsung mengalirkan limbah melalui gorong-gorong sederhana dan berakhir pada saluran *outlet* yang mengarah secara langsung pada aliran sungai, limbah cair yang dihasilkan diperkirakan mencapai lebih dari  $\pm 10.000 \text{ m}^3$  setiap melakukan proses pembuatan tahu. Pada

penelitian Shaskia dan Yunita (2021) mengabil data responden masyarakat yang tinggal dikawasan sungai terkait pencemaran dari limbah cair tahu yang berada di kawasan sungai Krueng Daroy dan Krueng Doy, dari hasil data yang diperoleh sebanyak 76 responden merasa tercium aroma bau karena pembuangan limbah cair tahu secara langsung ke badan sungai. Mayoritas masyarakat berpendapat bahwa pembuangan limbah cair tahu secara langsung ke sungai berdampak pada menurunnya estetika perairan sungai. Pemanfaatan limbah cair tahu belum banyak dilakukan, sehingga akan memiliki potensi yang layak jika dilakukan pengolahan lebbih lanjut dengan menggunakan metode reaktor MFC (Dewi dkk, 2020). Menurut Patrik (2016) limbah cair tahu dapat menyebabkan penyakit diare atau disebut dengan penyakit disentri, penyakit ini disebabkan oleh adanya kontaminasi mikroba dalam limbah berupa bakteri *E. coli*, bakteri ini sangat berbahaya dan rentan menyerang anak-anak.

Pencemaran limbah tahu ini memiliki sifat berbahaya bagi mikroorganisme perairan dan manusia. Perairan yang telah tercemar oleh limbah cair tahu dapat diamati secara fisik seperti bau asam yang menyengat, berubah warna menjadi pekat dan berubah rasa. Secara umum dampak dari pembuangan limbah cair tahu akan mengakibatkan meningkatnya kadar parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan mempengaruhi kadar pH perairan. Pencemaran limbah cair tahu dapat menyebabkan penurunan jumlah kebutuhan oksigen mikroorganisme perairan selain itu limbah cair tahu dapat mencemari air tanah melalui aliran resapan pori-pori tanah, limbah cair tahu akan semakin sulit dikendalikan dalam jumlah yang besar sehingga menimbulkan efek pencemaran lingkungan secara berkala.

Pemanfaatan limbah cair tahu sebagai substrat reaktor MFC akan dapat meminimalisir terjadinya pencemaran lingkungan akibat dari pembuangan limbah secara langsung ke perairan sungai. Substrat limbah cair tahu dapat menghasilkan energi listrik berupa tegangan listrik, kuat arus listrik, daya listrik dan *power density* (Dewi dkk, 2020). Reaktor MFC dapat dikatakan sebagai reaktor bioelektrokimia karena adanya peran mikroba dalam menguraikan kandungan zat organik dan anorganik substrat limbah, sehingga dapat memproduksi proton dan elektron yang dialirkan menuju katoda, dalam artian reaktor MFC memiliki

kemampuan untuk mengubah kandungan substrat limbah menjadi energi listrik (Parkash, 2016). Pengolahan limbah cair tahu menjadi energi biolistrik sangat memungkinkan untuk dijadikan sebagai sumber energi terbarukan dan dapat dikembangkan kembali, sehingga dapat memenuhi jumlah kapasitas pasokan energi. Pengamatan pada teori sebelumnya limbah cair dari usaha produksi tahu memiliki kandungan protein tinggi karena komposisi bahan utama pembuatan tahu berasal dari kacang kedelai, kandungan protein kacang kedelai dapat dimanfaatkan sebagai makanan mikroba dalam substrat limbah. Kadar pH limbah cair tahu bersifat asam karena dalam proses pembuatannya menggunakan asam cuka sebagai bahan campuran yang berfungsi untuk pembentuk gumpalan tahu.

Penggunaan reaktor MFC dilakukan pada penelitian Sulistiyawati dkk (2020) melakukan pengolahan limbah dengan menggunakan metode reaktor MFC, metode ini digunakan dengan memanfaatkan kombinasi substrat limbah cair tahu dan tempe dengan penambahan isolat bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dalam substrat limbah. Eksperimen ini menghasilkan energi berupa tegangan sebesar 282 Mv pada jumlah pertumbuhan sel bakteri mencapai  $12,4 \times 10^6$  Colony Forming Units/mili (CFU/ml) pada masa inkubasi jam ke 5, campuran substrat limbah tempe dan tahu dapat menghasilkan tegangan sebesar 274 mV pada masa inkubasi jam ke 3. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa limbah cair tahu dapat digunakan sebagai substrat pada reaktor MFC dalam memproduksi energi listrik.

Dari permasalahan pencemaran limbah cair tahu dan peningkatan penggunaan energi listrik, peneliti tertarik untuk mengambil judul “Uji Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Energi Biolistrik Dengan Metode *Microbial Fuel Cell (MFC) Dual Chamber*” layak untuk dilakukan karena mengingat semakin meningkatnya pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah yang berasal dari industri tahu apabila tidak dimanfaatkan akan berdampak pada kerusakan estetika perairan sungai.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pengolahan limbah cair tahu dilakukan dengan menjadikan limbah sebagai substrat reaktor MFC *dual chamber*, penggunaan metode ini bertujuan agar dapat memproduksi energi listrik, oleh karena itu penulis akan memaparkan sejumlah rumusan masalah penelitian, antara lain:

1. Bagaimana kapasitas produksi energi listrik dihasilkan oleh reaktor MFC berupa tegangan, kuat arus, daya listrik dan *power density* yang dihasilkan oleh reaktor MFC dengan memanfaatkan limbah cair tahu sebagai substrat?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan larutan elektrolit variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M terhadap produksi tegangan, kuat arus, daya listrik dan *power density*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diperoleh dari hasil penelitian tentang pemanfaatan limbah cair tahu sebagai substrat pada reaktor MFC *dual chamber*, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kapasitas jumlah produksi tegangan, kuat arus, daya listrik dan *power density* yang dihasilkan oleh substrat limbah cair tahu dengan metode reaktor MFC *dual chamber*.
2. Untuk mengetahui pengaruh perolehan produksi energi listrik yang dihasilkan pada penggunaan larutan elektrolit variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M terhadap tegangan, kuat arus, daya listrik dan *power density*.

## 1.4 Batasan Penelitian

Pembuatan batasan penelitian bertujuan untuk menghindari pembahasan yang tidak sesuai dengan tujuan awal penelitian, oleh karena itu penulis menjelaskan batasan penelitian berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan tujuan penelitian, adapun batasan penelitian, sebagai berikut:

1. Menilai kapasitas produksi energi listrik pada pengoperasian sistem reaktor MFC dengan memanfaatkan limbah cair tahu sebagai substrat.
2. Data awal berupa tegangan dan hambatan akan dihitung menjadi kuat arus, daya listrik dan *power density*.
3. Jenis larutan elektrolit yang digunakan adalah  $\text{KMnO}_4$  variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M.

4. Penggunaan variasi waktu pengoperasian reaktor MFC dan variasi larutan elektrolit untuk menilai perbedaan perolehan kapasitas produksi tegangan listrik, kuat arus, daya listrik dan *power density*.
5. Reaktor MFC menggunakan wadah dari bahan plastik yang tahan terhadap reaksi kimia larutan elektrolit.
6. Sampel substrat limbah cair tahu berasal dari industri tahu Solo Kota Banda Aceh.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tentang pemanfaatan limbah cair tahu menjadi energi listrik dengan menggunakan metode MFC, yaitu sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa/i, dapat menjadi acuan referensi penelitian tentang energi terbarukan serta membuka wawasan baru tentang pengolahan limbah menjadi energi listrik dengan metode reaktor MFC *dual chamber*.
2. Bagi masyarakat, menambah wawasan ilmu pengetahuan dan informasi masyarakat terkait dengan metode pengolahan limbah cair tahu menjadi bahan sumber energi listrik menggunakan reaktor MFC *dual chamber*.
3. Bagi peneliti, merupakan sebuah gagasan baru dalam menambah wawasan ilmu pengetahuan yang telah diasah dan dipelajari pada saat selama masa proses belajar di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry dalam mengaplikasikan ilmu pengetahuan tentang pengolahan limbah cair tahu dengan metode MFC.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan berperan penting untuk menggantikan bahan bakar fosil yang sedang digunakan hingga saat ini, penggunaan bahan bakar fosil sebagai pembangkit energi dapat berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan karena melalui proses pembakaran selanjutnya akan dikonversi menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi fosil secara terus menerus dapat menimbulkan permasalahan pencemaran lingkungan. Salah satu sumber pencemaran lingkungan, yaitu dapat menyebabkan efek rumah kaca dan terjadinya peningkatan (*global warming*), *rain acid*, *soil acid* dan memicu perkembangan penyakit pada manusia. Sebagai gambaran umum pada tahun 1990-an sebanyak 85% dari produksi energi di Indonesia yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil setara dengan 43.200 GWh. Ketergantungan pada energi fosil secara terus menerus setidaknya akan memiliki tiga dampak ancaman serius, antarlain:

1. Menipisnya jumlah cadangan bahan bakar fosil.
2. Harga minyak pasar nasional dan internasional menjadi tidak stabil.
3. Polusi gas rumah kaca akibat pelepasan CO<sub>2</sub> dari hasil proses pembakaran bahan fosil.

Pemanfaatan energi terbarukan akan memiliki tiga dampak positif terhadap, yaitu:

1. Bahan mudah diperoleh dari alam.
2. Harga relatif lebih terjangkau.
3. Tidak memiliki dampak pencemaran lingkungan dari proses produksi energi.

Peningkatan penggunaan energi telah memicu berbagai riset tentang pengembangan teknologi berbasis energi terbarukan (*renewable*) untuk dapat menggantikan penggunaan bahan bakar fosil yang menjadi patokan sumber energi utama masyarakat. Diantara beragam energi alternatif penghasil substituen diantaranya adalah energi yang menggunakan bahan bakar berbasis substrat limbah atau dikenal dengan istilah *Microbial Fuel Cell* (MFC). *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu penemuan yang dapat menghasilkan energi

alternatif serta memiliki potensi untuk dikembangkan, pengoperasian reaktor MFC secara umum, yaitu dengan memanfaatkan kandungan organik limbah sebagai sumber nutrisi mikroba agar dapat dihasilkan energi.

## 2.2 Penggunaan Energi Listrik Di Aceh

Aceh merupakan salah satu Provinsi yang memiliki populasi jumlah penduduk keseluruhan sebanyak 5.407,855 jiwa pada tahun 2022 (BPS Aceh, 2022). Pada penelitian Nugraha dkk (2019) menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* untuk memperkirakan peningkatan jumlah konsumsi energi listrik selama 10 tahun yang akan datang, dari hasil penelitian memperoleh data konsumsi energi listrik Provinsi Aceh di tahun 2028 diperkirakan akan mencapai 5578,02 GWh dengan peningkatan sebesar 2,07% setiap tahunnya hingga tahun 2028. Pertumbuhan jumlah populasi penduduk di wilayah Aceh mengalami peningkatan setiap tahunnya akan meningkatkan kapasitas konsumsi energi listrik (Nugraha dkk, 2020). Data peningkatan jumlah pemakaian energi listrik di Provinsi Aceh selama 3 tahun terakhir, tercatat dari tahun 2019, 2020 dan 2021 dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1.** Data pemakaian energi listrik Provinsi Aceh

| Jenis Penggunaan | Jumlah Pelanggan Perusahaan Listrik Negara (PLN) Di Provinsi Aceh |                |                |
|------------------|---|----------------|----------------|
|                  | 2019  | 2020           | 2021           |
| Rumah Tangga     | 1303772   | 1354112        | 1396567        |
| Bisnis           | 126489  | 135764         | 145665         |
| Industri         | 3236  | 3582           | 3903           |
| Sosial           | 46098   | 48577          | 51171          |
| pemerintah       | 13510   | 14645          | 15140          |
| Lain-lain        | 263   | 304            | 305            |
| <b>Total</b>     | <b>1493368</b>  | <b>1556984</b> | <b>1612751</b> |

(Sumber: PT PLN (Persero) Wilayah Aceh, 2023)

Kapasitas jumlah pemakaian energi listrik wilayah Kota Banda Aceh dapat dilihat pada **Tabel 2.2.**

**Tabel 2.2.** Jumlah pemakaian energi listrik Kota Banda Aceh

| No | Uraian Deskripsi       | Jumlah Pemakaian Energi Listrik |             |             |
|----|------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|
|    |                        | 2018                            | 2019        | 2020        |
| 1. | Jumlah pelanggan       | 232,622                         | 246,451     | 259,149     |
| 2. | Jumlah produksi kWh    | 736,556,209                     | 39,534,227  | 42,825,326  |
| 3. | Jumlah kWh tersalurkan | 736,556,209                     | 792,105,366 | 791,834,788 |

(Sumber: BPS Kota Banda Aceh, 2021)

### 2.3 Limbah Industri Tahu

Industri pembuatan tahu dapat menghasilkan jenis limbah cair dan limbah padat, limbah cair berasal dari tahapan proses pembuatan tahu dan limbah padat berasal dari sisa-sisa ampas kedelai yang tidak terpakai. Limbah cair yang dihasilkan memiliki kandungan kadar protein tinggi dapat mencapai 40 hingga 60%, ini dikarenakan bahan dasar pembuatan tahu berasal dari biji kacang kedelai. Menurut Nihayah dan Kirom (2020) limbah cair tahu memiliki kandungan karbohidrat, protein dan lemak. Limbah cair industri tahu merupakan limbah yang berasal dari sisa-sisa pengolahan kacang kedelai yang tidak dapat diolah kembali. Industri pembuatan tahu dapat menghasilkan limbah berupa limbah cair dan limbah padat, limbah cair yang dihasilkan berupa proses penggumpalan tahu, pencucian peralatan industri dan limbah padat berasal dari pencucian bahan baku biji kacang kedelai (Suhairin dkk, 2020).

Pengolahan limbah cair tahu bertujuan untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat dari pembuangan limbah secara langsung ke perairan sungai tanpa dilakukan proses pengolahan untuk menurunkan kadar pencemaran limbah, limbah cair tahu dapat menghasilkan energi melalui reaktor MFC. Limbah cair yang memiliki pH < 6,5 magnetit akan lebih cenderung bermuatan positif yang membentuk  $\text{FeOH}^{2+}$ , sehingga dapat mengikat kandungan organik yang memiliki muatan negatif seperti karbon, oksigen, nitrogen, fosfor dan sulfur (Hamdan, dkk 2022). Limbah cair tahu cenderung memiliki sifat asam karena dalam proses pembuatannya menggunakan asam cuka yang dapat mengikat sari pati kedelai.

### 2.3.1 Karakteristik Limbah Cair Tahu

Karakteristik pada air limbah secara umum dikategorikan berdasarkan pada sifat fisika, kimia dan biologi. Akan tetapi karakteristik air buangan industri lebih tergolong pada karakteristik fisika dan kimia. Menurut Sayow dkk (2020) menyatakan bahwa karakteristik terpenting dari limbah cair tahu yang dapat mencemari lingkungan, antara lain:

1. *Total Suspended Solid (TSS)*

*Total Suspended Solid (TSS)* merupakan padatan tersuspensi dalam air, bahan padatan tersebut dapat berupa bahan organik dan anorganik yang tidak terlarut dalam air akan tetapi hanya akan melayang layang di dalam air, padatan tersuspensi ini berhubungan dengan kekeruhan air. Padatan dapat menghalangi cahaya masuk dalam air karena banyaknya kandungan padatan tersuspensi yang menyebar dalam perairan.

2. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

*Biochemical Oxygen Demand (BOD)* merupakan salah satu metode parameter yang dipakai untuk menilai jumlah kandungan zat organik dalam limbah sehingga dapat menilai kapasitas jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air.

3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Parameter *Chemical Oxygen Demand (COD)* digunakan untuk mengukur jumlah oksigen terlarut dalam air sehingga mempengaruhi kehidupan dalam air, kandungan senyawa organik pada limbah cair tahu tergolong sangat tinggi serta dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas jumlah oksigen terlarut dalam air hingga mencapai kisaran nol, kebutuhan akan oksigen bagi biota perairan dan mikroorganisme tidak memungkinkan untuk hidup pada kondisi perairan yang telah terkontaminasi oleh limbah cair.

4. *Power of Hidrogen*

Penurunan kadar pH limbah industri tahu dipengaruhi oleh penambahan asam cuka pada saat pementukan gumpalan tahu dengan kata lain kadar pH asam akan cenderung melepaskan kandungan zat yang mudah menguap ke udara. Sifat asam ini akan menyebabkan limbah cair tahu mengeluarkan aroma yang tidak sedap. Menurut Hamzani dan Syarifudin (2020) mengatakan bahwa kadar pH

limbah cair tahu berada pada kisaran pH 4,3-5,33. Pembuangan limbah cair tahu secara langsung ke badan perairan akan mempengaruhi kadar pH dan dapat berpengaruh pada mikroorganisme perairan (Mardhia dan Abdullah, 2018).

Kadar pencemaran yang dihasilkan oleh limbah cair tahu cenderung memiliki kandungan protein yang bisa dijadikan sebagai substrat reaktor MFC dengan kata lain kandungan protein yang berasal dari limbah cair tahu bermanfaat jika dijadikan sebagai bahan makanan bakteri, bakteri akan melakukan proses metabolisme untuk menghasilkan energi listrik.

### 2.3.2 Standar Baku Mutu

Penetapan standarisasi baku mutu air limbah merupakan syarat yang diperlukan dalam pengelolaan limbah karena kandungan senyawa organik limbah cair tahu merupakan pemicu terjadinya dampak kumulatif pencemaran bagi lingkungan, standar baku mutu limbah cair tahu dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.3.** Standar baku mutu limbah cair tahu

| No | Parameter | Pengolahan Tahu |
|----|-----------|-----------------|
| 1. | BOD       | 150 mg/l        |
| 2. | COD       | 300 mg/l        |
| 3. | TSS       | 200 mg/l        |
| 4. | pH        | 6 – 9           |

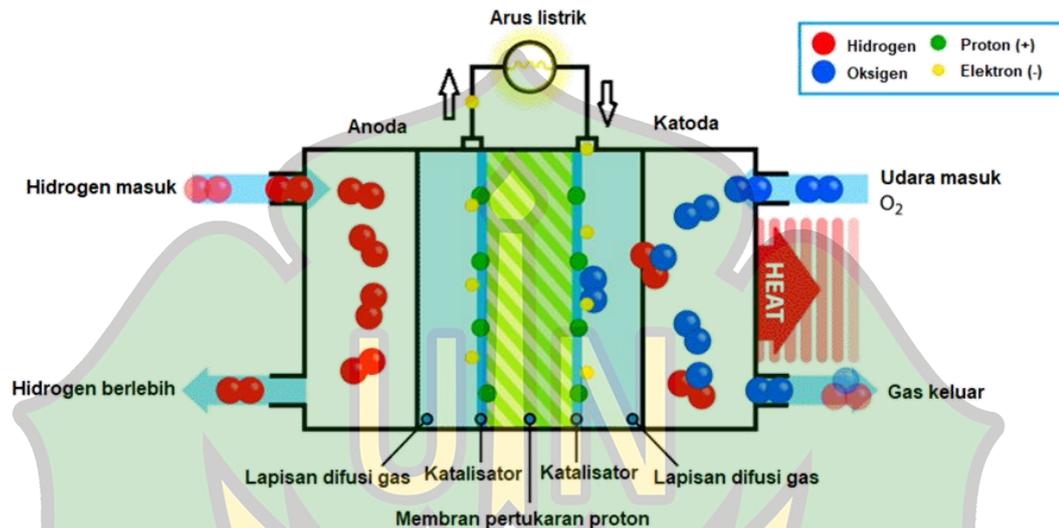
(Sumber: PERMENLH Nomor 5 Tahun 2014)

### 2.4 Fuel Cell

*Fuel cell* merupakan *cell* bahan bakar listrik yang telah dicetuskan oleh W.R Grove tahun 1839, dengan menggunakan elektrode yang berasal dari bahan platina, pada tahun 1889 Charles Langer dan Ludwing mond menggunakan istilah *fuel cell* untuk pertamakalinya pada percobaan membuat mesin generator. Di tahun 1932 *fuel cell* telah berhasil dikembangkan kembali oleh Francis Bacon. Setelah 27 tahun *fuel cell* dikembangkan dengan penerapan alat las dengan daya listrik sebesar 5 kW, pada tahun 1950 oleh pihak *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) melakukan pengembangan dengan mengaplikasikan *fuel cell* pada pesawat luar angkasa. Setelah 30 tahun kemudian *fuel cell* mulai diaplikasikan pada pesawat ruang angkasa (Safrijal, 2021).

*Fuel cell* bekerja dengan menggunakan prinsip pembakaran listrik-kimiawi, *cell* akan mereduksi energi pada arus searah. *Fuel cell* terdiri dari dua bagian,

yaitu anoda dan katoda serta polimer yang digunakan sebagai penghubung antara anoda dan katoda. Elektrolit hanya menghantarkan ion akan tetapi elektron tidak melewati elektrolit, anoda akan menghasilkan elektron bebas dan katoda akan berfungsi sebagai pengikat elektron bebas dari anoda. Elektron akan dialirkan melewati kawat penghantar menuju anoda agar energi terbentuk secara kontinyu (Safrijal, 2021). Prinsip pengoperasian *fuel cell* dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1.** Prinsip pengoperasian sistem *fuel cell*

## 2.5 Microbial Fuel Cell (MFC)

*Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu jenis teknologi yang mampu memproduksi energi listrik dengan memanfaatkan reaksi metabolisme mikroba (Yu dkk, 2020). Reaktor MFC memanfaatkan mikroba untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik dengan reaksi katalik saat kondisi anaerob (tanpa udara) (Kanani, 2017). Cara kerja bakteri dalam wadah anoda, yaitu dengan mengubah kandungan substrat organik limbah cair menjadi proton ( $H^+$ ), elektron ( $e^-$ ) dan  $CO_2$  melalui proses metabolisme mikroba, kemudian selanjutnya akan dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan bakteri sebagai akseptor elektron, elektron akan dialirkan menuju wadah katoda melalui sirkuit elektroda dan kabel listrik. Pada ruang katoda terjadi reaksi reduksi oksigen ( $O_2$ ) oleh ion ( $H^+$ ) dan elektron sehingga menghasilkan air (Song dkk, 2019). Mikroba akan melepaskan energi berupa proton dan elektron, elektron yang telah dilepaskan akan ditrasfer melalui media elektroda pada saat dalam kondisi reduksi sedangkan proton melewati jembatan garam menuju katoda (Santoro dkk, 2017).

Prinsip dasar pengoperasian *fuel cell* kebalikan dari proses elektrolisa dimana  $H^+$  akan direaksikan dengan oksigen dan menghasilkan energi listrik, akan tetapi rektor MFC memanfaatkan bakteri sebagai bahan katalis, ini dikarenakan bakteri memiliki kemampuan dalam menghasilkan elektron ( $e^-$ ). *Fuel cell* cenderung menggunakan bahan platina sebagai katalis, sehingga membutuhkan biaya mahal agar dapat memilikinya. Perbandingan kondisi operasi *fuel cell* dan MFC dilihat pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4.** Kondisi operasi *fuel cell* dan MFC

| <b>Keadaan Operasi</b> | <b><i>Fuel cell</i></b> | <b><i>Microbial Fuel Cell</i></b> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Katalis                | Logam mulia             | Mikroorganisme                    |
| Kadar pH               | Cenderung asam          | Cenderung netral                  |
| Suhu                   | >200°C                  | 22-25°C                           |
| Elektrolit             | Asam                    | Larutan                           |
| Kapasitas              | Tinggi                  | Rendah                            |
| Efisiensi              | 40-60%                  | >40%                              |
| Bahan bakar            | Gas alam                | Karbohidrat atau hidrokarbon      |

### 2.5.1 Prinsip Kerja MFC

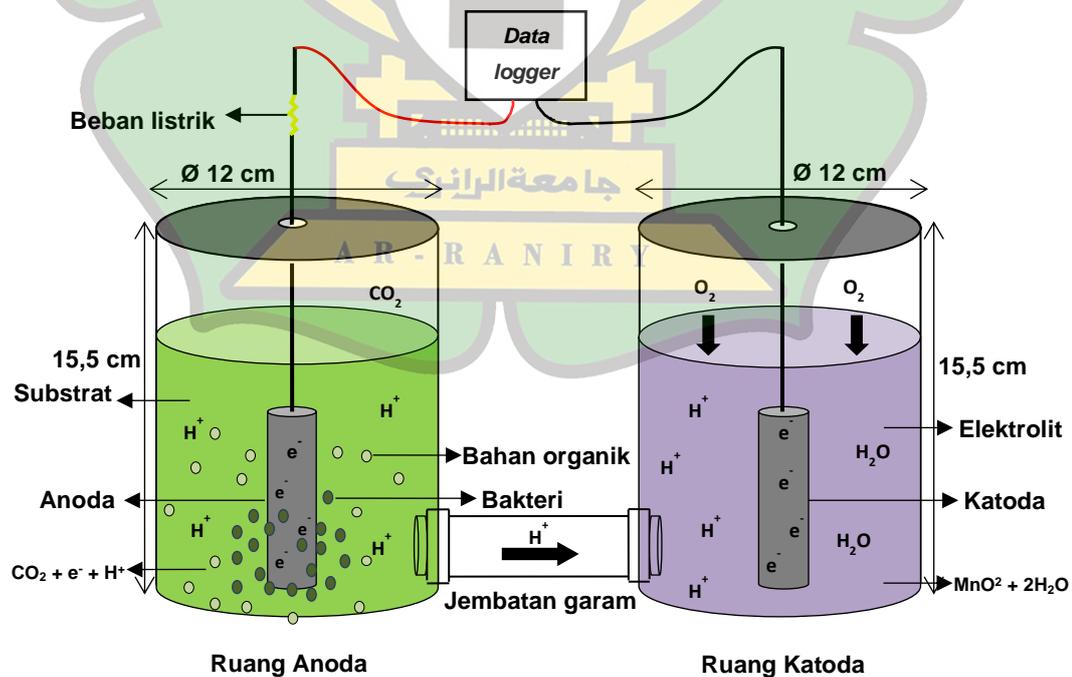
Reaktor MFC akan menghasilkan listrik dengan memanfaatkan aktivitas metabolisme mikroba dalam wadah reaktor anoda yang akan dimanfaatkan untuk mempercepat laju reaksi, yaitu dengan mengubah kandungan materi organik substrat limbah menjadi energi listrik. Proses ini berlangsung ketika saat terjadinya proses transfer elektron oleh mikroba melalui media elektroda, elektron tersebut akan melintasi kabel listrik yang terhubung pada elektroda hingga akan menghasilkan arus pada katoda. Menurut Novriandy dkk (2021) menyatakan bahwa reaktor MFC merupakan sistem konversi energi kimia yang terdapat dalam kandungan substrat limbah *bio-convertible* menjadi energi listrik dengan memanfaatkan bakteri untuk mempercepat laju reaksi. Bakteri merupakan mikroorganisme yang memiliki ukuran kecil dan umumnya dapat mengubah senyawa organik menjadi  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan energi. Mikroba akan menggunakan energi yang dihasilkan untuk melangsungkan pertumbuhan sel dan melakukan aktivitas metabolisme secara terus menerus apabila pasokan nutrisi masih tersedia.

Pada umumnya reaktor MFC terdiri dari anoda, katoda dan jembatan garam, jembatan garam berfungsi sebagai penukar proton ( $H^+$ ) dari anoda ke katoda serta

anoda dan katoda dilengkapi dengan sirkuit lintasan menggunakan kabel listrik yang telah dihubungkan pada elektroda. Menurut Bachry (2019) reaksi yang terjadi pada sistem kompartemen anoda dan katoda dalam reaktor MFC dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2:

1. Reaksi pada anoda :  $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow 6CO_2 + 24e^- + 24H^+$
2. Reaksi pada katoda :  $O_2 + 4e^- + 4H^+ \longrightarrow 2H_2O$

Bahan organik bersifat ramah lingkungan karena mampu mengolah bahan organik yang berpotensi menjadi limbah dapat diolah menjadi sesuatu yang bermanfaat (Wahyuni dkk, 2022). Substrat limbah yang berasal dari bahan organik banyak mengandung glukosa, selulosa, protein, lemak dan senyawa asam sederhana seperti asam laktat, asam asetat dan asam butirat (Zhao dkk, 2017). Pada penelitian Sahaq dan Hadiyanto (2019) telah memanfaatkan limbah cait tahu dengan menggunakan mikroba dan mikroalga (*Spirulina plantesis*), penelitian Wang dkk (2017) memanfaatkan limbah jagung oleh dengan penambahan bakteri (*Shewanella odinensis*), dari setiap penelitian ini telah menunjukkan perolehan energi listrik dengan perolehan nilai *power density* sebesar 171,44 (mW/m<sup>2</sup>), 93.660 (mW/m<sup>2</sup>), 6255 (mW/m<sup>2</sup>) (Wahyuni dkk, 2022). Prinsip pengoperasian sistem reaktor MFC dapat diamati pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2.** Prinsip pengoperasian sistem reaktor MFC

### 2.5.2 Kompartemen Anoda

Wadah katoda diisi dengan substrat limbah yang mengandung senyawa organik dan anorganik dengan memanfaatkan bakteri pengurai substrat limbah untuk dapat menghasilkan energi listrik. Limbah cair tahu merupakan limbah yang memiliki kandungan protein yang tinggi sehingga dapat dijadikan sebagai substrat pada reaktor MFC. Kandungan protein substrat limbah cair tahu dapat dimanfaatkan oleh bakteri pengurai sebagai sumber energi untuk dapat melakukan aktivitas metabolisme. Saat sedang melakukan aktivitas metabolisme bakteri akan cenderung melepaskan senyawa proton, elektron dan karbon dioksida. Menurut Bachry (2019) proton dan elektron akan dikonversi menjadi hidrogen pada katoda. Menurut Bachry (2019) reaksi yang terjadi secara umum pada anoda adalah:



### 2.5.3 Kompartemen Katoda

Pada wadah katoda terdapat larutan elektrolit yang cenderung bersifat konduktif. Elektrolit kalium permanganat ( $KMnO_4$ ) berfungsi sebagai aseptor elektron dari anoda (Utami dkk, 2019).  $KMnO_4$  dapat digunakan sebagai aseptor elektron pada reaktor MFC saat berada dalam kondisi asam dan berfungsi untuk meningkatkan kapasitas *power density* hingga mencapai 11 kali lipat. Reaksi  $KMnO_4$  pada katoda dapat dilihat pada reaksi kimia berikut.



Proton dan elektron bersumber dari anoda, anoda berfungsi untuk mereduksi  $Mn^{7+}$  menjadi  $Mn^{4+}$ .  $KMnO_4$  akan mengalami terdekomposisi apabila terkena cahaya. Reaksi yang terjadi pada  $KMnO_4$  apabila terkena cahaya secara langsung.



Pada saat dilakukan penelitian, wadah reaktor katoda dibuat dari wadah berwarna hitam agar menghindari terjadinya terdekomposisi karena terkena cahaya (Utami dkk, 2020).

### 2.5.4 Elektroda Grafit

Elektroda harus bersifat konduktivitas, *biocompatible* dan stabil secara kimia, logam seperti *stainless steel* dan tembaga memiliki sejumlah ion toksisitas yang dapat tidak dapat mempengaruhi mikroba. Oleh karena itu tembaga kurang

tepat jika digunakan sebagai elektroda reaktor MFC, material elektroda yang tepat untuk digunakan terbuat dari bahan karbon. Elektroda memiliki bentuk lempengan grafit, batang dan granula, elektroda grafit berbentuk batang banyak digunakan karena harganya terjangkau, sederhana dan memiliki luas permukaan. Menurut Bachry (2019) menyatakan bahwa secara umum elektroda berbahan karbon aktif sering digunakan pada kompartemen anoda dan katoda karena memiliki sifat konduktivitas yang tinggi, stabil, struktur kuat, memiliki sifat permukaan yang sesuai untuk perkembangan biofilm dan luas permukaan yang memadai. Elektroda grafit dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3.** Elektroda grafit

Karbon aktif memiliki struktur monokristalin dibentuk dengan melalui tahapan perlakuan yang khusus. Luas permukaan karbon aktif dapat mencapai  $300\text{-}2.000\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ , karakteristik ideal bagi karbon adalah memiliki rentang pH 5-6 ( $50\text{ g/l H}_2\text{O}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ), titik leleh  $3.800^\circ\text{C}$  dan partikel karbon memiliki ukuran hingga  $\leq 50\text{ }\mu\text{m}$ . Penggunaan resin bertujuan untuk merekatkan serpihan partikel karbon agar memiliki struktur ketahanan yang lebih kuat agar tidak mudah rapuh dan hancur pada saat sedang digunakan, resin memiliki konduktivitas rendah berkisar antara  $10\text{-}10/\Omega\text{.m}$  atau  $10\text{-}15/\Omega\text{.m}$ . aktivasi elektroda dilakukan dengan cara dibersihkan menggunakan cairan aquades dan direndam pada larutan elektrolit HCl 1 M dan NaOH 1 M selama 1 x 24 jam, kemudian elektroda dibilas kembali menggunakan aquades dan disimpan dalam rendaman aquades agar pH elektroda tetap netral hingga akan digunakan (Wahyuni dkk, 2022).

### **2.5.5 Jembatan Garam**

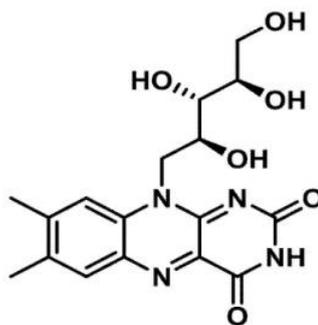
Jembatan garam digunakan sebagai penghubung antara anoda dan katoda, jembatan garam dapat dibuat dengan pencampuran bahan nutrisi agar dan garam (NaCl). Jembatan garam berfungsi untuk melakukan pertukaran elektron yang berasal dari anoda dan secara langsung ditangkap oleh katoda dan dapat menjaga kenetralan muatan listrik antar anoda dan katoda (Bachry, 2019). Konsentrasi

elektrolit pada jembatan garam lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi di kedua bagian elektroda, jembatan garam akan mengalirkan elektron secara kontinyu melalui elektroda menuju sirkuit kabel listrik pada rangkaian luar dan aliran ion-ion akan melalui larutan, ini disebabkan oleh adanya reaksi redoks yang terjadi di kedua elektroda. Penggunaan jembatan garam pada reaktor MFC dapat berpengaruh pada penurunan konsentrasi parameter COD serta berpengaruh pada kapasitas produksi energi listrik yang dihasilkan oleh reaktor MFC, jembatan garam terdiri dari ion fosfat dan negatif. Ion-ion tersebut bebas melakukan perpindahan akan tetapi tidak berpengaruh dalam proses reaksi oksidasi dan reduksi.

Jika jembatan garam tidak bekerja dengan baik maka berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi parameter COD karena adanya konsentrasi ion  $H^+$  menjadi indikasi, faktor konsentrasi asam akan berkumpul pada elektroda anoda sehingga akan menyebabkan terjadi permasalahan proses transfer elektron menuju katoda. Menurut Bachry (2019) desain jembatan garam dibuat tipis dan pendek sehingga dapat memudahkan proton dan elektron mengalir dari anoda menuju katoda. Pada penelitian Ibrahim dkk (2022) memanfaatkan limbah pindang ikan menggunakan reaktor MFC mampu menurunkan nilai COD sebesar 93,01% pada rasio jembatan garam karagenan : karboksimetil selulosa, penurunan kadar BOD ini disebabkan oleh mikroorganisme pengurai.

## 2.6 Riboflavin

Riboflavin sering disebut dengan istilah vitamin B2 dengan rumus kimia ( $C_{17}H_{20}N_4O_6$ ), riboflavin merupakan bagian enzim oksidasi. Riboflavin memiliki fungsi pada tingkatan akhir metabolisme protein dan bagian dari xantin oksidasi metabolisme purin. Riboflavin mempunyai bagian molekul terdiri dari *Flavin Adenin Denukleotida* dan *Flavin Mononukleotida*, molekul ini berperan pada reaksi pembentukan asam. Secara alami bakteri dapat memproduksi riboflavin sendiri. Riboflavin akan berakumulasi dengan mikroba, sehingga menghasilkan peningkatan pada jumlah nilai elektrisitas mencapai 310% karena mikroba memiliki kemampuan mentransfer elektron pada elektroda. Oleh karena itu riboflavin digunakan sebagai mediator elektron dari mikroba ke anoda. Struktur kimia riboflavin dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4.** Struktur kimia riboflavin

(Sumber: Suannasom dkk, 2020)

## 2.7 Bakteri *Escherichia coli*

*E. coli* merupakan jenis bakteri gram negatif memiliki bentuk seperti batang dan berukuran 1,0-1,5  $\mu\text{m}$  x 2,0-6,0  $\mu\text{m}$ , tidak motil dengan flagea, dapat tumbuh pada kondisi krisis jumlah oksigen, memiliki sifat fakultatif anaerobik dan dapat bertahan pada media krisis nutrisi. *E. coli* memiliki tingkat kemampuan bertahan hidup pada media dengan tingkat keasaman yang tinggi. *E. coli* memiliki waktu generasi sekitar 30 hingga 87 menit tergantung kondisi suhu pada media, *E. coli* membutuhkan waktu generasi untuk melakukan proses pembelahan diri menjadi dua kali lipat. Suhu optimum yang baik bagi pertumbuhan dan perkembangan *E. coli* adalah 37°C dengan lama waktu generasi selama 30 menit (Rahayu dkk, 2018). Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yogaswara dkk (2017) yang berjudul pengaruh penambahan mikroba pada limbah POME sebagai substrat MFC, menyimpulkan bahwa penggunaan bakteri *E. coli* justru akan meningkatkan performa pengoperasian dari MFC. Peningkatan dapat terlihat pada daya listrik, kuat arus, tegangan dan *power density*.

Klasifikasi ilmiah

Kingdom : *Bacteria*

Filum : *Proteobacteria*

Kelas : *Gammaproteobacteria*

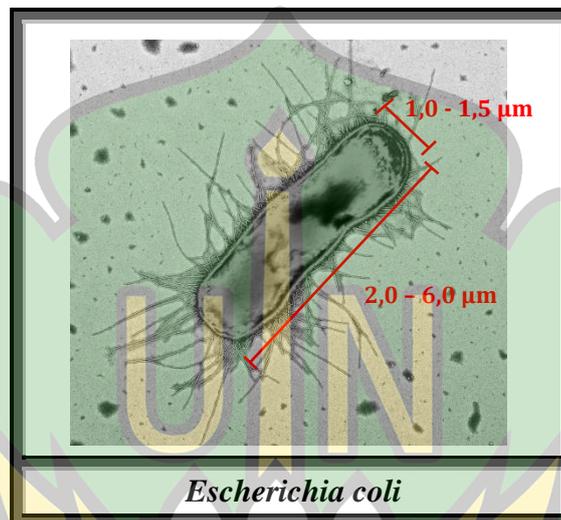
Ordo : *Enterobacteriales*

Famili : *Enterobacteriaceae*

Genus : *Escherichia*

Spesies : *Escherichia coli*

Bakteri *E. coli* merupakan jenis bakteri yang mudah hidup dimana saja dengan berbagai kondisi yang ekstrim, bakteri *E. coli* dapat memproduksi listrik dengan cara melakukan aktivitas metabolisme. Pada saat melakukan metabolisme bakteri akan melepaskan sejumlah senyawa berupa proton ( $H^+$ ), elektron ( $e^-$ ) dan  $CO_2$  sehingga dapat menghantarkan arus listrik pada elektroda, karena bakteri cenderung berada di area sekeliling elektroda. Bentuk dan ukuran dari bakteri *E. coli* secara umum dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



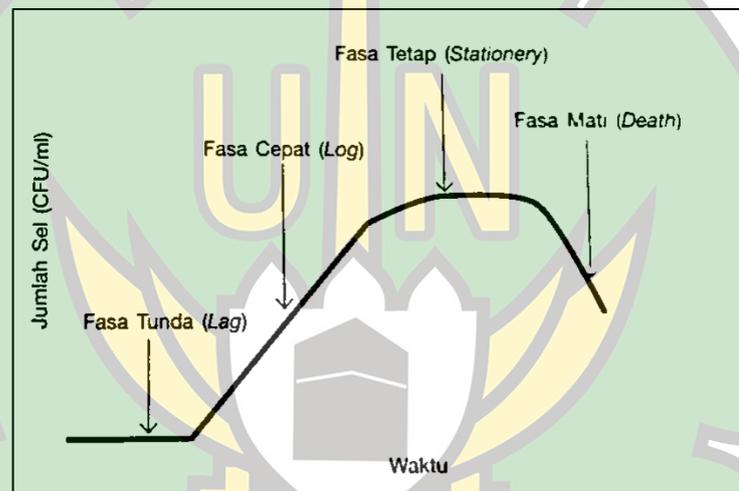
**Gambar 2.5.** *Escherichia coli*

Bakteri akan melakukan proses metabolisme pada ruang anoda sehingga menghasilkan proton ( $H^+$ ), elektron ( $e^-$ ) dan  $CO_2$ . Proton akan menuju arah katoda melalui cara berdifusi, reaksi ini terjadi pada jembatan garam. Elektron dibawa oleh riboflavin menuju ke arah elektroda dan mengalir melalui sirkuit. Aliran elektron dari anoda menuju katoda akan menghasilkan energi listrik. Reaksi yang akan terjadi di ruang katoda, elektron yang dilepaskan dari anoda akan ditangkap dan bereaksi dengan  $H^+$  dan menghasilkan  $H_2O$ .

### 2.7.1 Pertumbuhan Mikroba

Secara umum pertumbuhan mikroba pada substrat limbah akan melalui empat fase, yaitu fase lag merupakan fase adaptasi bakteri terhadap lingkungan barunya, fase eksponensial merupakan fase dimana jumlah pertumbuhan mikroba akan meningkat secara eksponensial, ini terjadi karena mikroba akan melakukan pembelahan biner pada bakteri menjadi dua sel secara bersamaan. Bertambahnya jumlah sel mikroba ini akan meningkatkan jumlah produksi proton dan elektron dari aktivitas metabolisme bakteri, sehingga produksi tegangan listrik akan

semakin meningkat, fase stasioner merupakan fase puncak pertumbuhan dan kemudian bakteri akan mengalami fase kematian hingga tidak ada listrik yang dihasilkan (Bachry, 2019). Fase pertumbuhan mikroba disesuaikan dengan hasil penelitian berdasarkan peningkatan jumlah energi listrik yang dihasilkan saat melakukan pengukuran pada waktu tertentu, peningkatan nilai energi listrik disebabkan oleh adanya interaksi mikroba dalam substrat limbah melalui proses metabolisme. Pada penelitian dilakukan pengukuran energi listrik selama 3 hari atau 72 jam bakteri terlihat masih menghasilkan energi listrik saat dilakukan pengukuran tegangan dan hambatan. Untuk menjaga kestabilan pertumbuhan bakteri, yaitu dengan memberikan nutrisi tambahan bagi bakteri substrat limbah. Grafik fase pertumbuhan mikroba secara umum dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6.** Kurva pertumbuhan mikroba

(Sumber: Gozan, 2015)

## 2.8 State Of The Art

Berbagai penelitian tentang reaktor MFC terus dilakukan pengembangan, ini bertujuan untuk mengkaji potensi penggunaan berbagai macam mikroba pada substrat limbah dalam menghasilkan energi listrik. Spesifikasi yang digunakan berbeda-beda, mulai dari pembuatan desain reaktor, penggunaan variasi konsentrasi dan jenis larutan elektrolit, penggunaan elektroda, hingga sampai pada kondisi aerob dan anaerob (Bachry, 2019). Berbagai penggunaan variasi pada reaktor MFC bertujuan untuk mencapai produksi energi listrik yang dihasilkan lebih besar, sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai komponen.

Kumalasari dkk (2019) melakukan penelitian dengan menggunakan substrat limbah domestik dan penambahan bakteri EM4 pada reaktor MFC *dual chamber* untuk menghasilkan energi listrik, hal ini dilakukan untuk melihat perolehan nilai *power density* dan penurunan konsentrasi BOD pada limbah domestik. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu nilai *power density* sebesar 0,072 mW/m<sup>2</sup> pada (hari ke 4) dan untuk penurunan kadar BOD belum memenuhi standar baku mutu.

Ibrahim dkk (2017) telah melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengukur kinerja reaktor MFC dengan menggunakan limbah cair perikanan dengan penambahan lumpur aktif bertujuan untuk menurunkan kadar pencemar limbahnya dengan menggunakan elektroda yang berbeda yaitu aluminium, besi, karbon grafit, serta dilakukan kombinasi antara aluminium dan karbon grafit dengan penggunaan metode reaktor MFC satu wadah. Hasil eksperimen selama 120 jam pengamatan menunjukkan bahwa penggunaan elektroda dari aluminium menghasilkan tegangan sebesar 0,23 Volt, penggunaan elektroda dari besi menghasilkan tegangan sebesar 0,17 Volt, penggunaan elektroda karbon grafit menghasilkan tegangan sebesar 0,19 Volt dan penggunaan gabungan elektroda aluminium dengan grafit menghasilkan voltase sebesar 0,34 Volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor MFC mampu menurunkan beban pencemaran limbah cair perikanan rata-rata total nitrogen 61%, BOD 30,11%, COD 59,34% dan amonia nitrogen 12,45%.

Utami dkk (2018) telah melakukan penelitian menggunakan reaktor MFC *dual chamber* yang dilengkapi dengan Membran Nafion 117 dan elektroda grafit, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *power density* maksimum yang dihasilkan dengan pemanfaatan substrat limbah kulit pepaya serta melihat perubahan nilai pH substrat limbah sebelum dan sesudah penggunaan. Hasil pengukuran pada tegangan listrik maksimum (hari ke 17) berturut-turut 1.095 Volt, kuat arus 1,79 Ampere dan *power density* 121,70 mW/m<sup>2</sup>. Pengukuran nilai pH selama (20 hari) mengalami kenaikan dari 3,54 menjadi 6,64.

Penelitian yang serupa telah dilakukan oleh Ramdani (2020) menggunakan substrat limbah cair tahu dengan campuran lumpur sawah menggunakan tipe separator jembatan garam pada reaktor MFC. Waktu inkubasi yang dilakukan selama 4 dan 8 hari. Dengan perbandingan variasi volume sama yakni 1:1, pada

waktu inkubasi selama 4 hari menghasilkan arus sebesar 1,261 mA pada titik jam 22. Pada waktu inkubasi selama 8 hari menghasilkan arus maksimal sebesar 1,581 mA pada titik jam 2. Pengamatan pada grafik yang dihasilkan selama waktu inkubasi tersebut stasioner, hal ini terjadi karena lamanya waktu inkubasi meningkatkan sumber senyawa organik, sehingga dimanfaatkan oleh mikroba.

Muliawati (2015) telah melakukan penelitian dengan menggunakan metode reaktor MFC dan memanfaatkan substrat dari limbah tahu, katode elektrolit diisi dengan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  dengan penggunaan variasi konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm. Penelitian dilakukan untuk dapat mengetahui pengaruh variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  terhadap kinerja reaktor MFC, energi yang dihasilkan pada variasi konsentrasi 50 ppm menghasilkan *power density* sebesar 169,50 ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ) dan penurunan kadar COD optimum pada variasi konsentrasi yang sama hingga mencapai 90,96%. Hal ini menandakan adanya pengaruh variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  pada reaktor MFC.

## 2.9 Aplikasi Energi

Energi yang dihasilkan oleh reaktor MFC tergolong masih rendah karena bahan yang digunakan berasal dari substrat limbah dan memanfaatkan bakteri sebagai biokatalis, energi listrik yang dihasilkan oleh reaktor MFC akan tetapi jika digunakan dalam skala besar dapat digunakan untuk menghidupkan benda-benda elektronik. Energi listrik dapat disimpan dengan menggunakan *power bank* jika menghasilkan energi yang cukup, secara umum perolehan kuat arus dan tegangan listrik dipengaruhi oleh aktivitas metabolisme mikroba substrat limbah serta pengaruh penggunaan variasi konsentrasi larutan elektrolit dalam menghasilkan energi listrik melalui sistem reaktor MFC.

Faktor yang mempengaruhi daya hambat adalah jarak rata-rata anoda dan katoda, ketika elektron yang dihasilkan dan dilepaskan dari anoda jarak setiap proton dalam melakukan perjalanan melewati sirkuit menuju katoda relatif cukup panjang antara anoda dan katoda memungkinkan terjadinya kehilangan elektron pada anoda. Berdasarkan energi yang dihasilkan belum dapat menghidupkan lampu LED karena pada penelitian ini dilakukan pengoperasian reaktor MFC hanya diperuntukkan untuk mengetahui kapasitas energi yang dihasilkan oleh substrat limbah cair tahu.

## BAB III

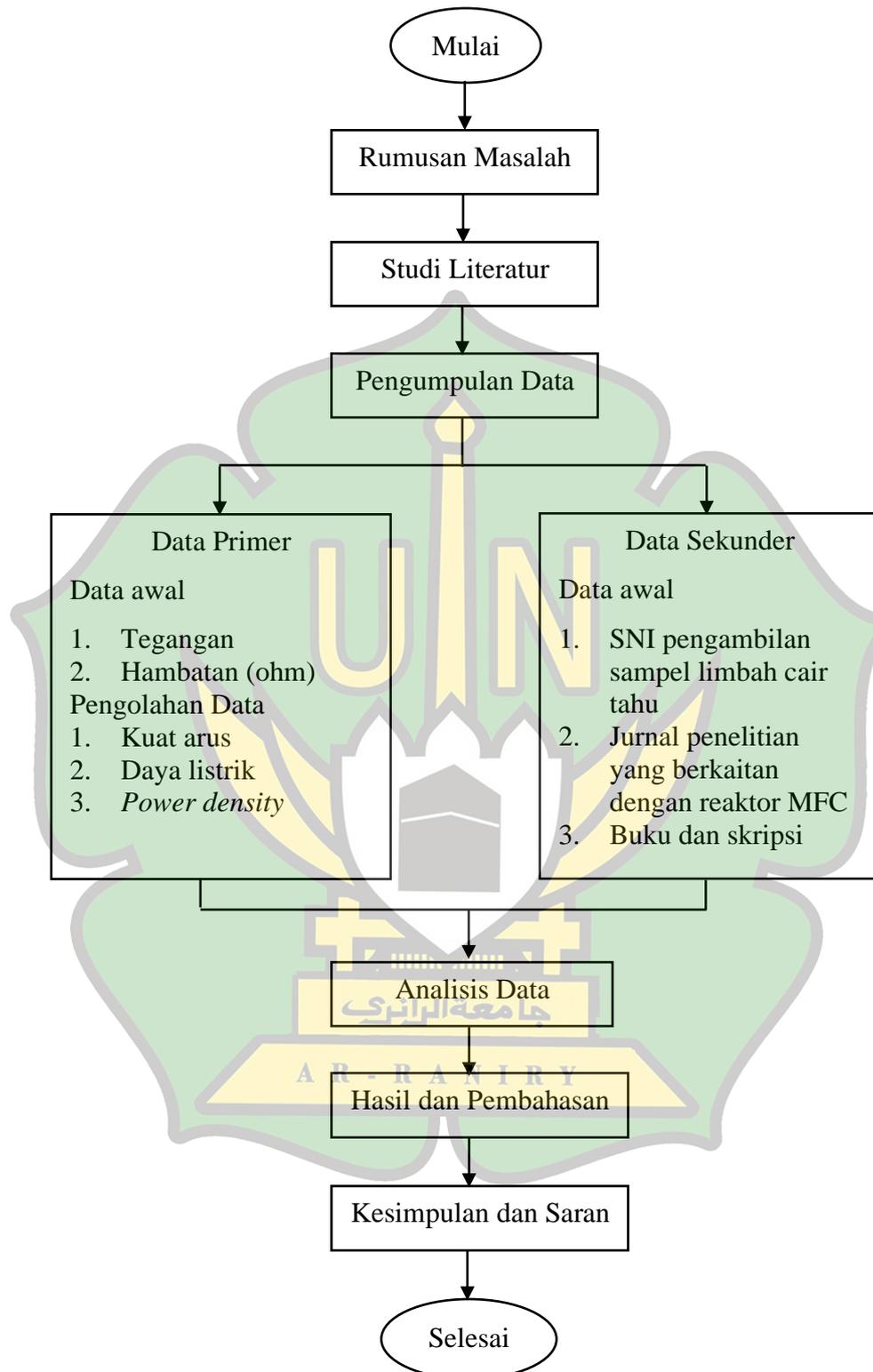
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Umum Penelitian

Tahapan umum prosedur pelaksanaan penelitian terbagi menjadi beberapa tahapan, antarlain:

1. Rumusan masalah, merupakan suatu permasalahan yang dijadikan sebagai perhatian dan menjadi titik fokus penelitian untuk mencari solusi dalam pemecahan masalah.
2. Studi literatur, merupakan proses pengumpulan data terkait dengan dampak pencemaran limbah cair tahu dan peningkatan pemakaian energi serta reverensi yang berkaitan dengan penelitian tentang reaktor MFC.
3. Tahap pengumpulan data, adalah tahapan untuk mencari data yang terkait dengan data primer berupa jumlah tegangan dan hambatan, sehingga dapat dikonversi menjadi kuat arus, daya listrik dan *power density* serta data sekunder berupa SNI pengambilan sampel limbah dan jurnal yang menjadi acuan teori untuk memperkuat pembahasan pada penelitian reaktor MFC.
4. Tahap eksperimen, merupakan tahapan untuk menilai efektivitas pengolahan limbah cair tahu menggunakan metode reaktor MFC *dual chamber* serta diberi perlakuan pada variasi waktu pengukuran energi listrik setiap jamnya.
5. Tahap analisis data, tahapan ini dilakukan apabila setelah sampel limbah cair industri tahu telah diuji dengan metode MFC berkaitan dengan hasil analisa kuat arus, tegangan, daya listrik dan *power density*, informasi data yang telah diperoleh dari hasil eksperimen nantinya akan dipergunakan untuk menarik kesimpulan.
6. Hasil dan pembahasan, merupakan hasil data produksi energi listrik dari substrat limbah pada saat dilakukan pengukuran.
7. Tahap penarikan kesimpulan dan saran, yaitu untuk dapat menjawab pertanyaan dari hasil eksperimen pengolahan susbtrat limbah cair tahu menggunakan metode reaktor MFC *dual chamber* dalam menghasilkan energi listrik.

Tahapan umum prosedur penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



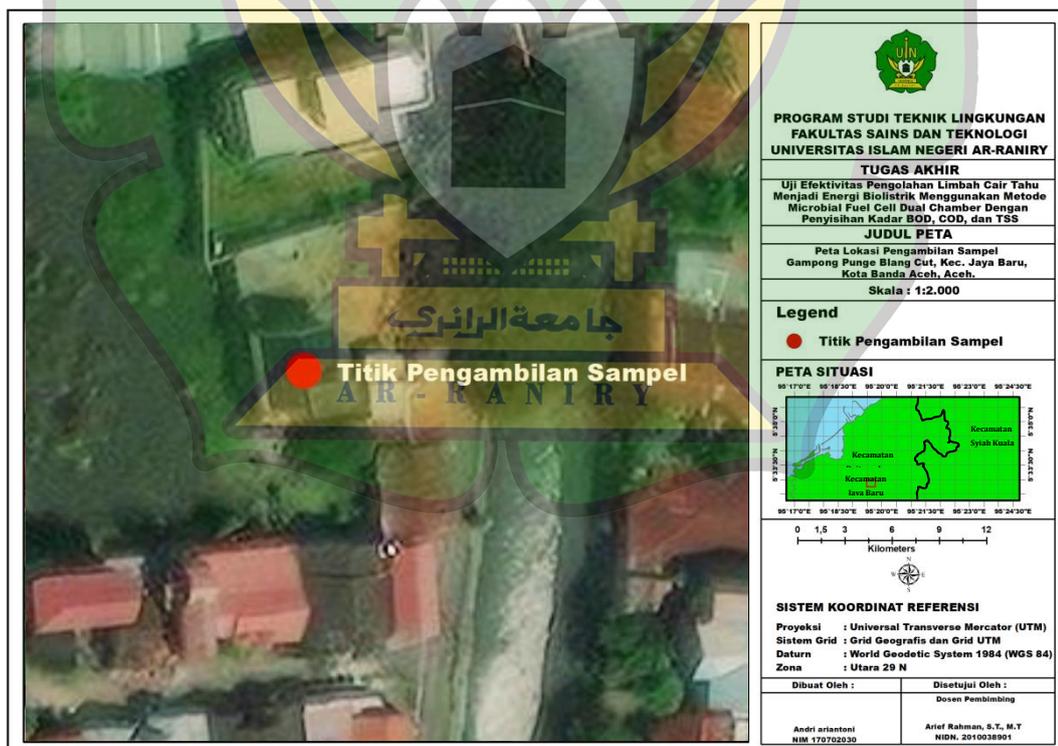
**Gambar 3.1.** Flowchart penelitian

### 3.2 Lokasi Penelitian

Eksperimen pengolahan substrat limbah cair tahu menjadi energi biolistrik dengan pengaplikasian sistem reaktor MFC *dual chamber* akan dilakukan di beberapa lokasi, yaitu:

1. Lokasi pengambilan sampel limbah cair industri tahu di Gampong Punge Blang Cut, kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh, pemilihan lokasi ini dikarenakan kondisi perairan sungai di wilayah ini kualitasnya mengalami penurunan seperti adanya bau tidak sedap, berwarna keruh, mengandung zat kimia organik, kimia anorganik dan terjadinya pendangkalan pada sedimen sungai yang berasal dari sisa-sisa residu limbah cair dari industri tahu.
2. Lokasi pembuatan dan preparasi reaktor MFC akan dilakukan di Laboratorium Multifungsi Prodi Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry, Banda Aceh.
3. Lokasi pengoperasian reaktor MFC dilakukan di Laboratorium Multifungsi Prodi Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry, Banda Aceh.

Titik lokasi pengambilan sampel limbah cair tahu dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**



**Gambar 3.2.** Lokasi pengambilan sampel limbah cair tahu

### 3.3 Teknik Pengambilan Sampel

Sampel limbah cair tahu diambil dari industri tahu solo sebanyak 15 L. Metode pengambilan sampel air limbah harus sesuai dengan berdasarkan panduan (SNI 6989-58-2008) tentang metode pengambilan contoh sampel air limbah dengan beberapa tahapan, antarlain:

1. Sampel air limbah diambil secara langsung dengan memakai botol air
2. Setelah botol terisi penuh selanjutnya sampel limbah cair dipindahkan ke dalam wadah berukuran 15 liter.
3. Pengambilan sampel air limbah harus sesuai dengan berdasarkan panduan (SNI 6989-58-2008) tentang metode pengambilan contoh sampel air limbah dengan memenuhi beberapa ketentuan, antarlain:
  - a. Wadah sampel terbuat dari bahan gelas atau plastik polietilen atau poli propilen atau teflon.
  - b. Wadah dapat ditutup kuat dan rapat.
  - c. Bersih dan terbebas kontaminan zat lain.
  - d. Wadah tidak mudah pecah jika terjatuh.
  - e. Tidak mudah berinteraksi dengan contoh sampel air limbah.

Titik pengambilan sampel limbah cair tahu berada di saluran *outlet* pembuangan limbah cair tahu dialirkan melalui gorong-gorong kecil yang terhubung dengan pipa pembuangan pinggiran sungai, saluran pembuangan limbah cair tahu dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.3.** Saluran *outlet* limbah cair tahu

### 3.4 Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Reaktor MFC dirancang dengan memiliki kapasitas dua wadah, kedua wadah tersebut berfungsi sebagai wadah anoda dan katoda, pembuatan reaktor ini dilakukan untuk mempermudah tahapan prosedur penelitian, penelitian ini diprioritaskan pada perolehan energi yang dihasilkan reaktor MFC dengan cara memanfaatkan limbah cair tahu sebagai substrat.

#### 3.4.1 Bahan

Bahan pembuatan rancangan sistem reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC) *dual chamber* dapat dilihat pada **Tabel 3.1.**

**Tabel 3.1.** Bahan pembuatan reaktor MFC *dual chamber*

| Bahan              | Jumlah | Volume  | Ukuran     | Berat  | Konsentrasi |
|--------------------|--------|---|------------|--------|-------------|
| Wadah plastik      | 2      | 1.330 ml                                      | 12x15,5 cm | -      | -           |
| Sambungan pipa     | 2      | -   | 1 cm       | -      | -           |
| Lem perekat        | 1      | -   | -          | -      | -           |
| Pipa pvc           | 1      | -   | 5 cm       | -      | -           |
| Kabel              | 2      | -   | 3 cm       | -      | -           |
| Elektroda grafit   | 2      | -   | 10 cm      | -      | -           |
| Nutrien agar       | 1      | -   | -          | 7,5 gr | -           |
| HCl                | 1      | 100 ml  | -          | -      | 1 M         |
| NaCl               | 1      | -   | -          | 100 gr | 0,1 M       |
| NaOH               | 1      | 100 ml  | -          | -      | 1 M         |
| Aquades            | 1      | 10 L  | -          | -      | -           |
| Multimeter digital | 1      | Alat pengukuran daya, kuat arus, dan tegangan |            |        |             |

#### 3.4.2 Prosedur Perancangan Reaktor MFC

Prosedur pembuatan rangkaian reaktor MFC *dual chamber*, sebagai berikut:

1. Kedua wadah dibersihkan untuk menghindari adanya kontaminan dari zat lain.
2. Kedua wadah dilubangi sesuai dengan ukuran pipa sambungan.
3. Pipa dibersihkan untuk menghindari adanya kontaminan dari zat lain yang dapat mempengaruhi hasil penelitian.
4. Jembatan garam dibuat dengan campuran nutrisi agar dan NaCl yang telah dihomogenkan pada suhu 100°C.
5. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam pipa dan diamkan sampai mengeras.
6. Selanjutnya jembatan garam disambung pada kedua wadah anoda dan katoda.
7. Kemudian diberi lem perekat di kedua sela-sela sudut sambungan pipa, agar tidak terjadi kebocoran.

8. Elektroda grafit dihubungkan pada kabel sepanjang 1 cm dan diletak pada anoda dan katoda, kemudian dihubungkan ke alat multimeter digital untuk mengukur daya, kuat arus, tegangan dan *power density* energi listrik yang diperoleh dari hasil pegoperasian reaktor MFC.

### 3.4.3 Prosedur Preparasi *Microbial Fuel Cell*

Menurut Rahmaniah dkk (2020) menyatakan bahwa sistem reaktor MFC memiliki kapasitas dua wadah yang berfungsi sebagai anoda dan katoda, kedua wadah tersebut dihubungkan oleh jembatan garam yang bertujuan untuk media transfer proton ( $H^+$ ) menuju wadah katoda, tahapan prosedur preparasi reaktor MFC, antarlain:

#### a. Preparasi jembatan garam

Jembatan garam terbuat dari campuran bahan nurien agar dan NaCl. Adapun prosedur pembuatan jembatan garam, sebagai berikut:

1. Tambahkan nutrien agar ke dalam larutan NaCl 0,1 M.
2. Selanjutnya dididihkan hingga mencapai suhu  $100^{\circ}C$ .
3. Kemudian larutan dituangkan ke dalam pipa dan didiamkan hingga mengeras.

Panjang jembatan garam dibuat dengan ukuran panjang 5 cm. Semakin pendek ukuran jembatan garam yang digunakan, maka akan semakin besar energi yang diproduksi oleh reaktor MFC (Rahmah dkk, 2020).

#### b. Preparasi elektroda grafit

Prosedur preparasi elektroda dilakukan dengan tahapan, sebagai berikut:

1. Siapkan dua buah elektroda grafit berukuran (10 mm x 10 cm).
2. Elektroda dibersihkan dan direndam pada larutan HCl 1 M selama 24 jam.
3. Setelah perendaman selesai selanjutnya elektroda dibilas dengan aquades.
4. Elektroda direndam kembali pada larutan NaOH 1 M selama 24 jam.
5. Selanjutnya elektroda dibilas dengan aquades hingga pH elektroda netral.
6. Untuk menjaga pH tetap netral, elektroda direndam kembali menggunakan aquades hingga akan digunakan pada saat reaktor MFC dioperasikan.

Elektroda yang digunakan di setiap kompartemen adalah elektroda grafit, elektroda terbuat dari batangan karbon aktif yang memiliki luas permukaan  $33 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  dengan diameter 10 mm dan panjang 10 cm. Sebelum digunakan elektroda terlebih dahulu direndam dalam larutan HCl 1 M dan NaOH 1 M.

Kemudian selanjutnya elektroda disimpan dalam rendaman aquades. Hal ini dilakukan untuk tujuan meregenerasi elektroda dan menghilangkan kontaminan yang berasal dari logam dan bahan organik.

c. Preparasi *microbial fuel cell*

Kedua wadah reaktor MFC terbuat dari bahan plastik yang memiliki standar SNI, pemilihan wadah berstandar SNI bertujuan untuk menilai kualitas wadah plastik agar tidak mudah rusak. Reaktor MFC memiliki kompartemen dua wadah yang berfungsi sebagai wadah anoda dan wadah katoda di kedua kompartemen tersebut dipasang dua buah elektroda grafit, pada wadah anoda dipasang penutup yang bertujuan untuk mencegah oksigen masuk, sedangkan wadah katoda penutup wadah diberi lubang. Pada penelitian ini digunakan dua wadah dengan kapasitas volume 1.330 ml dengan ukuran wadah (12 x 12 x 15,5 cm). Diantara kedua wadah tersebut terdapat lubang dengan diameter 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> cm dan akan dihubungkan oleh jembatan garam sebagai penetral antar muatan, selanjutnya elektroda grafit dirangkai menggunakan kabel dan dimasukkan ke dalam wadah reaktor MFC, kabel dihubungkan ke multimeter digital untuk mengukur kapasitas produksi kuat arus, tegangan, daya listrik, dan *power density* yang dihasilkan.

Pada literatur penelitian Andika dan Sudarlin (2020) telah melakukan uji eksperimen dengan menggunakan metode sistem reaktor MFC *dual chamber*, wadah tersebut terbuat dari bahan plastik sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) kapasitas volume 800 ml, wadah plastik difungsikan sebagai ruang anoda dan katoda. Kedua wadah dihubungkan oleh jembatan garam, bertujuan untuk menjaga kenetralan antar muatan anoda dan katoda. Reaktor MFC dapat menghasilkan energi listrik dengan kapasitas yang tergolong masih rendah. Alat reaktor MFC *dual chamber* dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.4.** Alat reaktor MFC *dual chamber*

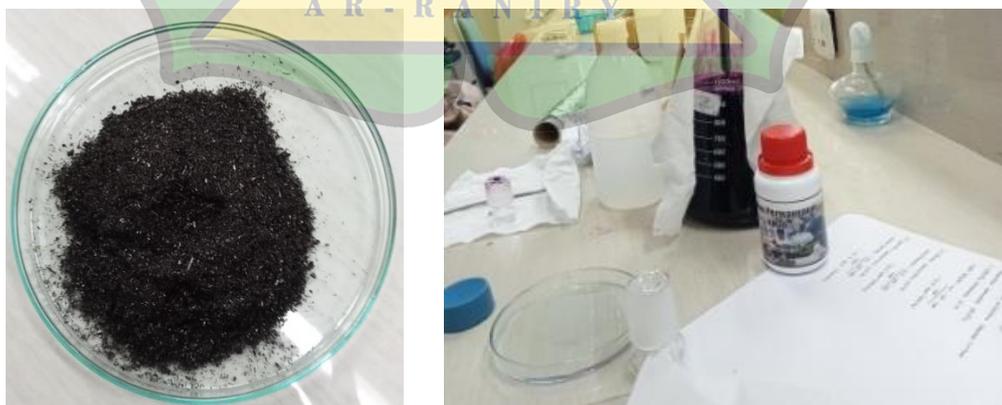
### 3.4.4 Prosedur Preparasi Larutan $\text{KMnO}_4$

Kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) merupakan bahan yang mengandung ion  $\text{K}^+$  dan  $\text{MnO}_4^-$ , senyawa ini memiliki kemampuan pengoksidasi yang kuat. Bahan ini akan menghasilkan warna merah muda atau ungu yang intens saat dilarutkan dalam air,  $\text{KMnO}_4$  sering digunakan untuk bahan pengobatan berbagai jenis penyakit serta dapat digunakan sebagai pereaksi untuk sintesis senyawa organik. Untuk membuat konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M dapat dilihat pada lampiran perhitungan.

Klasifikasi bahan  $\text{KMnO}_4$

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Rumus kimia                        | : $\text{KMnO}_4$                                    |
| Merek                              | : Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany               |
| Massa molar                        | : 158,034 g/mol                                      |
| Bentuk/tampilan                    | : Padatan serbuk/keunguan magenta rose dalam larutan |
| Bau                                | : Tidak berbau                                       |
| Densitas                           | : 2,703 g/cm <sup>3</sup>                            |
| Titik lebur                        | : 240°C (464°F; 513 K) (terdekomposisi)              |
| Kelarutan dalam air                | : 6,4 g/100 ml (20°C) 250 g/l (65°C)                 |
| Kelarutan                          | : Terdekomposisi dalam alkohol dan pelarut organik   |
| Suseptibilitas magnetik ( $\chi$ ) | : $+20,0 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol}$     |
| Indeks bias ( $n_D$ )              | : 1,59   |

Karakteristik bahan kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) saat sebelum dan setelah dilarutkan dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



(a)

(b)

**Gambar 3.5.** Bahan  $\text{KMnO}_4$  (a). Sebelum dilarutkan, (b). Setelah dilarutkan

### 3.5 Prosedur Eksperimen

Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif untuk mendeskripsikan hasil analisis data eksperimen yang diperoleh dari hasil data pengukuran tegangan dan hambatan untuk memperoleh data kuat arus, daya listrik dan *power density* pada saat dilakukan pengolahan substrat limbah cair tahu menjadi energi biolistrik menggunakan metode reaktor MFC *dual chamber*.

#### 3.5.1 Alat dan Bahan

Penggunaan jenis alat dan bahan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.2.**

**Tabel 3.2.** Alat dan bahan

| Alat dan bahan                  | Volume   | Konsentrasi Larutan     |
|---------------------------------|----------|-------------------------|
| Reaktor MFC <i>dual chamber</i> | 1.330 ml |                         |
| Limbah Cair Tahu                | 15 liter | 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M |
| KMnO <sub>4</sub>               | 100 gr   |                         |

#### 3.5.2 Prosedur Eksperimen MFC

Prosedur eksperimen menggunakan reaktor MFC *dual chamber* dengan volume 1.000 ml, jembatan garam sebagai penghubung antara anoda dan katoda. Substrat limbah cair tahu yang digunakan sebanyak 1.000 ml dimasukkan ke dalam wadah anoda yang telah dilengkapi dengan elektroda grafit, sedangkan larutan KMnO<sub>4</sub> variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M sebanyak 1.000 ml dimasukkan ke dalam wadah katoda. Prosedur ini dilakukan untuk mengetahui jumlah nilai produksi energi yang dihasilkan reaktor MFC dengan menggunakan alat ukur multimeter digital, pengukuran dilakukan selama 3 hari pada variasi waktu selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam.

#### 3.5.3 Prosedur Penggunaan Substrat Limbah

Prosedur eksperimen menggunakan reaktor MFC *dual chamber* dengan cara memanfaatkan aktivitas mikroba dan kandungan protein pada substrat limbah cair tahu, cara ini dilakukan untuk mengetahui jumlah produksi energi listrik yang dihasilkan dari substrat limbah cair tahu, yaitu:

1. Siapkan sampel limbah cair tahu sebanyak 15 liter dan variasi konsentrasi larutan KMnO<sub>4</sub> 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M sebanyak 1 liter.
2. Substrat limbah dimasukkan ke dalam wadah anoda sebanyak 1 liter.

3. Larutan elektrolit dimasukkan ke dalam wadah reaktor katoda dengan penggunaan variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M.
4. Dilakukan pengukuran voltase dan hambatan agar dapat menghasilkan nilai kuat arus, daya listrik dan *power density*.
5. Pereduksi kuat arus dan tegangan listrik diukur selama waktu pengoperasian reaktor MFC pada variasi waktu pengukuran selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam pada pengukuran pertama dilakukan selama 4 jam dengan rincian waktu pengukuran selama 1 jam sekali, pada pengukuran kedua dilakukan selama 8 jam dengan rincian waktu pengukuran selama 2 jam sekali, dan pengukuran ketiga dilakukan selama 12 jam dengan rincian waktu pengukuran selama 3 jam sekali selama pengoperasian reaktor MFC.
6. Data yang diperoleh akan diplotkan membentuk kurva X (waktu/jam) dan sumbu Y (jumlah data energi listrik).
7. Prosedur diulangi dengan penggunaan larutan  $\text{KMnO}_4$  variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M.

#### 3.5.4 Pengoperasian Reaktor MFC

Pada pengujian reaktor MFC bahan yang akan digunakan berupa limbah cair tahu dan larutan  $\text{KMnO}_4$ , reaktor yang telah selesai dibuat sebelumnya selanjutnya dilakukan pengoperasian dengan menggunakan variasi waktu dan konsentrasi larutan elektrolit. Reaktor MFC memiliki dua wadah yang dihubungkan oleh jembatan garam, jembatan garam berfungsi untuk menjaga kestabilan antar muatan proton ( $\text{H}^+$ ). Variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M akan dimasukkan dalam wadah katoda, pada tiap-tiap konsentrasi larutan elektrolit tersebut dibuat dengan rumus perhitungan molaritas larutan. Rumus penentuan jumlah molaritas.

Rumus molaritas larutan

$$M = \frac{g}{M_r} \times \frac{1.000}{V} \quad (3.1)$$

Keterangan :

M : Molaritas

g : Massa zat terlarut

V : Massa zat pelarut

$M_r$  : Massa molekul relatif

Setelah penentuan jumlah molaritas larutan, selanjutnya dilakukan uji pengoperasian reaktor MFC dengan menggunakan limbah cair tahu sebanyak 1.000 ml dan variasi konsentrasi larutan elektrolit 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M. Larutan elektrolit yang digunakan sebanyak 1.000 ml, reaktor MFC dioperasikan dengan variasi waktu selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam, selama pengoperasian MFC berlangsung akan dilakukan perhitungan jumlah muatan listrik yang dihasilkan dari substrat limbah dengan menggunakan alat multimeter digital yang dipasang dengan cara menjepit kabel penjepit buaya dikedua kabel listrik yang sebelumnya telah tersambung pada elektroda grafit. Selama pengoperasian reaktor MFC akan dilakukan pengecekan data tegangan dan hambatan agar dapat memperoleh data kuat arus, daya dan *power density* yang dihasilkan reaktor MFC dengan rincian waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

### 3.5.5 Pengukuran Energi Listrik

Perlakuan pengukuran energi listrik berupa data tegangan dan hambatan (ohm) pada reaktor MFC agar dapat menghasilkan produksi energi listrik, tahapan pengukuran dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut:



**Gambar 3.6.** Diagram alir pengukuran energi listrik

Langkah kerja pada saat dilakukan proses pengukuran kuat arus dan tegangan listrik dari limbah cair tahu dapat dilakukan dengan melalui tahapan berikut:

1. Wadah anoda dan katoda dihubungkan oleh jembatan garam yang terbuat dari campuran bahan nutrisi agar dan NaCl.
2. Selanjutnya elektroda grafit dihubungkan menggunakan kabel pada masing-masing wadah anoda dan katoda.
3. Selanjutnya rangkaian kabel pada anoda dan katoda dihubungkan pada alat multimeter digital untuk mengukur jumlah tegangan dan hambatan (ohm).

4. Selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan rumus kuat arus, tegangan, daya listrik dan *power density*.
5. Kemudian akan diperoleh energi listrik maksimum.

Instrumen pengukur kuat arus listrik dan tegangan listrik menggunakan *Digital Multimeter* Heles tipe UX-389 sistem ini memiliki pengukuran arus AC dan arus DC serta memiliki hambatan sekitar  $200\ \Omega$ - $200\ \text{k}\Omega$ . Alat pengukuran multimeter digital dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.7.** Multimeter digital UX-389

Sensitivitas pengukuran multimeter digital UX-389 mencapai  $20\ \text{M}$  (ohm)/Volt pada pengukuran searah bolak-balik, menurut Matrias (2017) menyatakan bahwa pada pengukuran tegangan arus bolak-balik dan searah, perlu memperhatikan sensitivitas meter yang dinyatakan dalam ohm/Volt. Sensitivitas pengukuran tegangan arus bolak-balik lebih rendah dari pada sensitivitas pengukur tegangan searah.

### 3.5.6 Pengukuran Energi Variasi Konsentrasi $\text{KMnO}_4$

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui perolehan energi listrik yang dihasilkan dari limbah tersebut, berikut merupakan prosedur pengukuran energi listrik pada variasi konsentrasi larutan elektrolit, antarlain:

1. Dilakukan penambahan larutan  $\text{KMnO}_4$  dengan variasi konsentrasi larutan  $0,1\ \text{M}$ ,  $0,15\ \text{M}$  dan  $0,2\ \text{M}$  pada wadah katoda.
2. Kemudian dilakukan pengukuran menggunakan multimeter digital dengan variasi waktu pengukuran selama 4 jam (pengukuran pertama), 8 jam (pengukuran kedua) dan selama 12 jam (pengukuran ketiga).
3. Diperoleh nilai energi listrik optimum berupa kuat arus, tegangan, daya listrik dan *power density* dari limbah cair tahu selama pengoperasian reaktor MFC.

Penggunaan variasi konsentrasi larutan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  dilihat pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3.** Pengukuran energi variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$

| Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ | Waktu Pengoperasian MFC | Rincian Waktu Pengukuran Energi Listrik |
|-----------------------------|-------------------------|---|
| 0,1 M                       | 4 Jam                   | 1 Jam                                   |
|                             |                         | 2 Jam                                   |
|                             |                         | 3 Jam                                   |
|                             |                         | 4 Jam                                   |
| 0,15 M                      | 8 Jam                   | 2 Jam                                   |
|                             |                         | 4 Jam                                   |
|                             |                         | 6 Jam                                   |
|                             |                         | 8 Jam                                   |
| 0,2 M                       | 12 Jam                  | 3 Jam                                   |
|                             |                         | 6 Jam                                   |
|                             |                         | 9 Jam                                   |
|                             |                         | 12 Jam                                  |

### 3.5.7 Pengukuran Energi Variasi Waktu

Berikut merupakan pengukuran energi berdasarkan penggunaan variasi waktu pengoperasian sistem reaktor MFC, sebagai berikut:

1. Pengukuran energi dilakukan pada saat dilakukan pengoperasian reaktor MFC dengan menggunakan substrat limbah cair tahu pada wadah anoda dan variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M pada wadah katoda.
2. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan dan hambatan dengan alat multimeter digital pada variasi waktu operasi pertama (4 jam), operasi kedua (8 jam) dan operasi ketiga (12 jam).
3. Data tegangan dan hambatan yang diperoleh sebelumnya akan dilakukan perhitungan menggunakan rumus kuat arus, tegangan, daya listrik dan *power density*, selanjutnya diperoleh waktu operasi optimum sistem reaktor MFC.

Pengukuran jumlah energi listrik penggunaan variasi waktu pada saat pengoperasian reaktor MFC dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

**Tabel 3.4.** Pengukuran energi variasi waktu pengoperasian

| Volume Substrat | Variasi Waktu Pengoperasian Sistem MFC |                 |                 |
|-----------------|--|-----------------|-----------------|
|                 | Pengoperasian 1                        | Pengoperasian 2 | Pengoperasian 3 |
| 1.000 ml        | 4 jam                                  | 8 jam           | 12 jam          |

### 3.5.8 Parameter Penentu Kemampuan MFC

Pada penelitian Ghazali dkk (2018) setelah dilakukan pembuatan dan penambahan substrat pada sistem reaktor MFC, selanjutnya dilakukan pengukuran jumlah kuat arus dan tegangan listrik setiap 24 jam sekali selama 7 hari menggunakan alat avometer. Menurut Naik dan Jujjavarappu (2018) menyatakan bahwa jumlah arus listrik ditentukan oleh muatan listrik mengalir persatuan waktu. Pada penelitian Ibrahim dkk (2022) menggunakan reaktor MFC dua wadah dapat menghasilkan energi listrik berupa kuat arus, tegangan dan daya listrik. daya yang dihasilkan oleh sistem rektor MFC bergantung pada tahapan proses reaksi baik secara biologi maupun secara elektrokimia. Rumus perhitungan jumlah produksi energi dari pengoperasian reaktor MFC dilihat pada **Tabel 3.5**.

**Tabel 3.5.** Rumus perhitungan energi listrik

| No | Rumus   | Keterangan  |
|----|---|---|
| 1. | Kuat arus (mA)<br>$I = \frac{V}{R}$                                 | I : Kuat arus listrik (mA)<br>V : Tegangan listrik (mV)<br>R : Hambatan (Ohm)                             |
| 2. | Daya listrik (watt)<br>$P = V \times I$                             | P : Daya listrik (watt)<br>V : Tegangan listrik (mV)<br>I : Kuat arus listrik (mA)                        |
| 3. | <i>Power density</i> (mW/m <sup>2</sup> )<br>$\frac{I \times V}{A}$ | I : Kuat arus listrik (mA)<br>V : Tegangan listrik (mV)<br>A : Luas permukaan elektroda (m <sup>2</sup> ) |

Energi biolistrik diperoleh dari hasil data pengukuran tegangan dan hambatan yang dihasilkan oleh reaktor MFC berdasarkan perolehan produksi energi yang terbaca pada alat multimeter digital UX-389. Energi yang diproduksi reaktor MFC secara langsung dilakukan pengukuran menggunakan multimeter digital untuk memperoleh hasil data tegangan dan hambatan yang diproduksi oleh reaktor MFC, dari hasil perolehan data ini dapat digunakan untuk mencari besaran arus listrik, daya listrik dan *power density*, *power density* dapat dihitung berdasarkan perolehan data kuat arus (mA) dan tegangan listrik (mV) dibagi dengan luas permukaan elektroda grafit (m<sup>2</sup>) akan menjadi satuan (mW/m<sup>2</sup>).

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Data Kuat Arus Listrik

Perolehan jumlah data arus listrik diukur menggunakan multimeter digital, penggunaan multimeter digital ini bertujuan untuk menjaga akurasi data jumlah arus listrik yang dihasilkan oleh reaktor MFC, pengukuran kuat arus listrik yang dihasilkan oleh reaktor MFC berlangsung selama 3 hari berturut turut berdasarkan variasi waktu pengukuran selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam serta penggunaan variasi konsentrasi larutan elektolit  $\text{KMnO}_4$  0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M. Jumlah data pengukuran arus listrik dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1.** Data hasil perolehan kuat arus listrik

| Kosentrasi Elektrolit | Waktu (Jam)             | Kuat Arus Listrik (mA) |              |              |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------|--------------|
|                       |                         | Hari 1                 | Hari 2       | Hari 3       |
| 0,1 M                 | 1                       | 47,30                  | 74,40        | 89,46        |
|                       | 2                       | 65,65                  | 74,59        | 97,14        |
|                       | 3                       | 70,88                  | 71,68        | 64,63        |
|                       | 4                       | 75,55                  | 95,00        | 80,25        |
|                       | <b>Jumlah Rata-rata</b> | <b>64,85</b>           | <b>78,92</b> | <b>82,87</b> |
| 0,15 M                | 2                       | 76,29                  | 76,99        | 75,69        |
|                       | 4                       | 75,99                  | 76,66        | 75,80        |
|                       | 6                       | 76,34                  | 76,73        | 87,24        |
|                       | 8                       | 76,45                  | 78,39        | 77,35        |
|                       | <b>Jumlah Rata-rata</b> | <b>76,27</b>           | <b>77,20</b> | <b>79,02</b> |
| 0,2 M                 | 3                       | 78,90                  | 76,45        | 81,98        |
|                       | 6                       | 77,42                  | 77,90        | 83,74        |
|                       | 9                       | 77,56                  | 77,36        | 101,53       |
|                       | 12                      | 79,91                  | 78,56        | 107,91       |
|                       | <b>Jumlah Rata-rata</b> | <b>78,45</b>           | <b>77,57</b> | <b>93,79</b> |

Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,1 M di hari 1 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 64,85 mA, hari 2 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 78,92 mA, dan hari 3 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar

82,87 mA. Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,15 M di hari 1 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 76,27 mA, hari 2 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 77,20 mA dan hari 3 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 79,02 mA. Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M di hari 1 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 78,45 mA, hari 2 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 77,57 mA dan hari 3 menghasilkan kuat arus listrik rata-rata sebesar 93,79 mA.

#### 4.1.2 Data Tegangan Listrik

Tegangan listrik yang dihasilkan berupa hasil dari penjumlahan data kuat arus listrik dan hambatan menggunakan rumus perhitungan tegangan listrik, sehingga diperoleh data tegangan listrik pada tiap-tiap variasi waktu pengukuran. Pengukuran kuat arus listrik dan hambatan yang dihasilkan oleh reaktor MFC berlangsung selama 3 hari berturut turut berdasarkan variasi waktu pengukuran selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam pada saat pengoperasian reaktor MFC dengan menggunakan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M. Hasil analisis data pengukuran tegangan listrik dapat dilihat pada **Tabel 4.2.**

**Tabel 4.2.** Data hasil perolehan tegangan listrik

| Kosentrasi Elektrolit   | Waktu (Jam) | Tegangan Listrik (mV) |            |              |
|-------------------------|-------------|-----------------------|------------|--------------|
|                         |             | Hari 1                | Hari 2     | Hari 3       |
| 0,1 M                   | 1           | 421                   | 651        | 942          |
|                         | 2           | 539                   | 552        | 510          |
|                         | 3           | 521                   | 853        | 413          |
|                         | 4           | 578                   | 779        | 516          |
| <b>Jumlah Rata-rata</b> |             | <b>515</b>            | <b>709</b> | <b>595</b>   |
| 0,15 M                  | 2           | 513                   | 619        | 632          |
|                         | 4           | 573                   | 601        | 642          |
|                         | 6           | 571                   | 597        | 622          |
|                         | 8           | 607                   | 595        | 659          |
| <b>Jumlah Rata-rata</b> |             | <b>566</b>            | <b>603</b> | <b>639</b>   |
| 0,2 M                   | 3           | 718                   | 789        | 887          |
|                         | 6           | 713                   | 807        | 927          |
|                         | 9           | 723                   | 803        | 1.126        |
|                         | 12          | 728                   | 810        | 1.200        |
| <b>Jumlah Rata-rata</b> |             | <b>721</b>            | <b>802</b> | <b>1.035</b> |

Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,1 M di hari 1 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 515 mV, hari 2 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 709 mV dan hari 3 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 595 mV. Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,15 M di hari 1 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 566 mV, hari 2 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 603 mV dan hari 3 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 639 mV. Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M di hari 1 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 721 mV, hari 2 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 802 mV dan hari 3 menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 1.035 mV.

#### 4.1.3 Data Daya Listrik

Daya listrik yang dihasilkan pada saat pengoperasian reaktor MFC dapat diketahui dengan cara melakukan penjumlahan data kuat arus listrik dan voltase listrik dengan menggunakan rumus daya listrik. Hasil data pengukuran daya listrik yang dihasilkan reaktor MFC dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4.3.** Data hasil perolehan daya listrik

| Konsentrasi Elektrolit  | Waktu (Jam) | Daya Listrik (mW) |            |            |
|-------------------------|-------------|-------------------|------------|------------|
|                         |             | Hari 1            | Hari 2     | Hari 3     |
| 0,1 M                   | 1           | 199               | 484        | 843        |
|                         | 2           | 354               | 412        | 495        |
|                         | 3           | 369               | 611        | 267        |
|                         | 4           | 437               | 740        | 414        |
| <b>Jumlah Rata-rata</b> |             | <b>340</b>        | <b>562</b> | <b>505</b> |
| 0,15 M                  | 2           | 405               | 476        | 478        |
|                         | 4           | 435               | 461        | 481        |
|                         | 6           | 436               | 458        | 543        |
|                         | 8           | 464               | 466        | 510        |
| <b>Jumlah Rata-rata</b> |             | <b>435</b>        | <b>465</b> | <b>503</b> |
| 0,2 M                   | 3           | 567               | 603        | 727        |
|                         | 6           | 552               | 629        | 771        |
|                         | 9           | 561               | 621        | 1.143      |
|                         | 12          | 582               | 636        | 1.295      |
| <b>Jumlah Rata-rata</b> |             | <b>566</b>        | <b>622</b> | <b>984</b> |

Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,1 M di hari 1 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 340 mW, hari 2 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 562 mW, dan hari 3 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 505 mW. Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,15 M di hari 1 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 435 mW, hari 2 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 465 mW, dan hari 3 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 503 mW. Pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M di hari 1 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 566 mW, hari 2 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 622 mW dan hari 3 menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 984 mW.

#### 4.1.4 Power Density

*Power density* dapat diartikan sebagai kerapatan daya yang dihasilkan ketika telah mendapatkan nilai kuat arus listrik maksimum dan tegangan listrik maksimum dengan penggunaan variasi larutan elektrolit dengan bahan  $\text{KMnO}_4$ , maka dapat dilakukan perhitungan nilai *power density* yang dihasilkan reaktor MFC. Menurut Rahmaniah (2020) menyatakan bahwa *power density* merupakan daya listrik yang dihasilkan per luas permukaan elektroda. Elektroda yang digunakan berupa elektroda grafit yang terbuat dari bahan karbon aktif yang telah diaktivasi dengan larutan HCl 1 M dan NaOH 1 M dan memiliki luas permukaan elektroda  $0,0033 \text{ m}^2$  atau  $10^{-3} \times 33 \text{ m}^2$ . Rumus perhitungan *power density* dapat dilihat pada persamaan 4.1.

$$\text{Power density (Mw/m}^2\text{)} = \frac{I \text{ (mA)} \times V \text{ (volt)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \quad (4.1)$$

Keterangan:

I : Kuat arus (mA)

V : voltase (mV)

A : Luas permukaan elektroda ( $\text{m}^2$ )

Nilai *power density* yang dapat dihasilkan selama pengoperasian reaktor MFC dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.4.** Perolehan nilai *power density*

| Konsentrasi<br>$\text{KMnO}_4$ | Waktu | <i>Power Density (mW/m<sup>2</sup>)</i> |        |        |
|--------------------------------|-------|---|--------|--------|
|                                |       | Hari                                    |        |        |
|                                |       | 1                                       | 2      | 3      |
| 0,1 M                          | 1 jam | 6,034                                   | 14,677 | 25,537 |

|        |                         |              |              |              |
|--------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
|        | 2 jam                   | 10,773       | 12,477       | 15,013       |
|        | 3 jam                   | 10,997       | 18,528       | 8,089        |
|        | 4 jam                   | 13,233       | 22,426       | 12,548       |
|        | <b>Jumlah Rata-rata</b> | <b>10,26</b> | <b>16,98</b> | <b>15,30</b> |
| 0,15 M | 2 jam                   | 12,276       | 14,441       | 14,496       |
|        | 4 jam                   | 13,195       | 13,961       | 14,591       |
|        | 6 jam                   | 13,209       | 13,881       | 16,443       |
|        | 8 jam                   | 14,062       | 14,134       | 15,447       |
|        | <b>Jumlah Rata-rata</b> | <b>13,17</b> | <b>14,10</b> | <b>15,24</b> |
| 0,2 M  | 3 jam                   | 16,949       | 18,279       | 22,035       |
|        | 6 jam                   | 16,727       | 18,927       | 23,371       |
|        | 9 jam                   | 16,993       | 18,824       | 34,643       |
|        | 12 jam                  | 17,629       | 19,283       | 39,240       |
|        | <b>Jumlah Rata-rata</b> | <b>17,07</b> | <b>18,80</b> | <b>29,82</b> |

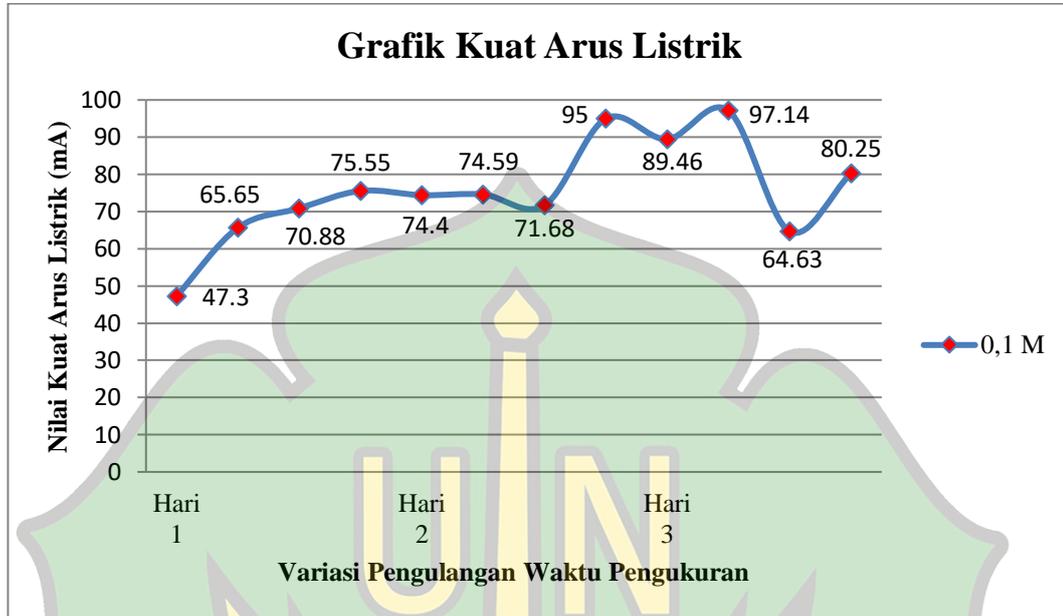
Dapat dilihat pada tabel 4.4 nilai *power density* maksimum yang dihasilkan oleh reaktor MFC pada penambahan bahan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  konsentrasi 0,1 M dapat dilihat di (hari 1) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 13,233  $\text{mW/m}^2$ , di (hari 2) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 22,426  $\text{mW/m}^2$ , di (hari 3) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 25,237  $\text{mW/m}^2$ , penambahan bahan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  konsentrasi 0,15 M dapat dilihat di (hari 1) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 14,062  $\text{mW/m}^2$ , di (hari 2) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 14,441  $\text{mW/m}^2$ , di (hari 3) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 16,443  $\text{mW/m}^2$ , penambahan bahan elektrolit  $\text{KMnO}_4$  konsentrasi 0,2 M dapat dilihat di (hari 1) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 17,629  $\text{mW/m}^2$ , di hari 2 menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 19,283  $\text{mW/m}^2$ , di (hari 3) menghasilkan nilai *power density* maksimum sebesar 39,240  $\text{mW/m}^2$ .

Perolehan nilai *power density* maksimum berada di hari ke 3 dengan penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M di hari ke 3 mikroba telah mencapai fase stasioner, fase stasioner merupakan fase puncak pertumbuhan mikroba semakin banyak jumlah pertumbuhan mikroba maka, semakin besar energi yang diproduksi berupa proton ( $\text{H}^+$ ) dan elektron ( $\text{e}^-$ ) melalui aktivitas metabolisme mikroba pada sistem reaktor MFC.

## 4.2 Pembahasan

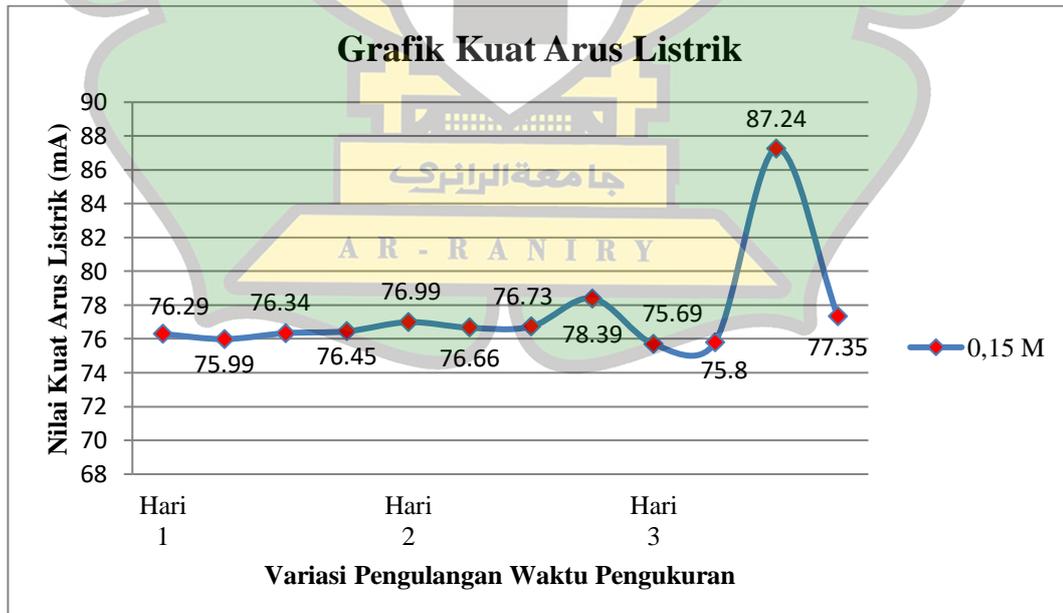
### 4.2.1 Kuat Arus Listrik

Grafik perubahan jumlah kuat arus listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,1 M dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



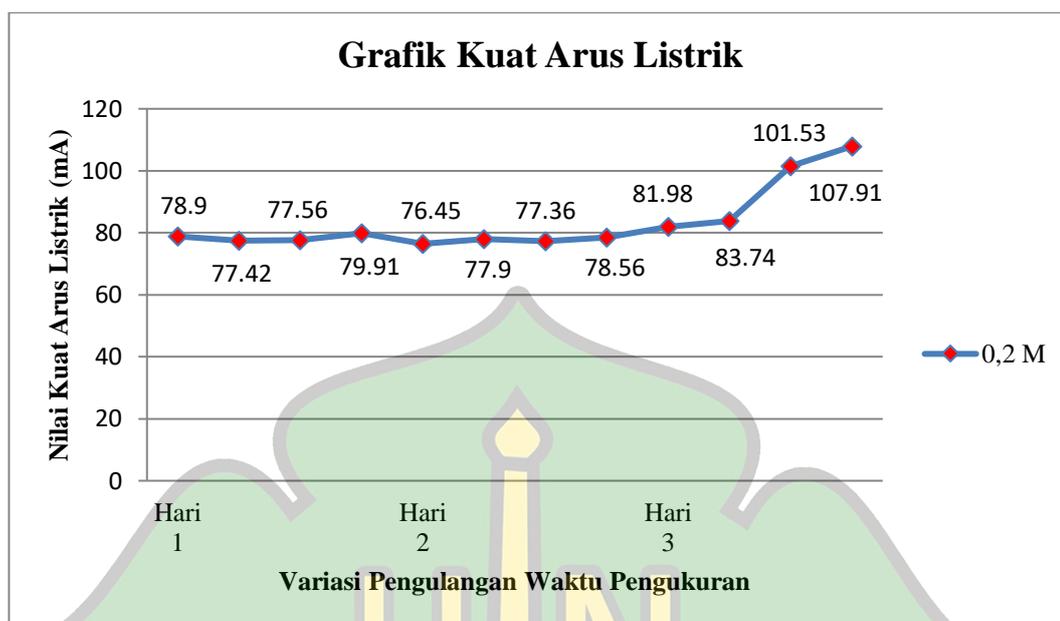
**Gambar 4.1.** Perubahan kuat arus listrik konsentrasi 0,1 M

Grafik perubahan jumlah kuat arus listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,15 M dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.2.** Perubahan kuat arus listrik konsentrasi 0,15 M

Grafik perubahan jumlah kuat arus listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



**Gambar 4.3.** Perubahan kuat arus listrik konsentrasi 0,2 M

Peningkatan jumlah arus listrik diduga karena dipengaruhi oleh jumlah peningkatan populasi bakteri yang berada di dalam wadah anoda, semakin banyak jumlah populasi bakteri maka akan semakin cepat proses penguraian substrat limbah cair tahu. Bakteri akan melepaskan senyawa biokimia yang dikonversi menjadi energi berupa proton ( $H^+$ ) dan elektron ( $e^-$ ) sehingga kuat arus yang dihasilkan dapat meningkat, hal ini sesuai dengan penelitian Bachry (2019) semakin bertambahnya jumlah sel bakteri dalam wadah anoda dapat memungkinkan semakin banyak menghasilkan jumlah proton dan elektron dari aktivitas metabolisme bakteri hingga arus listrik yang dihasilkan semakin besar.

Dapat dilihat pada grafik diatas kuat arus listrik yang di produksi mengalami peningkatan secara fluktuatif saat dilakukan pengukuran di hari 1, hari 2 dan hari 3. Peningkatan kuat arus listrik secara fluktuatif ini terjadi karena dipengaruhi oleh hambatan dan voltase listrik dari pengukuran sebelumnya, kuat arus yang dihasilkan berasal dari proses metabolisme bakteri ini sejalan dengan penelitian Zahara (2011) melibatkan peningkatan aktivitas metabolisme dari bakteri *Saccharomyces cerevisiae* dengan menggunakan substrat glukosa, sejalan dengan berkurangnya jumlah glukosa maka tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan akan semakin berkurang.

Pengamatan analisis data pengukuran kuat arus listrik yang dihasilkan pada (hari ke 1, hari ke 2 dan hari ke 3) konsentrasi elektrolit 0,1 M menghasilkan kuat arus listrik sebesar 47,30 mA hingga 97,14 mA, pada (hari ke 1, hari ke 2 dan hari ke 3) konsentrasi elektrolit 0,15 M menghasilkan kuat arus listrik sebesar 76,29 mA hingga 87,24 mA, pada (hari ke-1, hari ke-2 dan hari ke-3) menghasilkan kuat arus listrik sebesar 78,90 mA hingga 107,91 mA. Kuat arus listrik maksimum yang dihasilkan oleh reaktor MFC mencapai 107, 91 mA pada saat dilakukan pengukuran kuat arus listrik di hari ke 3 dengan konsentrasi elektrolit 0,2 M.

Pengoperasian reaktor MFC dilakukan selama 3 hari berturut-turut pada penggunaan variasi waktu 4 jam, 8 jam dan 12 jam, saat dilakukan pengoperasian MFC menghasilkan jumlah kuat arus listrik minimum sebesar 47,64 mA kuat arus yang diperoleh akan bertambah secara fluktuatif karena dipengaruhi oleh fase hidup bakteri. Hal ini sejalan dengan penelitian Bachry (2019) menyatakan bahwa bakteri akan menghasilkan elektron lebih banyak pada saat berada dalam fase *log*.

#### 4.2.2 Tegangan Listrik

Grafik perubahan jumlah tegangan listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,1 M dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4.** Perubahan tegangan listrik konsentrasi 0,1 M

Grafik perubahan jumlah tegangan listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,15 M dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5.** Perubahan tegangan listrik konsentrasi 0,15 M

Grafik perubahan jumlah tegangan listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M dapat dilihat pada **Gambar 4.6.**



**Gambar 4.6.** Perubahan tegangan listrik konsentrasi 0,2 M

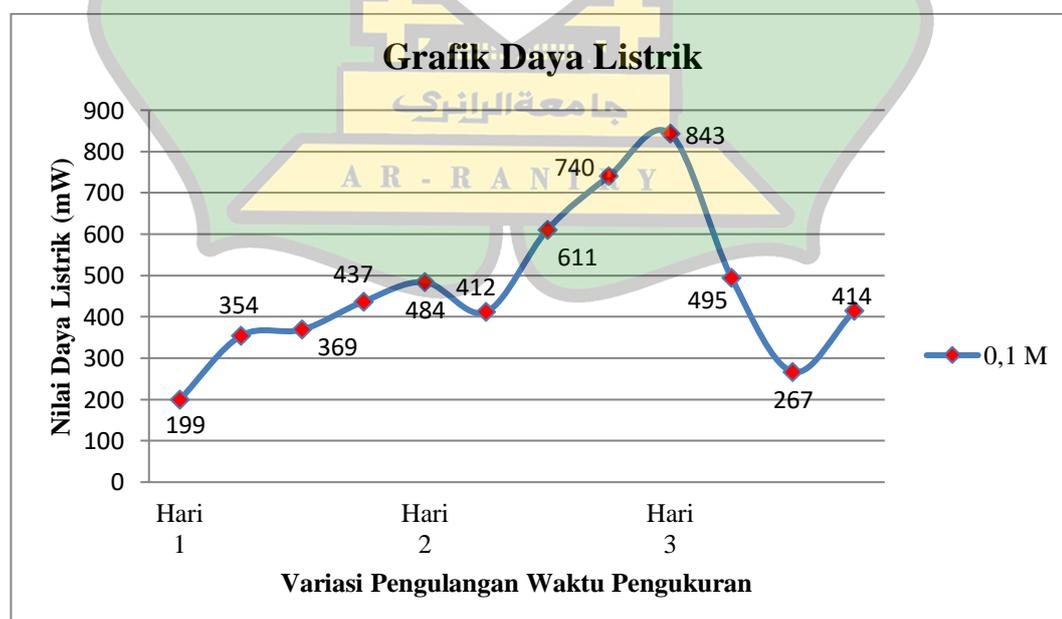
Dapat dilihat pada laju grafik tersebut menunjukkan bahwa jumlah tegangan listrik yang dihasilkan oleh reaktor MFC mengalami peningkatan secara fluktuatif pada rentang waktu tertentu, ini diduga karena perebutan nutrisi dari substrat limbah cair tahu yang telah terurai. Aktivitas metabolisme bakteri dalam substrat limbah menjadi tidak stabil saat melepaskan proton dan elektron dalam wadah

anoda, tegangan listrik yang dihasilkan reaktor MFC meningkat secara fluktuatif pada rentan waktu tertentu, selain itu tegangan listrik yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh jumlah produksi kuat arus listrik. Menurut Bachry (2019) penurunan dan peningkatan energi listrik yang dihasilkan berhubungan dengan jumlah elektron bebas yang dihasilkan oleh bakteri.

Saat dilakukan pengukuran tegangan listrik selama 3 hari berturut-turut dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit yang berbeda-beda diperoleh hasil data pengukuran tegangan listrik yang dihasilkan oleh limbah cair tahu pada (hari ke 1, hari ke 2 dan hari ke 3) dilakukan pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,1 M dapat menghasilkan jumlah tegangan listrik sebesar 421 mV hingga 942 mV, pada (hari ke 1, hari ke 2 dan hari ke 3) dilakukan pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,15 M dapat menghasilkan jumlah tegangan listrik sebesar 513 mV hingga 659 mV dan pada (hari ke 1, hari ke 2 dan hari ke 3) dilakukan pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M dapat menghasilkan jumlah tegangan listrik sebesar 718 mV hingga 1,200 mV. Menurut Nihayah dan Kirom (2020) tegangan yang tidak konstan disebabkan oleh aktivitas bakteri terhadap lingkungannya, ini disebabkan oleh penyesuaian suhu.

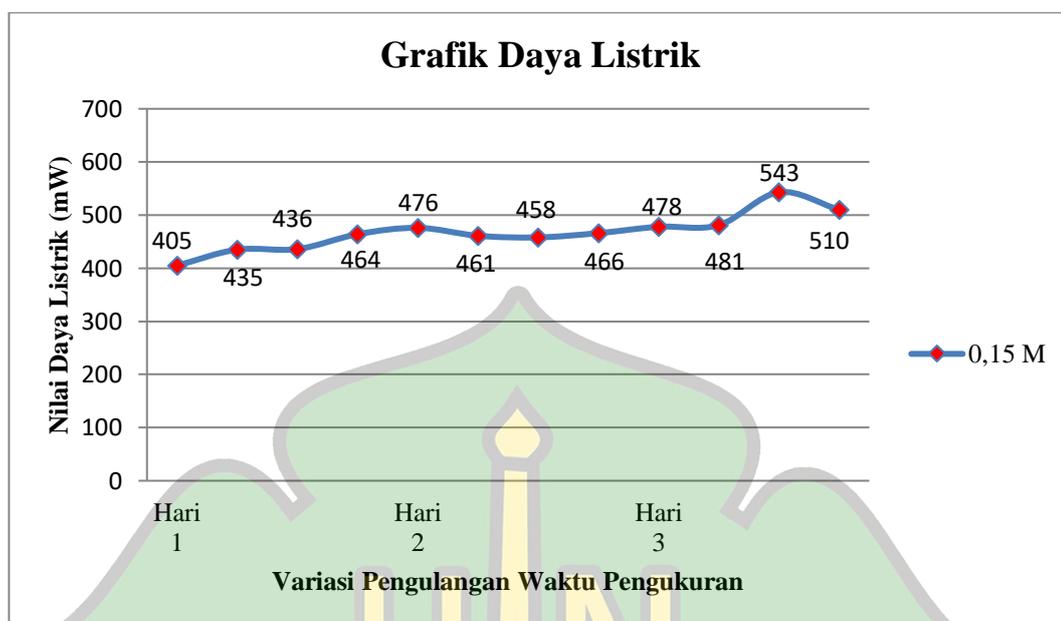
#### 4.2.3 Daya Listrik

Grafik perubahan jumlah daya listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,1 M dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4.7.** Perubahan daya listrik konsentrasi 0,1 M

Grafik perubahan jumlah daya listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,15 M dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



**Gambar 4.8.** Perubahan daya listrik konsentrasi 0,15 M

Grafik perubahan jumlah daya listrik selama 3 hari pengukuran pada penggunaan konsentrasi elektrolit 0,2 M dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4.9.** Perubahan daya listrik konsentrasi 0,2 M

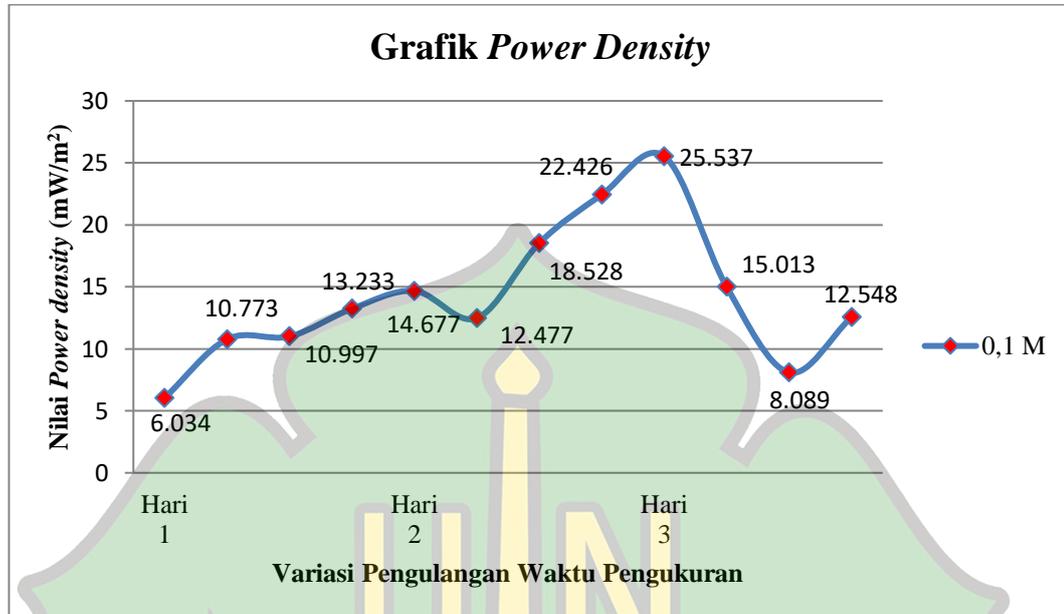
Dapat dilihat pada grafik 4.7, 4.8 dan 4.9 peningkatan daya listrik yang dihasilkan reaktor MFC cenderung fluktuatif. Hal ini diduga karena dipengaruhi oleh luas permukaan elektroda grafit, panjang jembatan garam, dan kapasitas

jumlah produksi proton dan elektron dari hasil proses metabolisme mikroba dapat menyebabkan terjadinya peningkatan hambatan, semakin besar hambatan maka, kuat arus listrik dan tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin menurun. Pada penelitian Bachry (2019) menyatakan bahwa aliran elektron yang berasal dari anoda menuju katoda akan menghasilkan daya listrik. Nilai daya listrik diperoleh melalui hasil perkalian antara kuat arus dan tegangan listrik, daya listrik yang terukur akan mengalami fluktuasi karena berbanding lurus terhadap kuat arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh reaktor MFC (Kurniati dkk, 2020). Menurut Utami (2018) menyatakan bahwa penurunan nilai energi listrik disebabkan karena mikroba sedang menjalani fase lag atau adaptasi, dimana pada fase ini mikroba sedang menyesuaikan diri dengan lingkungan hidup barunya.

Pengamatan pada grafik 4.9 dengan konsentrasi elektrolit 0,1 M dapat dilihat laju peningkatan daya listrik maksimum pengukuran di hari 1 sebesar 437 mW, maksimum daya listrik yang dihasilkan di hari 2 sebesar 740 mW, maksimum daya listrik yang dihasilkan di hari 3 sebesar 843 mW. Pada grafik 4.10 dengan konsentrasi elektrolit 0,15 M dapat dilihat laju peningkatan daya listrik maksimum pengukuran di hari 1 sebesar 464 mW, maksimum daya listrik yang dihasilkan di hari 2 sebesar 476 mW, maksimum daya listrik yang dihasilkan di hari 3 sebesar 543 mW. Pada grafik 4.11 dengan konsentrasi elektrolit 0,2 M dapat dilihat laju peningkatan daya listrik maksimum pengukuran di hari 1 sebesar 582 mW, maksimum daya listrik yang dihasilkan di hari 2 sebesar 636 mW, maksimum daya listrik yang dihasilkan di hari 3 sebesar 1.295 mW. Hal ini sejalan dengan penelitian Bachry (2019) fluktuasi listrik disebabkan oleh adanya interaksi dan persaingan antara mikroba dalam substrat limbah, penurunan perolehan energi listrik disebabkan oleh berkurangnya kandungan substrat akibat aktivitas metabolisme bakteri seiring bertambahnya waktu.

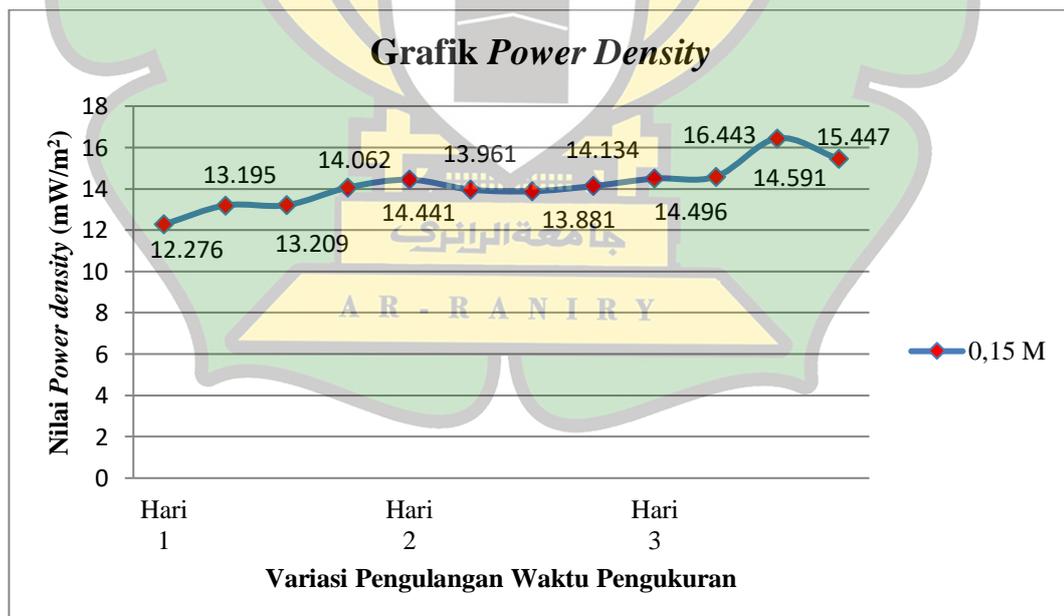
#### 4.2.4 Power Density

Grafik perubahan nilai *power density* pada penambahan kosentrasi elektrolit 0,1 M dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.



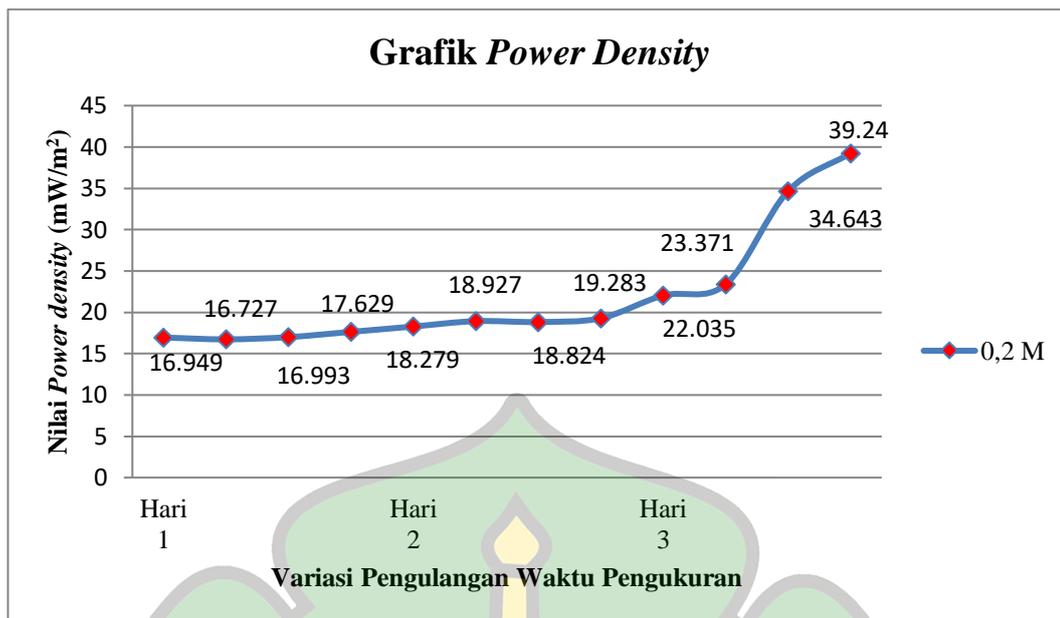
**Gambar 4.10.** Perubahan nilai *power density* 0,1 M

Grafik perubahan nilai *power density* pada penambahan kosentrasi elektrolit 0,15 M dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.



**Gambar 4.11.** Perubahan nilai *power density* 0,15 M

Grafik perolehan nilai *power density* pada penambahan kosentrasi elektrolit 0,2 M dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.



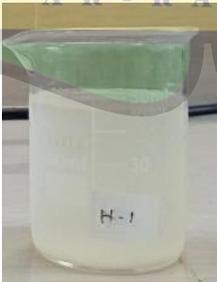
**Gambar 4.12.** Perubahan nilai *power density* 0,2 M

Nilai *power density* yang dihasilkan oleh raktor MFC diduga dipengaruhi oleh aktivitas metabolisme bakteri dalam limbah dan penambahan variasi larutan elektrolit. Secara ilmiah, penambahan larutan elektrolit variasi konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M. Setiap penambahan variasi konsentrasi elektrolit akan berbanding lurus dengan aktivitas metabolisme bakteri, semakin baik aktivitas metabolisme bakteri maka, akan semakin banyaknya jumlah proton dan elektron yang dihasilkan. Sehingga, nilai *power density* akan semakin meningkat. Menurut Utami dkk (2018) menyatakan bahwa penyebab terjadinya penurunan energi disebabkan pada proses awal, energi yang dihasilkan oleh mikroba melalui reaksi metabolisme bahan organik sebagian besar digunakan untuk membentuk lapisan biofilm. Biofilm berasal dari sel-sel yang teradsorpsi dipermukaan media, kemudian tumbuh dan berkembang menghasilkan *extracellular polymeric substances* (EPS) dalam membentuk biofilm. Elektroda pada wadah anoda berperan sebagai media lekat organisme dalam membentuk biofilm. Sehingga selain bakteri yang masih hidup atau bakteri yang telah mati akan membentuk lapisan biofilm akan semakin bertambah di area sekeliling elektroda. Apabila semakin bertambahnya lapisan biofilm yang terbentuk maka akan semakin sedikitnya jumlah elektron yang ditransfer ke elektroda sehingga nilai kuat arus listrik dan tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin berkurang (Rahmaniah, 2020).

Menurut Yogaswara dkk (2017) *power density* yang dihasilkan secara rata-rata mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pengoperasian reaktor MFC. Hal ini akan mengakibatkan meningkatnya jumlah hambatan pada anoda hingga akan menurunkan nilai *power density*. Dengan demikian penambahan larutan elektrolit berpengaruh pada nilai kuat arus listrik, tegangan listrik, daya listrik, serta *power density*. Hal ini sejalan dengan penelitian Rahmania dkk (2020) menggunakan variasi penambahan larutan elektrolit pada substrat dan tanpa penambahan larutan elektrolit pada substrat, nilai *power density* yang dihasilkan tanpa penambahan larutan elektrolit pada substrat batang sagu sebesar 50,082 mW/m<sup>2</sup>. Setelah dilakukan penambahan larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub>, jumlah nilai *power density* meningkat sebesar 90,089 mW/m<sup>2</sup> dan penambahan larutan kalium ferrosianida menghasilkan nilai *power density* sebesar 27,287 mW/m<sup>2</sup>. Berdasarkan besaran nilai *power density* yang dihasilkan menunjukkan bahwa limbah cair tahu dapat dimanfaatkan menjadi substrat untuk memproduksi energi listrik menggunakan teknologi MFC (Utami, 2018).

Seiring lamanya waktu yang digunakan untuk mengukur energi listrik pada limbah cair tahu menyebabkan perubahan kondisi fisik pada substrat limbah cair tahu karena terjadinya proses fermentasi dan penguraian kandungan organik pada limbah cair penatu. Pengamatan perubahan pada kondisi substrat limbah cair tahu dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

**Tabel 4.5.** Perubahan substrat limbah cair tahu

| <b>Perubahan Kondisi Substrat Limbah Cair Tahu</b>                                  |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>Sebelum</b>  | <b>Hari 1</b>   | <b>Hari 2</b>  | <b>Hari 3</b>   |
|  |  |  |  |

Saat dilakukan pengamatan dan pengukuran selama proses pengoperasian reaktor MFC di (hari 1) dapat dilihat kondisi limbah masih dalam keadaan semula, pada pengamatan (hari 2) limbah mengalami perubahan warna kuning

kecoklatan, dan pengamatan di (hari 3) kondisi limbah berubah warna kuning kecoklatan cenderung sedikit pekat serta terbentuk sedikit gumpalan dalam wadah reaktor MFC, kondisi perubahan pada substrat limbah berkaitan dengan aktivitas metabolisme mikroba berupa terjadinya proses fermentasi pada substrat limbah. pengoperasian reaktor MFC dilakukan selama 3 hari, setelah 3 hari pengoperasian reaktor MFC dilakukan pengamatan pada jembatan garam yang terbuat dari Nutrien Agar mengalami pembusukan dan pelapukan, hal ini rentan terjadi kebocoran antar kompartemen anoda dan katoda.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini, antara lain:

1. Energi listrik yang dapat dikonversi oleh reaktor MFC dengan menggunakan substrat limbah cair tahu sebanyak 1.000 ml mampu menghasilkan maksimum jumlah kuat arus listrik sebesar 107,91 mA, tegangan listrik sebesar 1.200 mV, daya listrik 1.295 mW dan *power density* maksimum sebesar 39,240 mW/m<sup>2</sup>, sehingga dapat menghasilkan mAh sebesar 5,4 mAh pada konsentrasi 0,2 M, untuk mengisi daya baterai 6.000 mAh hingga penuh menggunakan reaktor MFC diperlukan waktu pengisian selama 1.350 hari.
2. Hasil perolehan kuat arus listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,1 M sebesar 97,14 mA di hari ke 3, perolehan kuat arus listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,15 M sebesar 87,24 mA di hari ke 3, perolehan kuat arus listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,2 M sebesar 107,91 mA di hari ke 3. Hasil perolehan tegangan listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,1 M sebesar 942 mV di hari ke 3, perolehan tegangan listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,15 M sebesar 659 mV di hari ke 3, perolehan tegangan listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,2 M sebesar 1.200 mV di hari ke 3. Hasil perolehan daya listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,1 M sebesar 843 mW di hari ke 3, perolehan daya listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,15 M sebesar 543 mW di hari ke 3, perolehan daya listrik terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,2 M sebesar 1.295 mW di hari ke 3. Hasil perolehan *power density* terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,1 M sebesar 25,537 mW/m<sup>2</sup> di hari ke 3, perolehan *power density* terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,15 M sebesar 15,447 mW/m<sup>2</sup> di hari ke 3, perolehan *power density* terbaik pada larutan elektrolit KMnO<sub>4</sub> konsentrasi 0,2 M sebesar 39,240 mW/m<sup>2</sup> di hari ke 3. Semakin tinggi kadar variasi

larutan elektrolit, maka akan semakin besar jumlah produksi energi listrik yang dihasilkan.

## 5.2 Saran

Saran diperlukan untuk memberi masukan terkait dengan kekurangan dari penelitian, saran dari kekurangan penelitian ini antara lain:

1. Peneliti menyarankan untuk menggunakan membran PES sebagai jembatan garam pada reaktor MFC, jembatan garam yang terbuat dari Nutrien Agar tidak dapat digunakan dalam waktu lama karena Nutrien Agar akan mengalami pelapukan dan pembusukan, sehingga menyebabkan terjadinya kebocoran di kedua wadah anoda dan katoda.
2. Peneliti menyarankan untuk menggunakan wadah reaktor yang berasal dari bahan kaca yang tahan terhadap reaksi konsentrasi larutan elektrolit agar tidak mudah terjadi kerusakan pada wadah anoda dan katoda.
3. Peneliti menyarankan untuk menghitung jumlah konsentrasi pencemaran pada substrat limbah saat setelah dilakukan uji eksperimen untuk mengetahui penurunan konsentrasi kadar pencemaran substrat limbah sebelum dan setelah pengoperasian reaktor MFC.
4. Peneliti menyarankan untuk mencari kapasitas mAh yang dihasilkan oleh reaktor MFC agar dapat mengetahui durasi waktu yang diperlukan untuk pengisian daya baterai hingga penuh.
5. Peneliti menyarankan untuk menghitung seberapa besar energi yang dihasilkan oleh reaktor MFC dalam skala konversi banyaknya substrat limbah cair yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, P., Hartono, D., dan Awirya, A., A. (2018). Pengaruh Urbanisasi Terhadap Konsumsi Energi Dan Emisi CO<sub>2</sub>. Analisis Provinsi Di Indonesia. *Jurnal Ekon Kuantitatif Terap*, 9-8.
- Andika, A., dan Sudarlin, S. (2020). Pemanfaatan Gerabah dan Limbah Cair Tempe Sebagai Sumber Energi Alternatif Berbasis *Microbial Fuel Cell*. *Jurnal Inovasi Dan Pengelolaan Laboratorium*, 2(1).
- Andika, B., Wahyuningsih, P., dan Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai BOD Dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit ( PPKS ) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1), 14-22.
- Ardianto, R., Samudro, G., Hadiwidodo, M. (2014). Pengaruh Variasi Debit dan Konsentrasi Larutan Elektrolit (KMnO<sub>4</sub>) Terhadap Penurunan *Chemical Oxygen Demand* Dan Produksi Listrik di Dalam Reaktor *Microbial Fuel Cell* (Studi Kasus: Air Limbah RPH Kota Salatiga). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(2), 1-15.
- Hamdan, Abd, Mujahid., Fajri, Wilda, Nur., Rahmi, Rizna., Hanif. (2022). Adsorpsi Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Mineral Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Kimia Terapan*, 3(3).
- Bachry, Irda Mayanti. (2019). Potensi Biolistrik Limbah Industri Tahu Menggunakan Sistem *Microbial Fuel Cell*. *Skripsi*. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Bosowa, Sulawesi Selatan.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah*. SNI No. 6989.59:2008. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD)*. SNI No. 6989.2:2009. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- Badan Standarisasi Nasional. (2009). *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/COD)*. SNI No. 6989.72:2009. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *Cara Uji Derajat Keasaman (pH) Dengan Menggunakan Alat pH Meter*. SNI No. 06-6989.11:2004. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid/TSS) Secara Gravimetri*. SNI No. 06-6989.3:2004. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik Kota Banda Aceh. (2021). Data Kelistrikan Pt PLN Persero. <https://bandaacehkota.bps.go.id/statictable/2021/08/25/88/data-kelistrikan-pt-pln-persero-wil-nad-cabang-kota-banda-aceh-2016-2020>. Akses pada 30 Maret 2023.
- Badan Pusat Statistik Aceh. (2022). Data Kependudukan Provinsi Aceh Tahun 2020-2022. <https://aceh.bps.go.id/indicator/12/55/1>. Akses pada 31 Maret 2023.
- 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*, 22(1), 29-34.
- Ghazali, M., Puspitasari, S. M., Soraya, F., dan Mulyana, C. (2018). The Production of Electrical Energy From *Microbial Fuel Cell* Mix Culture Uses The Sumedang West Tofu. Departement of Geophysics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences. Jurusan Fisika FMIPA UNESA. Surabaya.
- Gozan, Misri. (2015). *Pengantar Teknologi Bioproses*. Jakarta: Erlangga. Hal, 31
- Hamzani, S., dan Syarifudin, A. (2020). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Pada Reaktor Anaerobik Sistem Biakan Tersuspensi. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 5(3), 52-56.
- Ibrahim, Bustami., Suptijah, Pipih., dan Adjani, Noor Zhalindri. (2017). Kinerja

- Microbial Fuel Cell* Penghasil Biolistrik Dengan Perbedaan Jenis Elektroda pada Limbah Cair Industri Perikanan. *JPHPI*, 20(20).
- Ibrahim, Bustami., Hardiningtyas, Safrina Dyah., dan Steffen. (2022). Kinerja Pembangkit Biolistrik *Salt Bridge Microbial Fuel Cell* Variasi Rasio Karagenan-Karboksimetil Selulosa. *JPHPI*, 25(2).
- Indah, S. L., Hendrarto, B., dan Soedarsono, P. (2014). Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia sp.*), Kangkung Air (*Ipomea sp.*), dan Kayu Apu (*Pistia sp.*) Dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium). *Management of Aquatic Resources Journal (Maquares)*, 3(1), 1-6.
- Kanani, B. (2017). *Microbial Fuel Cell*, New Technologies In The Field of Green Energy and Wastewater Treatment. *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, 2(5), 87-90.
- Kumalasari, Prapti Ira., Monde, Junety., Willard, Karnila., dan Zefanya, Hardi. (2019). Peran Mikroorganisme EM4 pada Reaktor *Microbial Fuel Cell* Dengan Sistem *Double Chamber*. *PETROGAS*, 1(2).
- Kurniati, E., Haji, A, T, S., Permatasari, C, A. (2020). Pengaruh Penambahan EM<sub>4</sub> Dan Jarak Elektroda Terhadap Listrik Yang Dihasilkan MFC (Air Lindi). Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Brawijaya, Malang. *Jurnal Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 23.
- Martias. (2017). Penerapan Dan Penggunaan Alat Ukur Multimeter Pada Pengukuran Komponen Elektrokimia, Konverensi Nasional Ilmu Sosial Dan Teknologi, 228.
- Matilda, F., Biyatmoko, D., Rizali, A., dan Abdullah, A. (2016). Peningkatan Kualitas Efluen Limbah Cair Industri Tahu pada Sistem Lumpur Aktif Dengan Variasi Laju Alir Menggunakan Arang Aktif Kayu Ulin (*Eusideroxylon zwageri*). *EnviroScienteeae*, 12(3), 207.
- Mardhia, D., dan Abdullah, V. (2018). Studi Analisis Kualitas Air Sungai Brangbiji Sumbawa Besar. *Jural Biologi Tropis*, 18(2), 182-198.

- Momoh, O. L. Y. (2011). A Novel Electron Acceptor For *Microbial Fuel Cells*: Nature of Circuit Connection on Internal Resistance. *Journal of Biochemical Technology*, 2(4), 216-220.
- Muliawati, W. (2015). Potensi Limbah Cair Organik Tapioka Sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Karbon *Cloth* pada Sistem *Microbial Fuel Cell* (MFCs) *Double Chamber* Dengan Variasi Konsentrasi Katolit  $\text{KMnO}_4$ . UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Naik, S., dan Jujjavarappu, E. S. (2018). Simultaneous Bioelectricity Generation From Cos-Effective MFC and Water Treatment Using Various Waste Water Samples. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(22), 27383-27393.
- Nihayah, Umi., dan Kirom, M. Ramdhan. (2022). Studi Eksperimental Penggunaan Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dengan Membran Berongga Sebagai Alat Memanen Energi Terbarukan Dari Variasi Limbah Organik. *The International Journal of PEGON*, 7(1).
- Novriandy, Muhammad., Tamjidillah, Mastiadi., dan Ramadhan, Nizar. (2021). Pengaruh Mikroorganisme Terhadap Produktivitas Energi Listrik MFC Dengan Variasi Limbah Pabrik Tahu dan Limbah Perikanan. *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa ROTARY*, 3(1), 107-118.
- Nugraha, Yoga Tri., Zambak, M. Fitria., dan Hasibuan, Arnawan. (2020). Perkiraan Konsumsi Energi Listrik Di Aceh Pada Tahun 2028 Menggunakan Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*. *Journal of Computer Engineering System and Science*, 5(1), 104.
- Nurul, U., Sumiyati, S., dan Samudro, G. (2015). Pengaruh Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Larutan Garam Dalam Jembatan Garam Terhadap Kinerja *Dual Chamber Microbial Fuel Cells* (DCMFCs). Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jln. Prof Sudharto SH Tembalang. *Teknik Lingkungan*, 1-7.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014. Tentang Baku Mutu Air Limbah.

- Parkash, A. (2016). *Microbial Fuel Cells: A Source of Bioenergy*. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 8(3).
- Patrik. (2016). Dampak Pengolahan Limbah Tahu Yang Tidak Benar. diakses pada 26 Maret 2023. <https://tanindo.net/pengolahan-limbah-tahu>
- PT PLN (Persero) Wilayah Aceh. <https://aceh.bps.go.id/indicator/7/437/1/jumlah-pelanggan-perusahaan-listrik-negara-pln-di-provinsi-aceh>. Diakses pada 27 Maret 2023.
- Rahayu, W. P., Nurjanah, S., dan Komalasari, E. (2018). *Escherichia coli*: Patogenitas, Analisis, dan Kajian Risiko. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 5.
- Rahmah, N., Kirom, M. R., dan Amaliyah, R. I. U. (2020). Analisis Pengaruh Panjang Jembatan Garam Terhadap Produksi Listrik pada *Dual Chamber MFC*. *E-Proceeding of Engineering*, 7(3), 9247-9254.
- Rahmaniah, Ardi, B. I., Fuadi, N. (2020). Aplikasi Teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) Untuk Menentukan Energi Listrik Substrat Batang Sagu (*Metroxylon*). *Jurnal Teknosains*, 14(2), 172-175.
- Ramdani, E. N., Kirom, M. R., dan Utami, A. R. I. (2021). Pengaruh Rasio Massa dan Waktu Inkubasi Terhadap Limbah Cair Tahu Dengan Campuran Lumpur Sawah Sebagai Sumber Energi Listrik Dengan Sistem MFC. *E. Proceeding of Engineering*, 8(1), 415-422.
- Safrijal, M. (2021). Pengembangan *Fuel Cell* Sebagai Teknologi Penghasil Energi Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Maritim*, 24.
- Sahaq, A. B., dan Hadiyanto. (2019). Bioelectricity Production From Tofu Wastewater Using *Microbial Fuel Cell* Technology (MMFC). *AIP Conference Proceedings*, 2202 (12), 1-5.
- Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., dan Ieropoulos, I. (2017). *Microbial fuel cells: From Fundamentals to Applications. A Review*. *Journal of Power Sources*, 356, 225-244.

- Sarma, D., Barua, P. B., Dey, N., dkk. (2019). Investigation and Taguchi Optimization of *Microbial Fuel Cell Salt Bridge* Dimensional Parameters. *Journal of The Institution of Engineers. India Series. C* 100, 103-112.
- Shaskia, Nina dan Yunita, Irda. (2021). Persepsi Masyarakat Terhadap Dampak Limbah Cair Tahu di Sekitar Sungai. *Journal of Civil Engineering*, 10(2), 65.
- Sayow, F., Polii, B. V. J., Tilaar, W., dan Augustine, K. D. (2020). Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu dan Tempe Rahayu Di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Agri-Sosioekonomi*, 16(2), 245.
- Song, H. L., Zhu, Y., and Li, J. (2019). Electron Transfer Mechanisms, Characteristics and Applications Of Biological Cathode *Microbial Fuel Cells* – A Mini Review. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 2236-2243.
- Sulistiyawati, I., Rahayu, N. L., dan Purwitaningrum, F. S. (2020). Produksi Biolistrik Menggunakan *Microbial Fuel Cell* ( MFC ) *Lactobacillus bulgaricus* dengan Substrat Limbah Tempe dan Tahu. *Biosfera : A Scientific Journal*, 37(2), 112-117.
- Suwannasom, Nittiya., Kao, Ijad., Prub, Axel., Georgieva, Radostina., dan Baumler, Hans. (2020). Riboflavin: The Health Benefits of a Forgotten Natural Vitamin. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(950).
- Syhairin, S., Muanah, M., dan Dewi, E. S. (2020). Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Pupuk Organik Cair Di Lombok Tengah NTB. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(1), 374-377.
- Utami, L., Lazulva, L., dan Fatisa, Y. (2020). Electricity Production From Peat Water Uses *Microbial Fuel Cells* Technology. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 2(1), 55.
- Utami, Lisa., Lazulva., Fatisa, Yuni. (2018). Produksi Energi Listrik dari Limbah

Kulit Pisang (*Musaparadisiaca L.*) Menggunakan Teknologi *Microbial Fuel Cell* Dengan Permanganat Sebagai Katolit. *al-kimiya*, 5(2), 62-67.

Wahyuni, I., Heriyono, H., Aisyah, A., Baharuddin, M., dan Patunrengi, I. I. (2022). Potensi Energi Listrik dari *Microbial Fuel Cell* (MFC) Menggunakan Substrat Molase dan Bakteri *Pseudomonas sp.* *Alchemy*, 10(1), 8-13.

Wang, Y. Z., Shen, Y., Gao, L., Liao, Z. H., Sun, J. Z., and Yong, Y. C. (2017). Improving The Extracellular Electron Transfer of: *Shewanella Oneidensis MR-1* For Enhanced Bioelectricity Production From Biomass Hydrolysate. *RSC Advances*, 7(48), 30488-30494.

Yogaswara, R. R., Farha, A. S., Khairunnisa, K., Pusfitasari, M. D., dan Gunawan, A. (2017). Studi Penambahan Mikroorganisme Pada Substrat Limbah Pome Terhadap Kinerja *Microbial Fuel Cell*. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 14-18.

You, Shijie., Zhao, Q., Hang, J., Jiang, J., and Zhao, S. (2020). A *Microbial Fuel Cell* Using Permanganate as the Cathodic Electron Acceptor. *Journal of Power Sources*, 162(2), 1409-1415.

You, S., Zhao, Q., Zhang, J., Jiang, J., and Zhao, S. (2006). A *Microbial Fuel Cell* Using Permanganate As The Cathodic Electron Acceptor. *Journal of Power Sources*, 162(2), 1409-1415.

Yu, dkk. (2020). Single Cell Electron Collectors For Highly Efficient Wiring-Up Electronic Abiotic/Biotic Interfaces. *Nature Communications*, 11(1).

Zahara, Nova Chisilia. (2011). Pemanfaatan *Saccharomyces cerevisiae* Dalam Sistem *Microbial Fuel Cell* Untuk Produksi Energi Listrik (Skripsi) Universitas Indonesia. Depok.

Zhao, Y. G., Zhang, Y., She, Z., Shi, Y., Wang, M., Gao, M., dan Guo, L. (2017). Effect of Substrate Conversion on Performance of *Microbial Fuel Cells* and Anodic Microbial Communities. *Environmental Engineering Science*, 34(9), 666-674.

Zulfikar, E. S., Tamjidillah, M., dan Ramadhan, M. N. (2021). Produktivitas Listrik *Microbial Fuel Cell* Pada Substrat Limbah Air Mie Instan. *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa*, 3(1), 69-80.



## LAMPIRAN GAMBAR

### A. Kegiatan Pengambilan Sampel Limbah Cair Tahu



(a)



(b)

Keterangan :

a : Lokasi industri produksi tahu

b : Pengambilan sampel limbah cair tahu

### B. Preparasi Elektroda Grafit



(a)



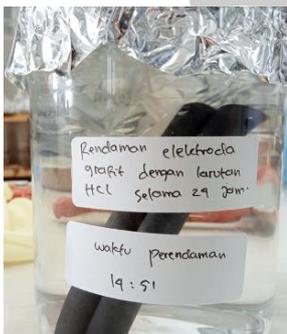
(b)



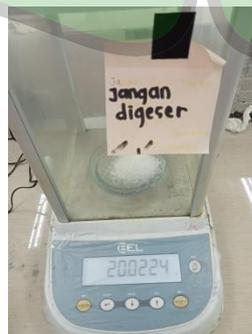
(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

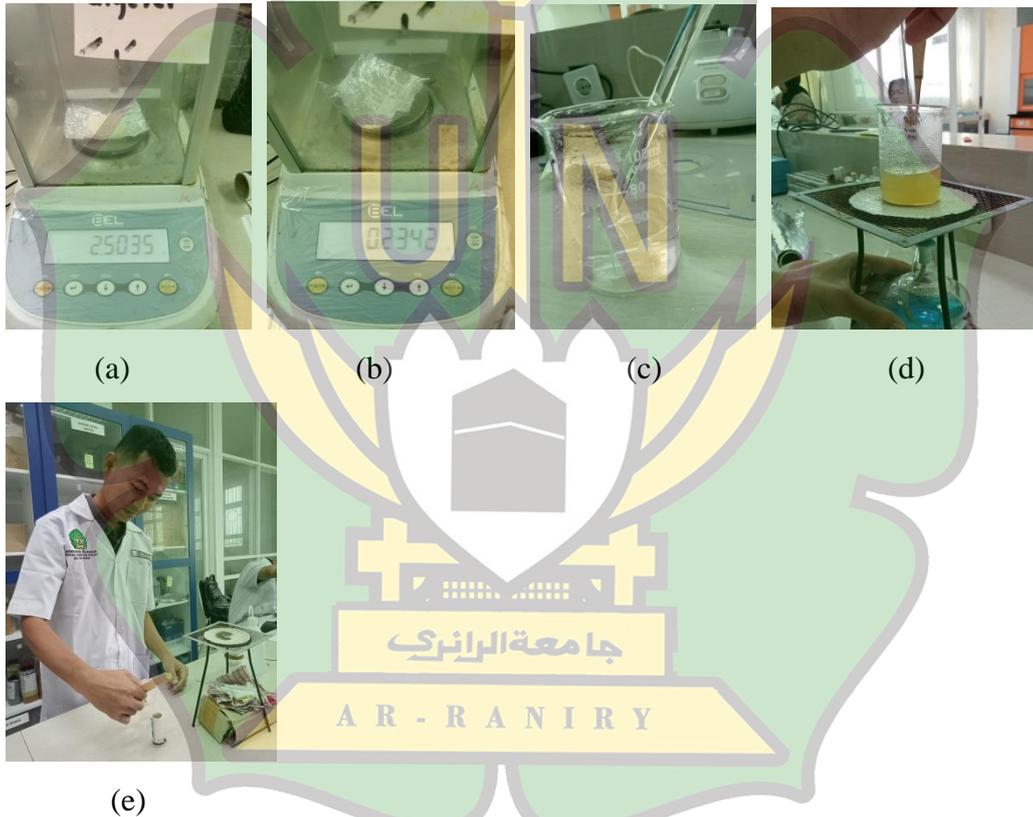


(h)

Keterangan :

- a : Pengukuran diameter dan panjang elektroda grafit
- b : Persiapan bahan preparasi elektroda grafit
- c : Eksperimen pembuatan larutan HCl 1 M
- d : Perendaman elektroda grafit dalam larutan HCl 1 M
- e : Elektroda grafit direndam selama 24 jam dalam larutan HCl 1 M
- f : Penimbangan berat bahan NaOH
- g : Pembuatan larutan NaOH 1 M
- h : Perendaman elektroda grafit pada larutan NaOH selama 24 jam

### C. Preparasi Jembatan Garam



Keterangan :

- a : Penimbangan NaCl sebanyak 0,234 gram
- b : Penimbangan bahan nutrisi agar sebanyak 2,5 gram
- c : Takaran aquades 40 ml
- d : Proses pemanasan campuran bahan
- e : Proses cetakan bentuk jembatan garam

#### D. Pengenceran Larutan Elektrolit $\text{KMnO}_4$



(a)

(b)

(c)

(d)



(e)

Keterangan :

- a : penimbangan bahan  $\text{KMnO}_4$  berat 15,80 gram, untuk konsentrasi 0,1 M
- b : Penimbangan bahan  $\text{KMnO}_4$  berat 23,70 gram, untuk konsentrai 0,15 M
- c : Penimbangan bahan  $\text{KMnO}_4$  berat 31,60 gram, untuk konsentrasi 0,2 M
- d : Bahan  $\text{KMnO}_4$  yang telah selesai ditimbang
- e : Pencampuran bahan dan cairan aquades sebanyak 1,000 ml

#### E. Pengoperasian Reaktor MFC



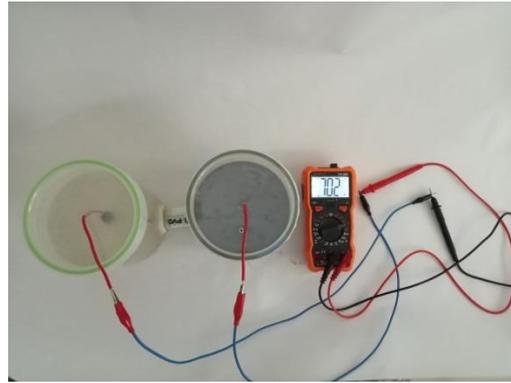
(a)

(b)

(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Keterangan :

- a : Wadah anoda diisi substrat limbah cair tahu 1,000 ml
- b : Wadah katoda diisi larutan  $\text{KMnO}_4$  variasi konsentrasi 0,1, 0,15 dan 0,2 M.
- c : Kabel listrik anoda dan katoda dihubungkan pada kabel penjepit buaya
- d : Kabel penjepit buaya dihubungkan pada alat multimeter digital
- e : pengamatan peningkatan jumlah energi listrik yang dihasilkan
- f : Pengukuran jumlah energi listrik dilakukan
- g : Hasil data energi yang telah diukur akan dicatat

## F. Data Hasil Pengukuran Pada Arus AC dan Arus DC



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

Keterangan :

Bagian gambar pengukuran a dan b menunjukkan jumlah hasil pengukuran voltase listrik saat dilakukan pengukuran tegangan arus DC, gambar c dan e menunjukkan jumlah nilai hambatan (ohm) dan gambar d dan f menunjukkan jumlah tegangan yang dihasilkan saat dilakukan pengukuran arus AC. Pengukuran arus AC dilakukan untuk melihat daya energi yang dihasilkan oleh substrat limbah.

## LAMPIRAN PERHITUNGAN

### A. Perhitungan Takaran Bahan Larutan HCl Konsentrasi 1 M

Konsentrasi larutan HCl : 32 %

Berat jenis larutan HCl : 1,159 gr/l

Berat molekul larutan HCl : 36,5

Langkah Mencari Molaritas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :

$$M = \frac{10 \times \% \times \text{Berat Jenis}}{Mr}$$

$$M = \frac{10 \times 32\% \times 1,159}{36,5}$$

$$M = 10,16$$

Pembuatan Larutan HCl 1 M dilakukan menggunakan Rumus Pengenceran :

Rumus :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$M_1 = 10,16$$

$$M_2 = 1 \text{ M}$$

$$V_1 = \dots\dots?$$

$$V_2 = 500 \text{ ml}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10,16 \times V_1 = 1.1000$$

$$V_1 = \frac{500.1}{10,16}$$

$$V_1 = 49 \text{ ml.}$$

### B. Perhitungan Takaran Bahan NaOH Konsentrasi 1 M

$$M = \frac{\text{Massa (gr)}}{Mr} \times \frac{1.000}{\text{Pelarut}}$$

$$M = \frac{M \times Mr \times \text{Pelarut}}{1.000}$$

Mr NaOH : 40

$$M = \frac{1 \times 40 \times 500}{1.000}$$

M = 20 gram NaOH

### C. Perhitungan Takaran Bahan NaCl Konsentrasi 0,1 M

$$M = \frac{\text{Massa (gr)}}{Mr} \times \frac{1.000}{\text{Pelarut}}$$

$$M = \frac{M \times Mr \times \text{Pelarut}}{1.000}$$

$$Mr \text{ NaCl} : 58,5$$

$$M = \frac{0,1 \times 58,5 \times 40}{1.000}$$

$$M = 0,234 \text{ gram NaCl}$$

Takaran bahan nutrisi agar yang dibutuhkan dalam pembuatan jembatan garam sebanyak 2,5 gram.

### D. Perhitungan Takaran Bahan KMnO<sub>4</sub> Konsentrasi 0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M

#### 1. Konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,1 M

$$M = \frac{\text{Massa (gr)}}{Mr} \times \frac{1.000}{\text{Pelarut}}$$

$$M = \frac{M \times Mr \times \text{Pelarut}}{1.000}$$

$$Mr \text{ KMnO}_4 : 158$$

$$M = \frac{0,1 \times 158 \times 1.000}{1.000}$$

$$M = 15,8 \text{ gram KMnO}_4$$

#### 2. Konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,15 M

$$M = \frac{\text{Massa (gr)}}{Mr} \times \frac{1.000}{\text{Pelarut}}$$

$$M = \frac{M \times Mr \times \text{Pelarut}}{1.000}$$

$$Mr \text{ KMnO}_4 : 158$$

$$M = \frac{0,15 \times 158 \times 1.000}{1.000}$$

$$M = 23,7 \text{ gram KMnO}_4$$

#### 3. Konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,2 M

$$M = \frac{\text{Massa (gr)}}{Mr} \times \frac{1.000}{\text{Pelarut}}$$

$$M = \frac{M \times Mr \times \text{Pelarut}}{1.000}$$

$$Mr \text{ KMnO}_4 : 158$$

$$M = \frac{0,2 \times 158 \times 1.000}{1.000}$$

$$M = 31,6 \text{ gram KMnO}_4$$

### E. Perhitungan Luas Permukaan Elektroda Grafit

Rumus perhitungan

$$L = 2 \times \pi \times r \times (r + t)$$

$$L = 2 \times 3,14 \times 0,005 \text{ m} \times (0,005 \text{ m} + 0,1 \text{ m})$$

$$L = 0,0314 \times (0,105)$$

$$L = 0,0033 \text{ m}^2$$

### F. Tabel Perhitungan Power Density

Perhitungan *Power density* variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,1 M, 0,15 M dan 0,2 M

$$\text{Power density (Mw/m}^2\text{)} = \frac{I \times V}{A}$$

| Perhitungan <i>Power Density</i> Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ 0,1 M  |   |   |
|---|---|---|
| Hari 1  | Hari 2  | Hari 3  |
| $= \frac{47.30 \text{ mA} \times 421 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{19.913.3 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 6.034 \text{ mW/m}^2$   | $= \frac{74.40 \text{ mA} \times 651 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{48.434.4 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 14.677 \text{ mW/m}^2$  | $= \frac{89.46 \text{ mA} \times 942 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{84.271.32 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 25.537 \text{ mW/m}^2$ |
| Perhitungan <i>Power Density</i> Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ 0,15 M   |   |   |
| Hari 1  | Hari 2  | Hari 3  |
| $= \frac{76.29 \text{ mA} \times 531 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{40.509.99 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 12.276 \text{ mW/m}^2$ | $= \frac{76.99 \text{ mA} \times 619 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{47.656.81 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 14.441 \text{ mW/m}^2$ | $= \frac{75.69 \text{ mA} \times 632 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{47.836.08 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 14.496 \text{ mW/m}^2$ |
| Perhitungan <i>Power Density</i> Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ 0,2 M  |   |   |
| Hari 1  | Hari 2  | Hari 3  |
| $= \frac{77.90 \text{ mA} \times 718 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{55.932.2 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 16.949 \text{ mW/m}^2$  | $= \frac{76.45 \text{ mA} \times 789 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{60.319.05 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 18.279 \text{ mW/m}^2$ | $= \frac{81.98 \text{ mA} \times 887 \text{ mV}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= \frac{72.716.26 \text{ mW}}{0.0033 \text{ m}^2}$ $= 22.035 \text{ mW/m}^2$ |