

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
INTISARI	xi
ABSTRACT	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	7
1.6. Sistematika Penulisan	7
II TINJAUAN PUSTAKA	9
III DASAR TEORI	14
3.1. Sejarah Superkapasitor	14
3.2. Superkapasitor	16
3.3. Klasifikasi Superkapasitor	18
3.3.1. Kapasitor Lapisan Ganda Listrik (EDLC)	18
3.3.2. Pseudokapasitor	19
3.3.3. Superkapasitor Hibrida	20
3.4. Material Elektroda Superkapasitor	21
3.4.1. <i>Reduced Graphene Oxide</i> (rGO)	21
3.4.2. <i>Mangeneses Dioxide</i> (MnO ₂)	23
3.5. Metode Hidrotermal	25
3.6. Karakterisasi Material Komposit	25
3.6.1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	25
3.6.2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	27
3.6.3. <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	29
3.6.4. <i>Raman spectroscopy</i>	31

3.6.5. <i>Surface Area Analyzer (SAA)</i>	34
3.7. Pengujian Elektrokimia Material Elektroda	36
3.7.1. <i>Cyclic Voltametry (CV)</i>	38
3.7.2. <i>Galvanostatic Charge/Discharge (GCD)</i>	39
3.7.3. <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	41
IV METODE PENELITIAN	43
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	43
4.2. Bahan dan Alat Penelitian	43
4.3. Diagram Alir Penelitian	45
4.4. Prosedur Penelitian	47
4.4.1. Sintesis GO	47
4.4.2. Sintesis Komposit rGO/MnO ₂	48
4.5. Preparasi Elektroda Komposit rGO/MnO ₂	49
4.6. Karakterisasi Material dan Pengujian Elektroda Superkapasitor	50
4.6.1. Karakterisasi XRD	50
4.6.2. Karakterisasi SEM	50
4.6.3. Karakterisasi FTIR	51
4.6.4. Karakterisasi Raman	51
4.6.5. Karakterisasi SAA	51
4.6.6. Pengujian Elektrokimia Elektroda Superkapasitor	52
V HASIL DAN PEMBAHASAN	53
5.1. Mekanisme Sintesis <i>Graphene Oxide (GO)</i>	53
5.2. Mekanisme Sintesis Komposit rGO/MnO ₂	55
5.3. Analisis Struktur Kristal dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	56
5.4. Analisis Morfologi dengan SEM-EDX	59
5.5. Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR	62
5.6. Analisis Vibrasi Molekul dengan <i>Raman Spectroscopy</i>	63
5.7. Analisis Luas Permukaan dengan SAA	65
5.8. Uji <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	67
5.9. Uji <i>Galvanostatic Charge/Discharge (GCD)</i>	70
5.10. Uji <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	73
VI KESIMPULAN DAN SARAN	75
6.1. Kesimpulan	75
6.2. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	78

DAFTAR GAMBAR

2.1	Skema metode sintesis hidrotermal satu langkah (Singu dan Yoon, 2017).	10
2.2	Gambar SEM dari (a) rGO, (b) MnO ₂ @120, (c) MnO ₂ /rGO@120 (d) MnO ₂ /rGO@100, dan (e) MnO ₂ /rGO@140, (f) XRD dari rGO, MnO ₂ @120, dan MnO ₂ /rGO@120 (Vimuna dkk., 2021).	11
2.3	(a) Kurva CV, (b) kurva GCD, dan (c) kapasitansi spesifik pada arus yang berbeda dari MnO ₂ /rGO@100, MnO ₂ /rGO@120, dan MnO ₂ /rGO@140 (Vimuna dkk., 2021).	12
3.1	Jumlah publikasi tentang superkapasitor dari beberapa tahun terakhir (Kumar dkk., 2021).	16
3.2	Ragone plot untuk berbagai jenis perangkat penyimpanan energi (Lokhande dkk., 2020).	17
3.3	Ilustrasi skema proses pengisian/pengosongan pada superkapasitor EDLC (Miller dkk., 2018).	18
3.4	Skema Dasar Pseudokapasitor (Miller dkk., 2018).	20
3.5	Diagram skema pembentukan GO dan rGO (Lee dkk., 2015).	22
3.6	Struktur kristal MnO ₂ (Kour dkk., 2022a).	23
3.7	Foto dari <i>teflon-lined autoclave</i> (Kafle, 2020).	25
3.8	Difraksi Sinar X pada Struktur Kristal (Epp, 2016).	26
3.9	Diagram skema komponen inti dari SEM (Inkson, 2016).	28
3.10	Jenis-jenis derajat mode vibrasi (Hou dkk., 2018).	30
3.11	Prinsip kerja dari FTIR (Mohamed dkk., 2017).	31
3.12	Diagram proses hamburan Rayleigh dan Raman (Stokes dan anti-Stokes) (Ember dkk., 2017).	32
3.13	Sistem skema dari spektroskopi Raman (Ember dkk., 2017).	33
3.14	Klasifikasi isoterm BET dari IUPAC (Ambroz dkk., 2018).	35
3.15	Skema ilustrasi dari a) sistem tiga elektrodan dan b) sistem dua elektroda (Liu dan Liu, 2019).	38
3.16	Contoh dari voltamogram siklik (Fernandez dkk., 2022).	39
3.17	a) Kurva GCD untuk superkapasitor ideal dan b) Distorsi kurva GCD karena reaksi Faradaik (Azman dkk., 2018).	40
3.18	Skema <i>Nyquist plot</i> dari EIS (Mei dkk., 2018).	42
4.1	Diagram alir penelitian sintesis <i>graphene oxide</i>	45

4.2	Diagram alir penelitian sintesis rGO/MnO ₂	46
4.3	Sintesis <i>graphene oxide</i> (GO).	47
4.4	Sintesis komposit rGO/MnO ₂	48
5.1	Foto dari serbuk <i>graphene oxide</i>	55
5.2	Foto dari serbuk komposit rGO/MnO ₂ dengan variasi suhu hidrotermal	56
5.3	Pola difraksi dari (a) GO dan (b-c) komposit rGO/MnO ₂ @160, rGO/MnO ₂ @200, dan rGO/MnO ₂ @240.	57
5.4	Citra SEM dari (a) GO, (b) komposit rGO/MnO ₂ @160, (c) rGO/MnO ₂ @200, dan (d) rGO/MnO ₂ @240.	59
5.5	Distribusi lebar batang dari (a) komposit rGO/MnO ₂ @160, (b) rGO/MnO ₂ @200, dan (c) rGO/MnO ₂ @240.	60
5.6	Analisis EDX dari (a) GO, (b) komposit rGO/MnO ₂ @160, (c) rGO/MnO ₂ @200, dan (d) rGO/MnO ₂ @240.	61
5.7	<i>Elemental mapping</i> dari (a-d) GO, (e-h) komposit rGO/MnO ₂ @160. (i-l) rGO/MnO ₂ @200, dan (m-p) rGO/MnO ₂ @240.	61
5.8	Spektrum FTIR dari GO, komposit rGO/MnO ₂ @160, rGO/MnO ₂ @200, dan rGO/MnO ₂ @240.	62
5.9	Spektrum Raman dari GO, komposit rGO/MnO ₂ @160, rGO/MnO ₂ @200, dan rGO/MnO ₂ @240.	64
5.10	Isoterm adsorpsi/desorpsi N ₂ dari (a) komposit rGO/MnO ₂ @160, (b) rGO/MnO ₂ @200, dan (c) rGO/MnO ₂ @240. (d) diagram batang yang menunjukkan luas permukaan spesifik dari komposit rGO/MnO ₂ dengan variasi suhu hidrotermal.	66
5.11	Kurva CV dari (a) rGO/MnO ₂ @160, (b) rGO/MnO ₂ @200, (c) rGO/MnO ₂ @240, dan (d) perbandingan <i>scan rate</i> 5 mV s ⁻¹	68
5.12	Kapasitansi spesifik vs. <i>scan rate</i> dari komposit rGO/MnO ₂ @160, rGO/MnO ₂ @200, dan rGO/MnO ₂ @240.	69
5.13	Kurva CV dari (a) rGO/MnO ₂ @160, (b) rGO/MnO ₂ @200, (c) rGO/MnO ₂ @240, dan (d) perbandingan <i>scan rate</i> 2,5 A g ⁻¹	70
5.14	(a) Kapasitansi spesifik vs. Rapat arus dan (b) <i>Ragone plot</i> dari komposit rGO/MnO ₂ @160, rGO/MnO ₂ @200, dan rGO/MnO ₂ @240. 72	
5.15	Kapasitansi retensi dari komposit rGO/MnO ₂ @240.	72
5.16	<i>Nyquist plot</i> dari komposit rGO/MnO ₂ @160, rGO/MnO ₂ @200, dan rGO/MnO ₂ @240.	73

DAFTAR TABEL

3.1 Perbandingan superkapasitor EDLC, Pseudokapasitor, dan Hibrida (Lokhande dkk., 2020).	21
4.1 Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian	43
4.2 Alat-alat yang digunakan dalam penelitian	44
5.1 Jarak antar lapisan	58
5.2 Rata-rata ukuran kristalit, parameter kisi, dan volume satuan sel . .	58
5.3 Hasil analisis gugus fungsi pada FTIR	63
5.4 Hasil Analisis dari spektroskopi Raman	65
5.5 Hasil perhitungan kapasitansi spesifik dari kurva CV	69
5.6 Kapasitansi spesifik dari kurva GCD.	71
5.7 Analisis pengukuran EIS dari material elektroda komposit rGO/MnO ₂	74