

**LAPORAN HASIL PENELITIAN**  
**PEMULIHAN  $MnO_2$  DARI LIMBAH DRY CELL MELALUI PROSES**  
**HIDROMETALURGI: RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)**



**Disusun oleh:**

**MUHANDIS AKBAR WINAJI**

**NPM. 22031010006**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS**  
**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR**  
**SURABAYA**

**2026**



Laporan Hasil Penelitian  
"Pemulihan  $MnO_2$  dari Limbah Dry Cell melalui Proses  
Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)"

LEMBAR PENGESAHAN  
LAPORAN HASIL PENELITIAN  
PEMULIHAN  $MnO_2$  DARI LIMBAH DRY CELL MELALUI PROSES  
HIDROMETALURGI: RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)

Disusun oleh:  
Muhandis Akbar Winaji 22031010006

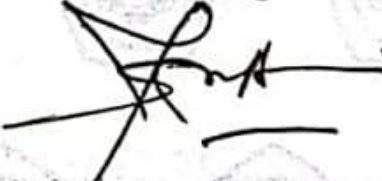
Telah dipertahankan dan diterima oleh Dosen Pembimbing dan Penguji  
Pada tanggal : 25 November 2025

Tim Penguji

Pemibimbing

1.

  
Ir. Caecilia Pujiastuti, M.T.  
NIP. 19630305 198803 2 001

  
Erwan Adi Saputro, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19800410 200501 1 001

2.

  
Ir. Ely Kurniati, M.T.  
NIP. 19641018 199203 2 001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik dan Sains  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

  
Prof. Dr. Dra. Jarivah, M.P.  
NIP. 19650403 199103 2 001



## Laporan Hasil Penelitian

"Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)"

### KETERANGAN REVISI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: 1. Muchammad Fahrizal Hanif NPM. 22031010003

2. Muhandis Akbar Winaji NPM. 22031010006

Telah mengerjakan revisi / tidak ada revisi laporan hasil penelitian, dengan

Judul :

**"PEMULIHAN  $\text{MnO}_2$  DARI LIMBAH *DRY CELL* MELALUI PROSES  
HIDROMETALURGI: RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)"**

Surabaya, 9 Januari 2026

Dosen penguji yang memerintahkan revisi:

1. Ir. Caccilia Pujiastuti, M.T.

NIP. 19630305 198803 2 001

(.....)

2. Ir. Ely Kurniati, M.T.

NIP. 19641018 199203 2 001

(.....)

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

(.....)

Erwan Adi Saputro, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 19800410 200501 1 001



## Laporan Hasil Penelitian

"Pemulihan  $MnO_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)"

### SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhandis Akbar Winaji  
NPM : 22031010006  
Program : Sarjana (S1)/~~Magister (S2)~~/~~Doktor (S3)~~  
Program Studi : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik & Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi\* ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi/Tesis/Desertasi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 9 Januari 2026

Yang membuat pernyataan



Muhandis Akbar Winaji

NPM. 22031010006



## Laporan Hasil Penelitian

“Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)”

---

### KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga laporan hasil penelitian dengan judul “Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)” dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini dilaksanakan dengan dukungan penuh dari akademisi dan institusi terkait. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Dr. Ir. Sintha Soraya Santi, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Erwan Adi Saputro, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Penelitian penyusun, pendidik dan pribadi terbaik yang mendampingi penyusun menjalani pilihan untuk mendalami ilmu teknik kimia secara mendalam.
4. Ir. Caecilia Pujiastuti, M.T., selaku Dosen Penguji dalam penelitian ini.
5. Ir. Ely Kurniati, M.T., selaku Dosen Penguji dalam penelitian ini.
6. Kedua orang tua kami yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat baik moril maupun materi.
7. Teman-teman yang telah mendukung dan memberikan dukungan pada penyusun dalam hal proses penelitian.

Kami menyadari masih terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan hasil penelitian ini. Kami mengharapkan saran dan kritik yang membangun atas laporan hasil penelitian ini. Akhir kata, kami mohon maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, apabila dalam penyusunan laporan ini penyusun melakukan kesalahan baik yang disengaja maupun tidak disengaja.

Surabaya, 9 Januari 2026

Penulis



## Laporan Hasil Penelitian

“Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)”

### DAFTAR ISI

|                                                                                         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                                                 | i    |
| KETERANGAN REVISI.....                                                                  | ii   |
| SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....                                                   | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                                                                    | iv   |
| DAFTAR ISI.....                                                                         | v    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                                     | vii  |
| DAFTAR TABEL .....                                                                      | viii |
| INTISARI.....                                                                           | ix   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                                                 | 1    |
| I.1    Latar Belakang .....                                                             | 1    |
| I.2    Tujuan .....                                                                     | 3    |
| I.3    Manfaat .....                                                                    | 3    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                                            | 4    |
| II.1    Teori Umum.....                                                                 | 4    |
| II.1.1    Baterai <i>Dry Cell</i> .....                                                 | 4    |
| II.1.2    Senyawa Mangan (IV) Oksida ( $\text{MnO}_2$ ) .....                           | 5    |
| II.1.3    Kegunaan Mangan(IV) Oksida ( $\text{MnO}_2$ ) .....                           | 7    |
| II.1.4    Bahaya Mangan(IV) Oksida ( $\text{MnO}_2$ ).....                              | 7    |
| II.2    Landasan Teori.....                                                             | 8    |
| II.2.1    Metode Hidrometalurgi.....                                                    | 8    |
| II.2.1.1 <i>Leaching</i> Logam Mangan Pada Metode Hidrometalurgi .....                  | 9    |
| II.2.1.2    Pemurnian Logam Mangan Melalui Presipitasi Pada Metode Hidrometalurgi ..... | 10   |
| II.2.2 <i>Leaching</i> Logam dengan Gelombang Mikro .....                               | 12   |
| II.2.3    Mekanisme Reaksi .....                                                        | 12   |
| II.2.4 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM).....                                   | 13   |
| II.2.5    Faktor-Faktor yang Memengaruhi <i>Leaching</i> .....                          | 16   |
| II.3    Hipotesis .....                                                                 | 17   |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                                                          | 18   |
| III.1    Bahan Baku Penelitian.....                                                     | 18   |



## Laporan Hasil Penelitian

“Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)”

---

|          |                                                                     |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------|----|
| III.2    | Alat Penelitian.....                                                | 18 |
| III.3    | Rangkaian Alat.....                                                 | 19 |
| III.4    | Variabel Penelitian.....                                            | 19 |
| III.4.1  | Kondisi yang ditetapkan .....                                       | 19 |
| III.4.2  | Kondisi yang dijalankan .....                                       | 20 |
| III.5    | Prosedur dan Diagram Alir .....                                     | 20 |
| III.5.1  | Prosedur .....                                                      | 20 |
| III.5.2  | Diagram Alir .....                                                  | 21 |
| III.6    | Analisis .....                                                      | 22 |
| BAB IV   | HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                          | 25 |
| IV.1     | Hasil Penelitian .....                                              | 25 |
| IV.1.1   | Uji Hasil Pemulihan $\text{MnO}_2$ .....                            | 25 |
| IV.1.2   | Pengaruh Konsentrasi Reduktan Pada Pemulihan $\text{MnO}_2$ .....   | 27 |
| IV.2.    | Optimasi Menggunakan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)..... | 30 |
| IV.3     | Standar $\text{MnO}_2$ Komersial .....                              | 35 |
| BAB V    | KESIMPULAN DAN SARAN.....                                           | 38 |
| V.1      | Kesimpulan.....                                                     | 38 |
| V.2      | Saran .....                                                         | 38 |
| DAFTAR   | PUSTAKA .....                                                       | 39 |
| LAMPIRAN | .....                                                               | 45 |



## Laporan Hasil Penelitian

“Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)”

### DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar II. 1 Rangkaian Baterai Dry cell.....                                                                                                                                                            | 4  |
| Gambar II. 2 (a) Struktur dari $\alpha$ - $\text{MnO}_2$ tersusun atas rantai ganda $\text{MnO}_6$ oktahedral. (b) $\beta$ - $\text{MnO}_2$ tersusun atas rantai Tunggal $\text{MnO}_6$ oktahedral..... | 6  |
| Gambar II. 3 Diagram Eh-pH sistem Mn-Zn- $\text{H}_2\text{O}$ pada suhu, $25^\circ\text{C} \pm 0,5$ .....                                                                                               | 11 |
| Gambar II. 4 Penyusunan titik pada CCD.....                                                                                                                                                             | 14 |
| Gambar II. 5 Contoh dari BBD tiga faktor .....                                                                                                                                                          | 15 |
| Gambar III. 1 Komponen Baterai ABC .....                                                                                                                                                                | 18 |
| Gambar III. 2 Rangkaian alat Leaching gelombang mikro.....                                                                                                                                              | 19 |
| Gambar III. 3 Diagram alir preparasi sampel.....                                                                                                                                                        | 21 |
| Gambar III. 4 Diagram alir leaching dengan gelombang mikro .....                                                                                                                                        | 22 |
| Gambar III. 5 Diagram alir presipitasi oksidatif .....                                                                                                                                                  | 22 |
| Gambar IV. 1 Grafik pengaruh jumlah reduktan terhadap tingkat pemulihan (recovery) .....                                                                                                                | 28 |
| Gambar IV. 2 Plot Predicted vs. Actual.....                                                                                                                                                             | 33 |
| Gambar IV. 3 (a) Grafik Contour dan (b) grafik Respon 3D yang menunjukkan interaksi antara jumlah reduktan $\text{H}_2\text{O}_2$ sebagai A dan Waktu sebagai B terhadap recovery mangan .....          | 34 |



## Laporan Hasil Penelitian

“Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)”

---

### DAFTAR TABEL

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel II. 1 Komposisi <i>Dry Cell</i> .....                                                                       | 5  |
| Tabel II. 2 Sifat senyawa Mangan(IV) Oksida .....                                                                 | 6  |
| Tabel II. 3 Kategori CCD.....                                                                                     | 15 |
| Tabel II. 4 Jumlah trial pada CCD dan BBD .....                                                                   | 16 |
| Tabel IV. 1 Hasil Uji Pemulihan $\text{MnO}_2$ .....                                                              | 25 |
| Tabel IV. 2 Hasil Penelitian variabel reduktan $\text{H}_2\text{O}_2$ dan waktu ekstraksi.....                    | 27 |
| Tabel IV. 3 Faktor dan Respon pada RSM model CCD .....                                                            | 31 |
| Tabel IV. 4 Fit Summary hasil analisa DesignExpert 13.....                                                        | 31 |
| Tabel IV. 5 Analisis statistik model ANOVA untuk memprediksi tingkat recovery<br>pada proses hidrometalurgi ..... | 32 |
| Tabel IV. 6 Hasil Optimasi Numerical .....                                                                        | 35 |
| Tabel IV. 7 Parameter $\text{MnO}_2$ dalam Baterai C-Zn.....                                                      | 36 |



## Laporan Hasil Penelitian

“Pemulihan  $\text{MnO}_2$  dari Limbah *Dry Cell* melalui Proses Hidrometalurgi: RSM (*Response Surface Methodology*)”

---

### INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk memulihkan senyawa mangan dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) dari limbah baterai *dry cell* menggunakan metode hidrometalurgi yang dioptimasi dengan *Response Surface Methodology* (RSM). Latar belakang penelitian didasari oleh meningkatnya kebutuhan industri terhadap  $\text{MnO}_2$  di Indonesia yang masih dipenuhi melalui impor, serta masalah limbah baterai yang tergolong B3 (bahan berbahaya dan beracun). Proses hidrometalurgi dilakukan melalui tahap *leaching* dengan pelarut asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 1,2 M dibantu pemanasan gelombang mikro selama 10-50 menit dan penambahan reduktan Hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 0–2 % w/v pelarut, kemudian dilanjutkan presipitasi oksidatif menggunakan  $\text{KMnO}_4$  0,25 M untuk memperoleh endapan  $\text{MnO}_2$  murni. Variabel utama yang diuji adalah konsentrasi reduktan dan waktu *leaching*. Analisis dilakukan menggunakan metode permanganometri untuk menentukan kadar  $\text{MnO}_2$  dan *X-ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia. Hasil menunjukkan bahwa kemurnian Mn dalam produk akhir mencapai 96,10–97,33%, meningkat signifikan dari bahan awal yang hanya 64,61%. Optimasi menggunakan RSM model *Central Composite Design* (CCD) pada *software DesignExpert 13* yang menghasilkan kondisi optimum pada penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebesar 2 %w/v dan waktu selama 39,154 menit adalah  $96,761 \approx 96,8\%$  dan *desirability* sebesar 0,805. Hasilnya menunjukkan kesesuaian model yang sangat baik ( $R^2 = 0,9151$ ). Secara keseluruhan, proses hidrometalurgi dengan bantuan gelombang mikro dan reduktan  $\text{H}_2\text{O}_2$  terbukti efektif untuk mengekstrak dan memurnikan  $\text{MnO}_2$  dari limbah *dry cell*, dengan hasil yang melebihi standar  $\text{MnO}_2$  komersial (92%). Penelitian ini mendukung prinsip daur ulang limbah B3 dan SDGs dalam pengelolaan limbah elektronik serta pengurangan ketergantungan impor bahan baku industri.

**Kata Kunci:** hidrometalurgi, mangan dioksida, *dry cell*, *leaching*, presipitasi oksidatif