

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSETUJUAN UJIAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN.....	v
PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II	5
DASAR TEORI	5
2.1 Superkapasitor	5
2.1.1 Klasifikasi Superkapasitor.....	5
2.2.1 <i>Electrical Double-Layer Capacitor</i> (EDLC)	5
2.2.2 Pseudokapasitor	6
2.2.3 Superkapasitor Hibrida.....	7
2.3 Material Elektroda Superkapasitor	8
2.3.1 Reduksi Grafena Oksida (rGO).....	8
2.3.2 Mangan Dioksida (MnO ₂).....	9
2.4 Metode Hidrothermal	10

2.5	Metode Hummer	11
2.6	Metode Sintesis Hijau	14
2.7	Kulit Pisang	15
2.8	Karakterisasi Material Komposit	15
2.8.1	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	15
2.8.2	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	17
2.9	Pengujian Elektrokimia Material Elektroda	18
2.9.1	<i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	18
2.9.2	<i>Galvanostatic Charge Discharge</i> (GCD).....	19
2.9.2	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	20
BAB III.....		23
METODE PENELITIAN		23
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2	Bahan dan Alat Penelitian	23
3.2.1	Bahan Penelitian.....	23
3.2.2	Alat Penelitian.....	24
3.3	Prosedur Penelitian.....	25
3.3.1.	Sintesis Grafena Oksida (GO).....	25
3.3.2	Pembuatan Ekstrak Kulit Pisang.....	26
3.3.3	Pembuatan Komposit rGO/MnO ₂	27
3.3.3	Preparasi Elektroda Komposit rGO/MnO ₂	27
3.3.4	Karakterisasi Material	28
3.3.5	Pengujian Elektrokimia Elektroda	29
3.4	Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV		33
HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Analisis Struktur Kristal dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	33
4.2	Analisis Morfologi SEM-EDX.....	38
4.3	Uji <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	42
4.4	Uji <i>Galvanostatic Charge Discharge</i> (GCD).....	48
4.5	Uji <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	55
BAB V.....		59

PENUTUP	59
5.1. Kesimpulan.....	59
1.2. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN-LAMPIRAN	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik grafena, GO dan rGO	9
Tabel 3.1 Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian.....	23
Tabel 3.2 Alat yang digunakan dalam penelitian.....	24
Tabel 4.1 Hasil analisis XRD material rGO dari persamaan Scherrer.....	36
Tabel 4.2 Hasil analisis XRD material MnO ₂ dari persamaan Scherrer.....	37
Tabel 4.3 Nilai spesifik kapasitansi rGO/MnO ₂ berbasis ekstrak kulit pisang dengan variasi temperatur hidrothermal berdasarkan CV	46
Tabel 4.4 Nilai kapasitansi spesifik rGO/MnO ₂ berbasis ekstrak kulit pisang dengan variasi temperatur hidrothermal berdasarkan GCD	50
Tabel 4.5 Nilai rapat energi rGO/MnO ₂ berbasis ekstrak kulit pisang dengan variasi temperatur hidrothermal berdasarkan GCD	51
Tabel 4.6 Nilai R ₁ , R ₂ , dan C ₁ material rGO/MnO ₂ berbasis ekstrak kulit pisang dengan variasi temperatur hidrothermal berdasarkan EIS	56
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Kapasitansi Spesifik Material rGO/MnO ₂ dengan berbagai metode sintesis	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Kerja EDLC (Miller dkk., 2018)	6
Gambar 2.2 Mekanisme Pseudokapasitor (Shi dkk., 2014).....	7
Gambar 2.3 Mekanisme Superkapasitor Hibrida (Banerjee dkk., 2025).....	8
Gambar 2.4 Skema Reduksi Grafena Oksida (rGO) (Li dkk., 2023).....	9
Gambar 2.5 Struktur kristal MnO ₂ (Song dkk., 2021).....	10
Gambar 2.6 Difraksi sinar-X pada jarak antar atom d dan sinar datang θ (Alfarisa dkk., 2018)	16
Gambar 2.7 Representasi khas voltamogram siklik: (a) EDLC, (b) Pseudokapasitor, dan (c) kapasitor Faradic (seperti baterai) (Mohamad, 2025).....	18
Gambar 2. 8 Profil GCD untuk membedakan material EDLC, pseudo kapasitif, dan tipe baterai (Jiang dan Liu, 2019)	19
Gambar 2. 9 Rangkaian ekivalen Randles, (b) Plot Nyquist (Fernández-Sánchez dkk., 2005).	22
Gambar 3.1 Sintesis Graphene Oxide	26
Gambar 3.2 Ekstraksi Kulit Pisang.....	26
Gambar 3.3 Sintesis Nanokomposit rGO/MnO ₂	27
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian sintesis Grafena Oksida.....	30
Gambar 3.5 Diagram Alir penelitian ekstraksi kulit pisang.....	31
Gambar 3.6 Diagram alir penelitian sintesis rGO/MnO ₂	32
Gambar 4.1 Hasil XRD GO dan komposit rGO/MnO ₂ temperatur 140 °C, 160°C, dan 180 °C	33
Gambar 4.2 Hasil Analisis Microstrain Williamson-Hall Plot komposit rGO/MnO ₂ temperatur 140 °C, 160°C, dan 180 °C	38
Gambar 4.3 Hasil Karakterisasi SEM-EDX rGO/MNO ₂ temperatur a) dan b) 140 °C, c) dan d) 160°C, e) dan f) 180 °C	39
Gambar 4.4 Distribusi lebar ukuran parikel dari (a) komposit rGO/MnO ₂ 140C, (b) rGO/MnO ₂ 160C, dan (c) rGO/MnO ₂ 180C	42
Gambar 4.5 Kurva CV Laju Pemindaian, 100-5 mV s ⁻¹ rGO/MnO ₂ temperatur a) 140 °C, b) 160°C, c) 180 °C.....	44

Gambar 4.6 Perbandingan Laju Pemindaian 5 mV s^{-1} material rGO/MnO ₂ temperatur 140 °C, 160°C, 180 °C.....	45
Gambar 4.7 Kapasitansi spesifik vs. laju pemindaian dari komposit rGO/MnO ₂ 140°C, rGO/MnO ₂ 160 °C, dan rGO/MnO ₂ 180°C.....	47
Gambar 4.8 Grafik analisis GCD komposit β - rGO/MnO ₂	49
Gambar 4.9 Grafik GCD pada rentang potensial $0,5 \text{ A g}^{-1}$ material nanokomposit rGO/MnO ₂	50
Gambar 4.10 (a) Kapasitansi spesifik vs. Rapat arus dan (b) Ragone plot dari komposit rGO/MnO ₂	53
Gambar 4.11 Nyquist plot material komposit rGO/MnO ₂	55
Gambar 4.12 Rangkaian Randles Hasil Pengujian EIS.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Alat dan Bahan Ekstraksi Kulit Pisang, Sintesis GO dan Komposit rGO/MnO ₂	75
Lampiran B. Proses Sintesis.....	79
Lampiran C. Sampel yang Dihasilkan	85
Lampiran D. Proses Pengujian Elektrokimia	86
Lampiran E. Perhitungan Tekanan Hidrothermal	88
Lampiran F. Grafik XRD Komposit rGO/MnO ₂	90
Lampiran G. Perhitungan Ukuran Kristal	93
Lampiran G. Perhitungan Diameter Partikel SEM	98
Lampiran H. Perhitungan Porositas SEM	105
Lampiran I. Perhitungan <i>Cyclic Voltammetry</i>	109
Lampiran J. Perhitungan <i>Galvanostatic Charge Discharge</i>	111