

**PENGARUH SUHU HIDROTERMAL TERHADAP  
KARAKTERISTIK MANGAN DIOKSIDA ( $MnO_2$ )  
SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
SUPERKAPASITOR**

**Skripsi**

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh gelar Sarjana Sains**



**Daffa Viandika Arisila  
1306620068**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2024**

**PENGARUH SUHU HIDROTERMAL TERHADAP  
KARAKTERISTIK MANGAN DIOKSIDA ( $\text{MnO}_2$ )  
SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
SUPERKAPASITOR**

**Skripsi**

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh gelar Sarjana Sains**











**Daffa Viandika Arisila  
1306620068**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PENGARUH SUHU HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISASI MANGAN DIOKSIDA ( $MnO_2$ ) SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Nama : Daffa Viandika Arisila  
No. Registrasi : 1306620068

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
<b>Penanggung Jawab</b>			
<b>Dekan</b>	: Prof. Dr. Muktiningsih N., M.Si NIP. 196405111989032001	 	19/07'24
<b>Wakil Penanggung Jawab</b>			
<b>Wakil Dekan I</b>	: Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 197207281999031002		19/07'24
<b>Ketua</b>	: Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si NIP. 198205262008121001		19/07'24
<b>Sekretaris</b>	: Haris Suhendar, M.Si NIP. 199404282022031006		19/07'24
<b>Anggota</b>			
<b>Pembimbing I</b>	: Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 197207281999031002		19/07'24
<b>Pembimbing II</b>	: Dr. Murni Handayani, M.Sc NIP. 197906072005022001		18/07'24
<b>Penguji</b>	: Prof. Dr. Erfan Handoko, M.Si NIP. 197302012003121002		15/07'24

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 11 Juli 2024.

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“PENGARUH SUHU HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK MANGAN DIOKSIDA ( $MnO_2$ ) SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA SUPERKAPASITOR”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah yang saya buat dengan arahan para dosen pembimbing.

Segala sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 11 Juli 2024



Daffa Viandika Arisila



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220  
Telepon/Faksimili: 021-4894221  
Laman: [lib.unj.ac.id](http://lib.unj.ac.id)

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : DAFFA VIANDIKA ARISILA  
NIM : 1306620068  
Fakultas/Prodi : FMIPA / FISIKA  
Alamat email : daffaviandika@gmail.com.

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi     Tesis     Disertasi     Lain-lain (.....)

yang berjudul :

PENGARUH SUHU HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK  
MANGAN DIOKSIDA ( $MnO_2$ ) SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
SUPERKAPASITOR

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 3 Agustus 2024

Penulis

(DAFFA VIANDIKA ARISILA)  
nama dan tanda tangan

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT karena telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Suhu Hidrotermal Terhadap Karakteristik Mangan Dioksida ( $MnO_2$ ) Sebagai Material Elektroda Superkapasitor” sebagai syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) dalam Program Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam program studi Fisika.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak sekali hambatan dan rintangan yang penulis hadapi namun akhirnya penulis bisa melaluinya hal ini karena adanya bantuan, dukungan dan juga bimbingan dari berbagai pihak baik moral maupun spiritual. Untuk itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Esmar Budi, M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing penulis, memberikan ilmu yang bermanfaat, semangat. Motivasi, contoh tauladan, dukungan serta arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar dan baik. Rasa syukur dan terima kasih yang mendalam penulis haturkan atas semua bimbingan dan dukungan yang telah diberikan.
2. Ibu Dr. Murni Handayani. M. Sc., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah dengan setia mendampingi penulis, memberikan ilmu yang sangat berharga, semangat, motivasi, serta contoh teladan yang menginspirasi, dan memberikan dukungan yang tulus baik secara mental maupun materi. Semua ini membuat penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan baik. Rasa syukur dan terima kasih yang mendalam penulis haturkan atas semua bimbingan dan dukungan yang telah diberikan.
3. Dr. Umiatin, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta.
4. Kedua orang tua bapak Susilo Budi dan ibu Titik Ariyani serta keluarga yang selalu mendoakan, mendukung, dan memotivasi penulis dalam keadaan apa pun.
5. Ibu Yosephin Dewiani Rahmayanti, S.Si., M.Sc., Ph.D., Dr. Desinta Dwi Ristiana, S.Si., Agung Esmawan, dan Muhammad Aulia Anggoro yang telah mendampingi dan membantu pada setiap kegiatan penelitian.

6. Seluruh dosen program studi fisika yang telah memberikan ilmu penulis dalam menempuh pendidikan sarjana.
7. Irsya Luthfiah Ramadhyagita, Rayhan Izzati, Annisa Feby, Aulia Putri, Catur Anthony, Bintang Ramadhan, Lily Amanda, Elsa Regita dan Febrian Zulmi selaku teman seperjuangan atas dukungan, masukan dan kerja samanya dalam melewati masa – masa Skripsi.
8. Michael Adrian, Farida Nisfu, Anisa Sita, Diego Joe, Arabella Saumadina yang turut berkontribusi untuk memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama menjalani penelitian Skripsi.
9. Teman–teman angkatan 2020 Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta atas dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian Skripsi berlangsung.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih memiliki kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, penulis memohon maaf apabila terdapat kekurangan dalam penulisan laporan ini, dan dengan rendah hati menerima segala kritik dan saran dari para pembaca. Penulis berharap agar Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan juga menjadi penambah ilmu pengetahuan bagi penulis. Semoga Allah Swt. senantiasa melimpahkan rahmat dan rida-Nya kepada kita semua.

Jakarta, 11 Juli 2024



Daffa Viandika Arisila

## ABSTRAK

**DAFFA VIANDIKA ARISILA.** Pengaruh Suhu Hidrotermal Terhadap Karakteristik Mangan Dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) Sebagai Material Elektroda Superkapasitor. Di bawah bimbingan ESMAR BUDI, MURNI HANDAYANI

Fase  $\alpha$  dan  $\beta$  Mangan Dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) berhasil disintesis melalui metode hidrotermal dengan variasi suhu  $160^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ , dan  $240^\circ\text{C}$  menggunakan  $\text{KMnO}_4$  dan  $\text{HCl}$  sebagai bahan dasar untuk mempelajari kinerja elektrokimia material elektroda superkapasitor. Difraksi sinar-X mengkonfirmasi terbentuknya fase  $\alpha\text{-MnO}_2$  (hollandite) pada suhu  $160^\circ\text{C}$  dan  $200^\circ\text{C}$ , serta fase  $\beta\text{-MnO}_2$  (pyrolusite) pada suhu  $240^\circ\text{C}$ . Spektroskopi Raman menunjukkan perubahan struktur *tunnel* dari  $\alpha\text{-MnO}_2$  [ $2 \times 2$ ] menjadi  $\beta\text{-MnO}_2$  [ $1 \times 1$ ]. Ukuran kristalit meningkat dengan kenaikan suhu. FTIR dan spektroskopi Raman mengkonfirmasi gugus fungsi dan pergerakan vibrasi Mn-O. Analisis *UV-Vis* menunjukkan reduksi Mn(VII) menjadi Mn(IV) serta nilai *bandgap* pada  $\text{MnO}_2$  masing-masing sebesar 2,1 eV, 1,8 eV, dan 5,3 eV yang memiliki hubungan dengan konduktivitas dari material tersebut. Analisis SEM mengungkapkan morfologi yang berbeda, dimana  $\alpha\text{-MnO}_2\text{-160}$  membentuk *nanorods*,  $\alpha\text{-MnO}_2\text{@}200$  membentuk *nanoflowers*, dan  $\beta\text{-MnO}_2\text{@}240$  membentuk *microrods by pyramid prism*. Luas permukaan BET menurun seiring dengan kenaikan suhu. Karakterisasi elektrokimia seperti CV, GCD, dan EIS digunakan untuk menganalisis sifat pseudokapasitif dari bahan elektroda yang disintesis dalam sel tiga-elektroda menggunakan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M. Nilai spesifik kapasitansi yang dihasilkan pada *nanoflowers* ( $530.4 \text{ F g}^{-1}$ ) menunjukkan kinerja elektrokimia yang lebih baik daripada *nanorods* ( $329.7 \text{ F g}^{-1}$ ) pada suhu yang lebih rendah dan prisma *by pyramid* ( $258.6 \text{ F g}^{-1}$ ) yang diperoleh pada suhu yang lebih tinggi pada rapat arus  $0,5 \text{ A g}^{-1}$ . Oleh karena itu, material  $\text{MnO}_2$  yang disintesis menggunakan metode hidrotermal menunjukkan kinerja elektrokimia yang sangat baik, yang menunjukkan potensi sebagai bahan elektroda superkapasitor.

**Kata kunci :** Mangan Dioksida ( $\text{MnO}_2$ ), metode hidrotermal, kinerja elektrokimia, elektroda superkapasitor



## ABSTRACT

**DAFFA VIANDIKA ARISILA.** Effect of Hydrothermal Temperature on the Characteristics of Manganese Dioxide ( $\text{MnO}_2$ ) as Supercapacitor Electrode Material. Under the guidance of ESMAR BUDI, MURNI HANDAYANI

Manganese dioxide ( $\text{MnO}_2$ )  $\alpha$  and  $\beta$  phases were successfully synthesized through the hydrothermal method with temperature variations of 160°C, 200°C, and 240°C using  $\text{KMnO}_4$  and HCl as basic materials to study the electrochemical performance of supercapacitor electrode materials. X-ray diffraction confirmed the formation of the  $\alpha$ - $\text{MnO}_2$  (hollandite) phase at 160°C and 200°C, and the  $\beta$ - $\text{MnO}_2$  (pyrolusite) phase at 240°C. Raman spectroscopy showed a change in tunnel structure from  $\alpha$ - $\text{MnO}_2$  [ $2 \times 2$ ] to  $\beta$ - $\text{MnO}_2$  [ $1 \times 1$ ]. The crystallite size increased with rising temperature. FTIR and Raman spectroscopy confirmed the functional groups and vibrational movement of Mn-O. UV-Vis analysis showed the reduction of Mn(VII) to Mn(IV) as well as bandgap values in  $\text{MnO}_2$  of 2.1 eV, 1.8 eV, and 5.3 eV, respectively, which relate to the material's conductivity. SEM analysis revealed different morphologies, where  $\alpha$ - $\text{MnO}_2$  synthesized at 160°C formed nanorods,  $\alpha$ - $\text{MnO}_2$  synthesized at 200°C formed nanoflowers, and  $\beta$ - $\text{MnO}_2$  synthesized at 240°C formed microrods with a bypyramid prism structure. The BET surface area decreased as the temperature increased. Electrochemical characterizations such as cyclic voltammetry (CV), galvanostatic charge-discharge (GCD), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) were used to analyze the pseudocapacitive properties of the synthesized electrode materials in a three-electrode cell using 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  electrolyte. The specific capacitance values generated by the nanoflowers ( $530.4 \text{ F g}^{-1}$ ) showed better electrochemical performance than the nanorods ( $329.7 \text{ F g}^{-1}$ ) at lower temperatures and the bypyramid prisms ( $258.6 \text{ F g}^{-1}$ ) obtained at higher temperatures at a current density of  $0.5 \text{ A g}^{-1}$ . Therefore, the  $\text{MnO}_2$  material synthesized using the hydrothermal method exhibits excellent electrochemical performance, demonstrating its potential as a supercapacitor electrode material.

**Keywords:** Manganese Dioxide ( $\text{MnO}_2$ ), hydrothermal method, electrochemical performance, supercapacitor electrode

## DAFTAR ISI


HALAMAN SAMPUL .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR SINGKATAN .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
A. Mangan Dioksida (MnO <sub>2</sub> ) .....	6
B. Hidrotermal .....	9
C. Superkapasitor .....	11
D. Elektrokimia .....	14
E. Karakterisasi .....	16
F. Penelitian Terdahulu .....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	28
A. Waktu dan Tempat Kegiatan .....	28
B. Metode Penelitian .....	28

C. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data .....	35
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
A. Mekanisme sintesis MnO <sub>2</sub> .....	37
B. Difraksi Sinar – X (XRD).....	41
C. Spektroskopi Ultraviolet - Cahaya Tampak (UV -Vis).....	44
D. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) .....	45
E. <i>Raman Spectroscopy</i> .....	47
F. SEM dengan EDX .....	49
G. <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	53
H. <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	55
I. <i>Galvanostatic Charge Discharge</i> (CV) .....	58
J. <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS) .....	61
K. Peta Hasil Penelitian.....	63
L. Kelebihan dan Kekurangan Penelitian.....	67
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>69</b>
A. Kesimpulan .....	69
B. Saran.....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>87</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>117</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram dimensi sel kristal $\text{MnO}_2$ .....	8
Gambar 2.2 Proses hidrotermal.....	10
Gambar 2.3 Plot Ragone berbagai perangkat penyimpanan dan konversi energi..	11
Gambar 2.4 Klasifikasi kapasitor elektrokimia EDLC .....	12
Gambar 2.5 Ilustrasi skematik dari EDLC.....	13
Gambar 2.6 Skematis pseudokapasitor.....	14
Gambar 2.7 Skematik prinsip XRD .....	17
Gambar 2.8 Prinsip kerja raman spektroskopi .....	19
Gambar 2.9 Skema SEM.....	21
Gambar 2.10 Prinsip kerja BET .....	22
Gambar 3.1 Sintesis $\text{MnO}_2$ dengan metode hidrotermal.....	29
Gambar 3.2 Skematik pengujian Elektrokimia.....	30
Gambar 3.3 Bagan alir penelitian.....	32
Gambar 3.4 Bagan alir sintesis $\text{MnO}_2$ .....	33
Gambar 3.5 Bagan alir pengujian elektrokimia material $\text{MnO}_2$ .....	34
Gambar 4.1 Pelarutan $\text{KMnO}_4$ dan $\text{HCl}$ .....	38
Gambar 4.2 Metode Hidrotermal berlangsung.....	39
Gambar 4.3 Proses pencucian $\text{MnO}_2$ .....	39
Gambar 4.4 (a) $\text{MnO}_2$ -160, (b) $\text{MnO}_2$ -200, dan (c) $\text{MnO}_2$ -240 .....	40
Gambar 4.5 (a) Pola Difraksi Sinar – X.....	41
Gambar 4.6 (a) Grafik <i>UV-Vis</i> $\text{MnO}_2$ dan <i>Bandgap</i> .....	44
Gambar 4.7 Grafik FTIR $\text{MnO}_2$ .....	45
Gambar 4.8 Grafik analisis Raman Shift .....	47
Gambar 4.9 Morfologi dan persentase komposisi kimia.....	49
Gambar 4.10 Transisi $\text{MnO}_2$ dibawah pengaruh suhu .....	50
Gambar 4.11 (a) Grafik Isotherm, dan (b) Grafik Pore diameter $\text{MnO}_2$ .....	53
Gambar 4.12 Grafik analisis CV .....	55
Gambar 4.13 Grafik analisis GCD .....	58
Gambar 4.14 <i>Nyquist plot</i> $\alpha$ - $\text{MnO}_2@160$ , ,.....	61

## DAFTAR SINGKATAN



AC	: <i>Alternating Current</i>
BET	: <i>Brunauer-Emmett-Teller</i>
CV	: <i>Cyclic Voltammetry</i>
DL	: <i>Double Layer</i>
Ecs	: <i>Electrochemical Capacitor</i>
EDLC	: <i>Electric Double Layer Capacitor</i>
EDX	: <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i>
EIS	: <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>
FESEM	: <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i>
FTIR	: <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
FWHM	: <i>Full Width at Half Maximum</i>
GCD	: <i>Galvanostatic Charge – Discharge</i>
GCE	: <i>Glassy Carbon Electrode</i>
IUPAC	: <i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscopy</i>
TEM	: <i>Transmission Electron Microscopy</i>
UV – Vis	: <i>Ultraviolet-Visible Spectroscopy</i>
XRD	: <i>X – Ray Diffraction</i>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kapasitansi teoritis Transisi Oksida Logam .....	7
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan .....	28
Tabel 4.1 Ukuran kristal MnO <sub>2</sub> .....	43
Tabel 2.3 Komposisi dan unsur MnO <sub>2</sub> .....	52
Tabel 4.2 Data luas area permukaan .....	53
Tabel 4.3 Nilai spesifik kapasitansi MnO <sub>2</sub> berdasarkan CV .....	57
Tabel 4.4 Nilai kapasitansi spesifik berdasarkan GCD.....	60
Tabel 4.5 Nilai resistansi berdasar EIS .....	62



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat Sintesis MnO <sub>2</sub> .....	87
Lampiran 2. Bahan sintesis MnO <sub>2</sub> .....	89
Lampiran 3. Proses sintesis MnO <sub>2</sub> .....	90
Lampiran 4. Sampel Yang dihasilkan .....	92
Lampiran 6. Foto Kegiatan Lokasi Tugas Akhir .....	96
Lampiran 7. Grafik XRD MnO <sub>2</sub> .....	97
Lampiran 8. Perhitungan Ukuran Kristal .....	98
Lampiran 9. Data Referensi Difraksi sinar X.....	99
Lampiran 10. Grafik Perhitungan <i>UV-Vis</i> (BandGap).....	105
Lampiran 11. Grafik pengujian FTIR .....	107
Lampiran 12. Data grafik pengujian Raman .....	108
Lampiran 13. Perhitungan diameter partikel SEM .....	108
Lampiran 14. Data grafik BET.....	109
Lampiran 15. Perhitungan Cyclic Voltammetry .....	110
Lampiran 16. Perhitungan Galvanostatic charge discharge.....	114
Lampiran 17. Perhitungan Electrochemical Impedance Spectroscopy .....	115