

## **LAPORAN TUGAS AKHIR**

### **PENGARUH VARIASI ELEKTRODA KARBON TERHADAP KINERJA BATERAI AIR GARAM BERBASIS ELEKTRODA MAGNESIUM-KARBON**

**Disusun Oleh:**

**EKA MARETYANINGSIH AGUNG PURWANTI  
NUR AINI MUZANERY**

**NIM. 2214012  
NIM. 2214017**



**PROGAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2026**

## **LAPORAN TUGAS AKHIR**

### **PENGARUH VARIASI ELEKTRODA KARBON TERHADAP KINERJA BATERAI AIR GARAM BERBASIS ELEKTRODA MAGNESIUM-KARBON**

**Disusun Oleh:**

**EKA MARETYANINGSIH AGUNG PURWANTI  
NUR AINI MUZANERY**

**NIM. 2214012  
NIM. 2214017**



**PROGAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2026**

## **LAPORAN TUGAS AKHIR**

### **PENGARUH VARIASI ELEKTRODA KARBON TERHADAP KINERJA BATERAI AIR GARAM BERBASIS ELEKTRODA MAGNESIUM-KARBON**

**Disusun Oleh:**

**EKA MARETYANINGSIH AGUNG PURWANTI  
NUR AINI MUZANERY**

**NIM. 2214012  
NIM. 2214017**



**PROGAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2026**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nam : Eka Maretyaningsih Agung Purwanti      Nama : Nur Aini Muzanery  
NIM : 2214012      NIM : 2214017

Malang, 7 Agustus 2026

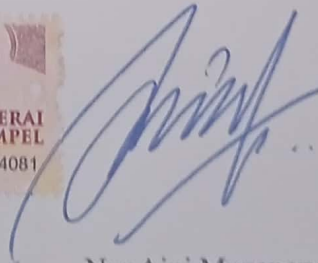
Menyatakan bahwa seluruh hasil Penelitian ini adalah hasil karya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka kami siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini kami buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Tanda Tangan,

Tanda Tangan,



Eka Maretyaningsih Agung Purwanti



Nur Aini Muzanery

## LEMBAR PERSETUJUAN

### LAPORAN TUGAS AKHIR

#### PENGARUH VARIASI ELEKTRODA KARBON TERHADAP KINERJA BATERAI AIR GARAM BERBASIS ELEKTRODA MAGNESIUM-KARBON

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Mempemperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia Jenjang Strata Satu (S-1)  
Di Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh:

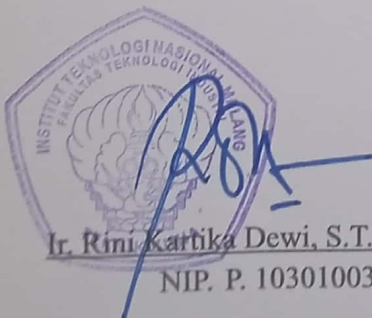
**EKA MARETYANINGSIH AGUNG PURWANTI**  
**NUR AINI MUZANERY**

**NIM. 2214012**  
**NIM. 2214017**

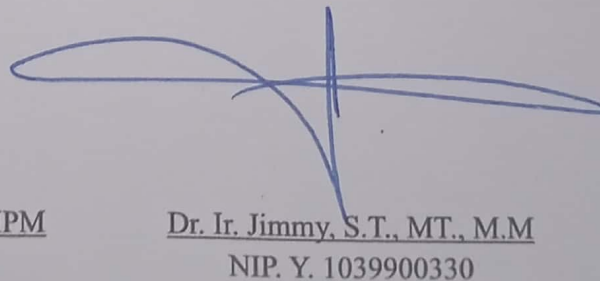
Malang, 7 Agustus 2026

Mengetahui,  
Ketua Progam Studi Teknik Kimia

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Ir. Rini Kartika Dewi, S.T., M.T., IPM  
NIP. P. 1030100370



Dr. Ir. Jimmy, S.T., MT., M.M  
NIP. Y. 1039900330

## LEMBAR PENGESAHAN

### LAPORAN TUGAS AKHIR

#### PENGARUH VARIASI ELEKTRODA KARBON TERHADAP KINERJA BATERAI AIR GARAM BERBASIS ELEKTRODA MAGNESIUM-KARBON

Disusun Oleh:

**EKA MARETYANINGSIH AGUNG PURWANTI**  
**NUR AINI MUZANERY**

**NIM. 2214012**  
**NIM. 2214017**

Malang, 7 Agustus 2026

Telah menyelesaikan revisi laporan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat untuk menempuh wisuda sarjana pada jenjang strata satu (S-1).

#### Dosen Penguji:

1. Dwi Ana Anggorowati, S.T., M.T

(.....)

2. Dr. Nanik Astuti Rahman, S.T., M.T., IPM

(.....)

Mengetahui,  
Ketua Progam Studi Teknik Kimia

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Ir. Rini Kartika Dewi, S.T., M.T., IPM  
NIP. P. 1030100370

Dr. Ir. Jimmy, S.T., MT., M.M  
NIP. Y. 1039900330

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

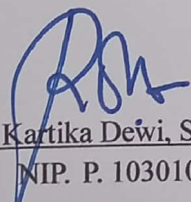
Nama : EKA MARETYANINGSIH AGUNG PURWANTI  
NIM : 2214012  
Jurusan/Progam Studi : Teknik Kimia (S-1)/Teknik Kimia  
Judul Skripsi : PENGARUH VARIASI ELEKTRODA KARBON  
TERHADAP KINERJA BATERAI AIR GARAM  
BERBASIS ELEKTRODA MAGNESIUM-KARBON

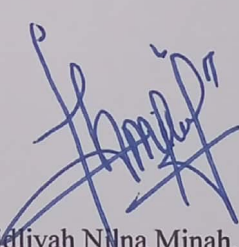
**Dipertahankan dihadapan Tim Dosen Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata Satu  
(S-1) pada:**

Hari : Jumat  
Tanggal : 7 Agustus 2026  
Nilai : A

Ketua,

Sekretaris,

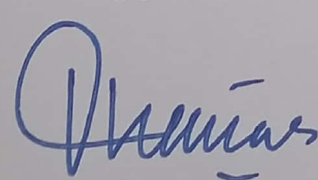
  
Ir. Rini Kartika Dewi, S.T., M.T., IPM  
NIP. P. 1030100370

  
Ir. Faidliyah Nina Minah, S.T., M.T., IPM  
NIP. Y. 1030400392

Anggota Penguji,

Penguji Pertama,

Penguji Kedua,

  
Dwi Ana Anggorowati, S.T., M.T  
NIP. 197009282005012001

  
Dr. Nanik Astuti Rahman, S.T., M.T., IPM  
NIP. P. 1030400391

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

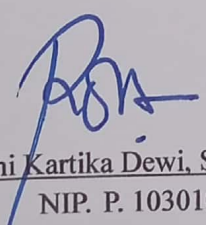
Nama : NUR AINI MUZANERY  
NIM : 2214017  
Jurusan/Progam Studi : Teknik Kimia (S-1)/Teknik Kimia  
Judul Skripsi : PENGARUH VARIASI ELEKTRODA KARBON  
TERHADAP KINERJA BATERAI AIR GARAM  
BERBASIS ELEKTRODA MAGNESIUM-KARBON

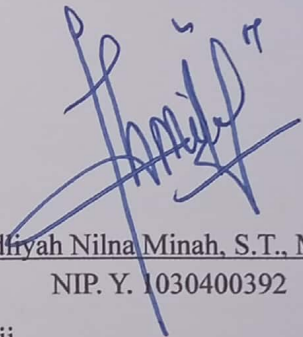
**Dipertahankan dihadapan Tim Dosen Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata Satu  
(S-1) pada:**

Hari : Jumat  
Tanggal : 7 Agustus 2026  
Nilai : A

Ketua,

Sekretaris,

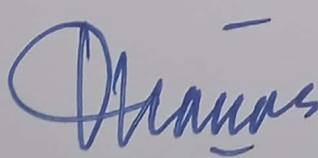
  
Ir. Rini Kartika Dewi, S.T., M.T., IPM  
NIP. P. 1030100370

  
Ir. Faidiyah Nilna Minah, S.T., M.T., IPM  
NIP. Y. 1030400392

Anggota Penguji,

Penguji Pertama,

Penguji Kedua,

  
Dwi Ana Anggorowati, S.T., M.T.  
NIP. 197009282005012001

  
Dr. Nanik Astuti Rahman, S.T., M.T., IPM  
NIP. P. 1030400391

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Pengaruh Variasi Elektroda Karbon terhadap Kinerja Baterai Air Garam Berbasis Elektroda Magnesium-Karbon"** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak telah memberikan bantuan, bimbingan, motivasi, serta doa sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan rahmat, kesehatan, kekuatan, serta kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Ayah dan Ibu, yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dukungan moral maupun material, serta menjadi sumber semangat terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan ini.
3. Ibu Ir. Rini Kartika Dewi, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Nasional Malang yang telah memberikan dukungan selama penulis menempuh pendidikan.
4. Bapak Dr. Ir. Jimmy, S.T., M.T., M.M selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta memberikan arahan, bimbingan, kritik, dan saran yang sangat bermanfaat selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Ibu F. Endah Kusumaratini, S.Si., M.Kes., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, saran, dan motivasi sehingga penelitian dan penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
6. Bapak Dr. Michael Ardita, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Bidang Elektro yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta ilmu pengetahuan yang sangat membantu dalam penyelesaian penelitian ini.
7. Ibu Dwi Ana Anggorowati, S.T., MT., selaku Koordinator Tugas Akhir Skripsi yang telah memberikan arahan selama proses pengerjaan skripsi ini.
8. Tim Dosen Penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan yang membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Nasional Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, serta bimbingan selama masa perkuliahan.
10. Teman-teman dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah memberikan semangat, bantuan, kebersamaan, dan motivasi selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi.
11. Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada diri sendiri atas dedikasi, kerja keras, dan kegigihan yang luar biasa dalam menyelesaikan Skripsi ini meski dihadapkan pada berbagai rintangan selama prosesnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ilmiah ini di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi salah satu kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Kimia.

Malang, 7 Agustus 2026

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                             |             |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                                  | <b>i</b>    |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b>                         | <b>ii</b>   |
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>                                             | <b>iii</b>  |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>                                              | <b>iv</b>   |
| <b>BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI .....</b>                                     | <b>v</b>    |
| <b>BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI .....</b>                                     | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                  | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                      | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                                                    | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                   | <b>xiv</b>  |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                        | <b>xvi</b>  |
| <b><i>ABSTRACT</i> .....</b>                                                | <b>xvii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                               | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang .....                                                   | 1           |
| 1.2. Perumusan Masalah .....                                                | 3           |
| 1.3. Tujuan.....                                                            | 4           |
| 1.4. Luaran Yang Diharapkan.....                                            | 4           |
| 1.5. Kegunaan.....                                                          | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                         | <b>6</b>    |
| 2.1. Energi Alternatif Berbasis Air Garam .....                             | 6           |
| 2.2. Prinsip Elektrokimia Sel Galvanik.....                                 | 7           |
| 2.3. Elektrodan Magnesium-Karbon pada Baterai Air Garam .....               | 9           |
| 2.4. Rekayasa Elektroda Karbon ( <i>Carbon Electrode Engineering</i> )..... | 11          |
| 2.4.1. <i>Current Collector</i> .....                                       | 11          |
| 2.4.2. Pasta Karbon Aktif-MnO <sub>2</sub> .....                            | 12          |
| 2.4.3. Binder pada Elektroda .....                                          | 13          |
| 2.4.4. Media Penyangga Pasta Karbon .....                                   | 16          |
| 2.4.5. Baterai Air Garam Komersial .....                                    | 17          |
| 2.5. Parameter Kinerja Baterai Air Garam .....                              | 18          |
| 2.5.1. Tegangan.....                                                        | 18          |

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.2. Arus Listrik .....                                         | 19        |
| 2.5.3. Daya .....                                                 | 21        |
| 2.5.4. Energi Kumulatif .....                                     | 22        |
| 2.5.5. Oxidation Reduction Potential (ORP) .....                  | 23        |
| 2.5.6. Konduktivitas.....                                         | 23        |
| 2.5.7. Salinitas.....                                             | 24        |
| 2.5.8. pH.....                                                    | 25        |
| 2.6. Metode Analisa Statistik .....                               | 26        |
| 2.6.1. Koefisien Variasi ( <i>Coefficient of Variation</i> )..... | 26        |
| 2.6.2. Korelasi Pearson .....                                     | 27        |
| 2.6.3. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....             | 28        |
| 2.6.4. <i>Hierarchical Cluster Analysis</i> (HCA).....            | 28        |
| 2.7. Penelitian Terdahulu.....                                    | 29        |
| 2.8. <i>Research Gap</i> .....                                    | 31        |
| 2.9. Hipotesis Penelitian.....                                    | 33        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                        | <b>35</b> |
| 3.1. Metode Penelitian.....                                       | 35        |
| 3.2. Variabel Penelitian .....                                    | 35        |
| 3.3. Alat dan Bahan.....                                          | 36        |
| 3.4. Prosedur Penelitian.....                                     | 36        |
| 3.4.1. Studi Literatur .....                                      | 36        |
| 3.4.2. Kalibrasi dan Persiapan Penelitian .....                   | 37        |
| 3.4.3. Pembuatan Variasi Elektroda Karbon .....                   | 37        |
| 3.4.4. Perakitan Baterai Air Garam.....                           | 38        |
| 3.4.5. Pengujian Kinerja Baterai Air Garam.....                   | 38        |
| 3.4.6. Analisis Data.....                                         | 39        |
| 3.5. Alat Penelitian.....                                         | 40        |
| 3.6. Kerangka Pemikiran.....                                      | 42        |
| 3.7. Rancangan Alat .....                                         | 44        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                           | <b>47</b> |
| 4.1. Kerangka Pembahasan .....                                    | 47        |
| 4.2. Pengaruh <i>Current Collector</i> Tembaga (V1 vs V2).....    | 48        |

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1. Pengaruh <i>Current Collector</i> terhadap Tegangan, Arus, dan Daya Keluaran             | 48        |
| 4.2.2. Pembahasan Mekanisme Pengaruh <i>Current Collector</i> .....                             | 50        |
| 4.3. Pengaruh Pasta Karbon dan Media Penyangga (V2 vs V3 vs V4) .....                           | 51        |
| 4.3.1. Pengaruh Pasta Karbon terhadap Tegangan Keluaran .....                                   | 51        |
| 4.3.2. Pengaruh Media Penyangga terhadap Kinerja Elektroda (V3 vs V4) .....                     | 53        |
| 4.3.3. Sintesis Pembahasan .....                                                                | 53        |
| 4.4. Indikator Elektrokimia Pendukung (ORP dan pH) .....                                        | 54        |
| 4.4.1. Perubahan ORP Selama Pengujian .....                                                     | 54        |
| 4.4.2. Perubahan pH Selama Pengujian .....                                                      | 55        |
| 4.4.3. Hubungan ORP dan pH terhadap Performa Listrik .....                                      | 55        |
| 4.4.4. Sintesis Pembahasan .....                                                                | 56        |
| 4.5. Stabilitas Kinerja Selama 12 Hari (Analisis Tren Waktu).....                               | 56        |
| 4.5.1. Perubahan Tegangan, Arus, dan Daya terhadap Waktu .....                                  | 56        |
| 4.5.2. Perubahan Konduktivitas Listrik (EC) terhadap Waktu .....                                | 57        |
| 4.5.3. Perubahan Energi Kumulatif Selama 12 Hari.....                                           | 58        |
| 4.5.4. Perubahan Salinitas terhadap Waktu.....                                                  | 60        |
| 4.5.5. Evaluasi Stabilitas Kinerja Selama 12 Hari .....                                         | 60        |
| 4.6. Analisis Statistik Multivariat dan <i>Benchmarking</i> terhadap Produk Komersial (V5)..... | 62        |
| 4.6.1. Analisis Korelasi Antarparameter ( <i>Correlation Heatmap</i> ).....                     | 62        |
| 4.6.2. Analisis <i>Principal Component Analysis</i> (PCA Score Plot) .....                      | 64        |
| 4.6.3. Analisis Parameter Dominan (PCA Loading Plot) .....                                      | 65        |
| 4.6.4. Analisis Pengelompokan Variasi Elektroda (Cluster Dendrogram).....                       | 66        |
| 4.6.5. Sintesis Analisis Statistik Multivariat .....                                            | 67        |
| 4.7. Sintesis Keseluruhan .....                                                                 | 68        |
| 4.7.1. Perbandingan Tegangan, Arus, dan Daya .....                                              | 68        |
| 4.7.2. Perbandingan Stabilitas terhadap Produk Komersial.....                                   | 68        |
| 4.7.3. Analisis Kesenjangan ( <i>Gap Analysis</i> ) terhadap Produk Komersial.....              | 69        |
| 4.7.4. Implikasi Hasil Penelitian terhadap Pengembangan Baterai Air Garam ..                    | 70        |
| 4.7.5. Keterbatasan Penelitian.....                                                             | 70        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>                                                                       | <b>72</b> |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 5.1. Kesimpulan .....                  | 72        |
| 5.2. Saran.....                        | 74        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>            | <b>76</b> |
| <b>LAMPIRAN I DOKUMENTASI.....</b>     | <b>80</b> |
| <b>LAMPIRAN II HASIL ANALISA .....</b> | <b>82</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2.1.</b> Reaksi dan Potensial Oksidasi Reduksi.....                                                                       | 9  |
| <b>Tabel 2.2.</b> Jenis-Jenis Binder.....                                                                                          | 16 |
| <b>Tabel 2.3.</b> Tabel Artikel Jurnal Penelitian Terdahulu .....                                                                  | 31 |
| <b>Tabel 2.4.</b> Tabel Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Target Penelitian .....                                              | 32 |
| <b>Tabel 4.1.</b> Urutan Pembahasan Variasi Elektroda .....                                                                        | 47 |
| <b>Tabel 4.2.</b> Estimasi Energi Kumulatif Seluruh Variasi Elektroda Selama 12 Hari .....                                         | 59 |
| <b>Tabel 4.3.</b> Ringkasan Stabilitas Kinerja Seluruh Variasi Elektroda Selama 12 Hari<br>(Berdasarkan Koefisien Variasi/CV)..... | 61 |
| <b>Tabel 4.4.</b> Perbandingan Performa dan Stabilitas Kinerja Variasi Elektroda terhadap<br>Produk Komersial .....                | 68 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2.1.</b> Rangkaian sel volta yang dapat menghasilkan arus listrik.....                              | 8  |
| <b>Gambar 2.2.</b> Rangkaian sel elektrolisis yang menggunakan sumber arus listrik eksternal<br>.....         | 8  |
| <b>Gambar 3.1.</b> <i>Water Quality Tester</i> yang digunakan pada penelitian .....                           | 40 |
| <b>Gambar 3.2.</b> Multimeter Analog.....                                                                     | 41 |
| <b>Gambar 3.3.</b> Multimeter Digital.....                                                                    | 41 |
| <b>Gambar 3.4.</b> Diagram Kerangka Pemikiran .....                                                           | 43 |
| <b>Gambar 3.5.</b> Rancangan Alat.....                                                                        | 44 |
| <b>Gambar 4.1.</b> Perbandingan Rata-Rata Tegangan, Arus, dan Daya V1 dan V2 Selama 12<br>Hari .....          | 49 |
| <b>Gambar 4.2.</b> Perbandingan Tegangan, Arus, dan Daya V1 dan V2 Selama 12 Hari.....                        | 49 |
| <b>Gambar 4.3.</b> Perbandingan Rata-rata Tegangan, Arus, dan Daya V2, V3, dan V4 Selama<br>12 Hari.....      | 51 |
| <b>Gambar 4.4.</b> Perbandingan Tegangan, Arus, dan Daya V2, V3, dan V4 Selama 12 Hari<br>.....               | 52 |
| <b>Gambar 4.5.</b> Perubahan ORP pada masing-masing Variasi Elektroda Selama 12 Hari                          | 54 |
| <b>Gambar 4.6.</b> Perubahan pH pada masing-masing Variasi Elektroda Selama 12 Hari...                        | 55 |
| <b>Gambar 4.7.</b> Perubahan Tegangan Seluruh Variasi Elektroda Selama 12 Hari.....                           | 56 |
| <b>Gambar 4.8.</b> Perubahan Konduktivitas Listrik (EC) Seluruh Variasi Elektroda Selama 12<br>Hari.....      | 57 |
| <b>Gambar 4.9.</b> Energi Kumulatif V1-V4 Selama 12 Hari Pengujian .....                                      | 58 |
| <b>Gambar 4.10.</b> Perubahan Salinitas Seluruh Variasi Elektroda Selama 12 Hari.....                         | 60 |
| <b>Gambar 4.11.</b> <i>Correlation Heatmap</i> Seluruh Parameter Penelitian (Koefisien Pearson,<br>n=60)..... | 62 |

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 4.12.</b> <i>PCA Score Plot</i> Variasi Elektroda (Berdasarkan rata-rata 9 parameter, data terstandarisasi) .....                                          | 64 |
| <b>Gambar 4.13.</b> <i>PCA Loading Plot</i> Seluruh Parameter Penelitian.....                                                                                        | 65 |
| <b>Gambar 4.14.</b> Cluster Dendrogram Variasi Elektroda ( <i>Hierarchical Cluster Analysis</i> , Linkage Rata-Rata, Jarak Euclidean pada Data Terstandarisasi)..... | 66 |
| <b>Gambar 4.15.</b> Perbandingan Rata-Rata Tegangan, Arus, dan Daya Seluruh Variasi Elektroda terhadap Produk Komersial .....                                        | 68 |

## ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi kontribusi bertahap rekayasa elektroda karbon terhadap performa dan stabilitas Baterai air garam berbasis magnesium–karbon. Modifikasi katoda umumnya dievaluasi secara terpisah, sehingga kontribusi relatif tiap tahap belum dapat dibandingkan langsung dalam satu sistem. Pendekatan *Progressive Electrode Engineering* diterapkan melalui karbon konvensional (V1), karbon dengan *current collector* tembaga (V2), pasta karbon aktif-MnO<sub>2</sub>-PVA-NBR berpenyangga kantong teh (V3), dan pasta yang sama berpenyangga *Stainless Steel Mesh* (V4). Pengujian dilakukan selama 12 hari pada beban 23,5  $\Omega$  dengan evaluasi tegangan, arus, daya, energi kumulatif, dan koefisien variasi. Penambahan *Current Collector* merupakan tahap paling efektif: V2 meningkatkan tegangan rata-rata dari 0,231 V menjadi 0,439 V dan daya dari 2,45 mW menjadi 8,91 mW dibandingkan V1. Pasta karbon tidak melampaui V2, yang menunjukkan bahwa material aktif tidak otomatis meningkatkan kinerja ketika konfigurasi menambah hambatan kontak atau mengganggu jalur transfer elektron. Namun, *Stainless Steel Mesh* menghasilkan kinerja lebih tinggi daripada kantong teh dan stabilitas terbaik, dengan koefisien variasi daya 26,1%. Pendekatan ini mengidentifikasi *Current Collector* untuk memaksimalkan keluaran listrik, sedangkan *Stainless Steel Mesh* menjadi pilihan lebih seimbang untuk operasi stabil. *Progressive Electrode Engineering* memungkinkan pemilihan strategi rekayasa berdasarkan performa dan stabilitas secara sistematis.

**Kata kunci:** *Progressive Electrode Engineering*; elektroda karbon; *Current Collector*; *Stainless Steel Mesh*; Baterai air garam.

## **ABSTRACT**

*This study evaluated the stepwise contribution of carbon-electrode engineering to the performance and stability of magnesium–carbon saltwater lanterns. Cathode modifications are often evaluated separately, preventing direct comparison of stage-specific contributions. A Progressive Electrode Engineering approach was applied using conventional carbon (V1), carbon with a copper current collector (V2), activated-carbon–MnO<sub>2</sub>–PVA–NBR paste supported by a tea bag (V3), and the same paste supported by stainless-steel mesh (V4). Lanterns were tested for 12 days at 23.5  $\Omega$ ; voltage, current, power, and stability were assessed. Adding the current collector was most effective: relative to V1, V2 increased mean voltage from 0.231 V to 0.439 V and mean power from 2.45 mW to 8.91 mW. Carbon paste did not outperform V2, showing that active materials do not inherently improve performance when configuration increases contact resistance or disrupts electron-transfer pathways. However, stainless-steel mesh outperformed the tea-bag support and provided the highest stability, with a power coefficient of variation of 26.1%. This approach identifies the current collector to maximize output, whereas stainless-steel mesh offers a more balanced option for stable operation. Progressive Electrode Engineering thus enables systematic selection of electrode-engineering strategies for performance and stability.*

**Keywords:** *Progressive Electrode Engineering; carbon electrode; current collector; stainless-steel mesh; saltwater lantern.*