

Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$ Untuk Aplikasi Superkapasitor

Herma Syafika¹, Riri Jonuarti²

¹²Program Studi Fisika, Universitas Negeri Padang
e-mail: hermasyafika1@gmail.com

Abstrak

Dengan memasukkan pupuk organik ke dalam tanah, kualitas fisik, kimia, dan biologisnya dapat ditingkatkan. Pupuk seperti ini tersedia dalam bentuk padat dan cair, dan sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari senyawa yang telah difermentasi atau terurai dari tanaman atau hewan. Penggunaan pupuk organik memiliki banyak manfaat, termasuk memenuhi semua kebutuhan nutrisi tanaman (mikro dan makro), Mengubah tanah yang padat menjadi remah-remah kecil yang mudah hancur meningkatkan kualitas fisik tanah, Hasil pengukuran dan analisis data diketahui bahwa pengaruh penambahan variasi doping $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2$ dengan MMT berpotensi sebagai material elektroda untuk aplikasi superkapasitor.

Kata kunci: *MMT, Fe_2O_3 , MnO_2 , Sol gel, Superkapasitor*

Abstract

The chemical formula of montmorillonite (MMT) is $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, and it is a clay mineral that is notably found in the smectite subgroup of the phyllosilicate group. With a focus on MMT's potential as a supercapacitor, this research seeks to understand the impact of doping changes on $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2$ on the material's electrical and structural characteristics. The XRD spectrum investigation of MMT did not reveal the presence of any impurity phases. Nevertheless, an amorphous phase was produced upon the incorporation of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2$ nanocomposite doping. Doping MMT with Fe_2O_3 and MnO_2 improved its electrical characteristics. In this study, sol-gel was employed to create nanocomposites of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$ with different compositions, ranging from 1.5 g to 5 g. Based on the data and measurements, MMT with varying concentrations of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2$ doped into it might be a promising electrode material for use in supercapacitors.

Keywords : *MMT, Fe_2O_3 , MnO_2 , Sol gel, Supercapacitor*

PENDAHULUAN

Kebutuhan perangkat penyimpanan energi yang efisien dan berkelanjutan semakin meningkat seiring perkembangan teknologi. Kapasitor konvensional memiliki keunggulan dalam rapat daya ($1,0 \times 10^2$ - $2,7 \times 10^{10}$ kW/kg) dan siklus hidup (>10.000 siklus) (Subagio, A. dkk. 2014). Namun, rapat energinya rendah ($<0,05$ Wh/kg) sehingga membatasi penggunaannya untuk aplikasi yang membutuhkan energi besar. Untuk meningkatkan rapat energi dan rapat daya pada superkapasitor dilakukan pengembangan nanokomposit, dikarenakan struktur nanokomposit dapat mengoptimalkan peningkatan aksesibilitas ion terhadap kinerja superkapasitor. Superkapasitor memiliki kemampuan menyimpan energi yang 10 hingga 100 kali lebih besar dibandingkan dengan baterai dan kapasitor biasa, karena dapat mentransfer muatan faradik yang meningkatkan performa kapasitansinya. Salah satu komponen penting dalam superkapasitor adalah elektroda, yang memiliki kemampuan untuk mentransfer muatan dan meningkatkan kinerja kapasitansi (Yuda et al., 2021). Pemilihan material elektroda adalah faktor penting yang berperan dalam meningkatkan kinerja kapasitansi superkapasitor (Forouzandeh et al., 2020).

Untuk mendapatkan elektroda yang sesuai dengan yang diinginkan, elektroda harus mempunyai stabilitas termal, dan kapasitansi tinggi (Ariyanto et al., 2012). Pemilihan oksida logam transisi seperti Fe_2O_3 dan MnO_2 dapat menunjukkan potensi sebagai bahan elektroda berkinerja tinggi (Shah et al., 2018). Kelebihan dari oksida logam ini memiliki kapasitansi spesifik yang tinggi, stabilitas siklus yang baik, dan kemampuan untuk berpartisipasi dalam reaksi redoks, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan kinerja superkapasitor. Selain itu, ketersediaan dan biaya rendah dari bahan-bahan ini menjadikannya pilihan yang menarik untuk aplikasi superkapasitor. Namun, oksida logam transisi seperti Fe_2O_3 dan MnO_2 memiliki kelemahan seperti sebagian besar membatasi efisiensi kapasitansi material, sehingga material tersebut tidak menunjukkan kinerja daya yang tinggi (Zhang, Q.Z. et al, 2018). Dengan penambahan montmorillonite (MMT) sebagai bahan baku untuk aplikasi superkapasitor karena strukturnya yang berlapis dapat diinterkalasi, meningkatkan luas permukaan serta kapasitas pertukaran kation yang tinggi untuk penyimpanan muatan (Neelamma, M.K, et al., 2022).

Montmorillonite (MMT) adalah jenis mineral lempung yang termasuk dalam kelompok phyllosilicates, khususnya dalam sub kelompok smektit dengan komposisi kimianya adalah $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. MMT memiliki struktur berlapis yang memungkinkan interkalasi ion dan meningkatkan kapasitas penyimpanan energi. Struktur ini juga memberikan luas permukaan yang tinggi, yang esensial untuk meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor (Alekseeva, O., dkk, 2019).

Oleh karena itu, teknik sol gel digunakan dalam penelitian ini. Dengan manfaatnya yang unik, seperti membatasi kontaminasi dan menjamin kemurnian tinggi, pendekatan ini merupakan salah satu cara paling efektif untuk membuat material oksida logam berukuran nano (Kumar, A., 2020).

METODE

Bahan-bahan penelitian ini meliputi: Monmorillonite (MMT), irone oxide (Fe_2O_3), Mangan oksida (MnO_2), asam klorida (HCL), ethanol, aquades, dan propylen glycol. Alat yang digunakan adalah timbangan digital, gelas beaker (100 ml), gelas ukur, pipet tetes, lumpang/mortar, magnetic stirer, hot plat, spatula, ayakan 200 mesh, dan oven. Karakterisasi yang digunakan adalah X-Ray Diffraction (XRD) , Fourier Transform Infra Red (FTIR).

pengujian sampel dengan alat karakterisasi XRD untuk menentukan ukuran kristal, kemudian melakukan pengukuran dengan perangkat lunak HighScore Plus untuk melihat nilai yang dibutuhkan untuk perhitungan ukuran kristal, menggunakan perangkat lunak origin untuk memplot grafik data XRD, dan terakhir menghitung ukuran kristal dengan Microsoft Excel. Persamaan Debye-Scherrer digunakan untuk menentukan ukuran kristal (Sinaga, Z., & Joniwarta 2020).

$$D = \frac{0,94\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Dimana:

“D = ukuran kristal D (nm)

λ = Panjang gelombang dari radiasi sinar X (nm)

β = nilai FWHM dalam satuan radian ($^\circ$)

θ = sudut difraksi bragg”

Prosedur Kerja

1. Sintesis Nanokomposit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$

Penelitian dimulai dengan menimbang serbuk $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$ dalam variasi berikut: (0,5g : 1,5g : 3g), (1,5g : 0,5g : 3g), (1g : 1g : 3g), dan khusus MMT sebanyak 5g. Selanjutnya, sampel $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$ dilarutkan dalam 20 ml aquades. Dalam proses ini, ditambahkan campuran HCl dan propilen glikol dengan perbandingan 1:1. Tahap selanjutnya adalah membuat sol dengan cara mengaduk campuran tersebut dengan pengaduk magnet hingga tercampur sempurna. Larutan dipanaskan dalam tungku dengan suhu 80 $^\circ\text{C}$ setelah terbentuk sol untuk menghasilkan gel. Setelah itu, gel dipadatkan dengan cara dipanaskan pada suhu 300 $^\circ\text{C}$ selama empat jam. Setelah proses kalsinasi, padatan digerus dan ditumbuk menggunakan lumpang alu, lalu diayak dengan ayakan 200 mesh untuk menghasilkan serbuk nanokomposit.

Pada akhir proses, bubuk nanokomposit telah diperiksa secara menyeluruh menggunakan metode Difraksi Sinar-X (XRD) dan Fourier Transform Infra Red (FTIR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa X-Ray Diffrakction (XRD)

Pengukuran dan perhitungan terhadap hasil karakterisai dengan alat instrument XRD yaitu dilakukan menggunakan Software HighScore Plus, Software Origin, dan Exel. Software HighScore Plus digunakan untuk melihat zat aktif yang terkandung, nama mineral, posisi 2θ , FWHM, dan sistem kristal, software Origin digunakan untuk

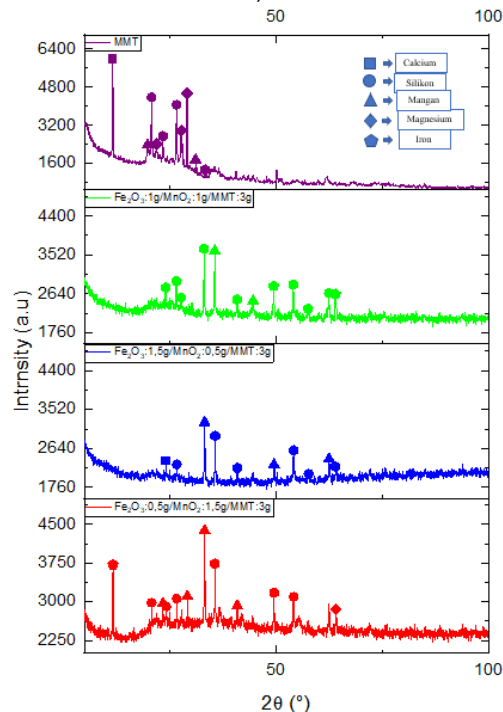
memplot grafik dari keempat sampel, dan Exel digunakan untuk menghitung nilai ukuran kristal D (nm). Ukuran kristal D (nm) dapat dihitung menggunakan persamaan Debye-Scherrer. Ukuran partikel yang optimal berkontribusi pada peningkatan kapasitansi spesifik superkapasitor, karena area permukaan yang lebih besar memungkinkan lebih banyak interaksi dengan ion elektrolit. Tabel di bawah ini menampilkan data hasil uji XRD untuk empat versi sampel Fe₂O₃/MnO₂/MMT yang berbeda:

“Tabel 1. Sampel Nanokomposit Fe₂O₃/MnO₂/MMT dengan 4 variasi”

No. Variasi Sampel Fe ₂ O ₃ /Mn O ₂ /MMT	Pos. [°2 Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2 Th.]	Fasa	Struktur Kristal	Ukuran Kristal (nm)
1. Tanpa doping (5g)	11,6718	3498,4 4	0,0974	Calcium	Hexagonal	81,98847254
	19,8126	608,68	0,1948	Manganese Oxide	Monoclinic	41,39901319
	20,7652	2699,5 2	0,0974	Silicon Oxide	Hexagonal	82,92127471
		703,06	0,0974	Calcium	Anorthic	83,08700079
	21,9777					
2. 1g:1g:3g	24,1485	319,23	0,1948	Iron Oxide	Rhombohedral	41,70438277
	26,6144	624,58	0,1298	Magnesium	Hexagonal	62,89274865
	27,7019	210,24	0,3896	Silicon Oxide	Hexagonal	21,00157392
	35,6293	1402,3	0,1298	Manganese Silicon	Orthorhombic	64,28653807
3. 1,5g:0,5g:3g	24,2365	299,06	0,2597	Calcium	Orthorhombic	31,28745063
	26,7291	302,01	0,1948	Silicon Oxide	Hexagonal	41,91691991
	33,2555	1383,49	0,1623	Manganese Oxide Silicate	Tetragonal	51,08431308
	35,7086	1047,04	0,1298	Iron Manganese	Hexagonal	64,30085266
4. 0,5g:1,5g:3g	11,2096	1139,54	0,0974	Magnesium	Rhombohedral	81,95535262
	20,8087	556,05	0,0974	Silicon Oxide	Hexagonal	82,92704844
	23,4603	507,44	0,0974	Magnesium	Rhombohedral	83,30325022
	26,7023	519,41	0,1298	Silicon Oxide	Hexagonal	62,90417986

Dari tiga tabel yang disediakan, terlihat jelas bahwa untuk setiap variasi, nilai intensitas (a.u), lebar setengah puncak (FWHM), dan sudut 2θ berkisar antara 10 hingga 100° digunakan. Hasil analisis diketahui rata-rata ukuran kristal menggunakan persamaan Scherrer yaitu pada sampel tanpa doping variasi (5g) sebesar 62,72 nm,

pada variasi (1,5g : 0,5g : 3g) diperoleh rata-rata ukuran kristal 40,29 nm, pada variasi (1g : 1g : 3g) diperoleh rata-rata ukuran kristal 49,12 nm, sedangkan pada variasi (0,5g : 1,5g : 3g) diperoleh rata-rata ukuran kristal 63,75 nm.



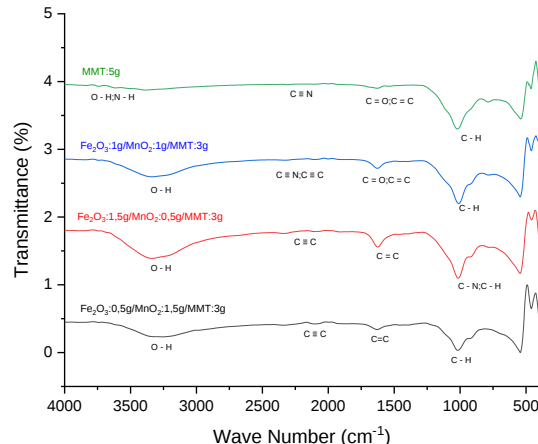
Gambar 1. Grafik difraktogram sampel Nanokomposit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$ dengan 4 variasi

Berdasarkan gambar 1. difraktogram sampel nanokomposit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$ di atas, proses penambahan variasi doping $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2$ terhadap MMT telah menunjukkan hasil yang signifikan terkait ukuran kristal. Pada sampel dengan variasi (0,5g : 1,5g : 3g), nilai ukuran kristal mencapai 63,75 nm. Namun, jika kita bandingkan dengan sampel tanpa doping, ukuran kristal hanya sebesar 62,75 nm. Fenomena ini diduga disebabkan oleh efek peningkatan konsentrasi doping MnO_2 yang dapat meningkatkan intensitas puncak difraksi serta mempertahankan atau bahkan meningkatkan nilai ukuran kristal.

Selanjutnya, pada variasi doping lainnya yaitu (1,5g : 0,5g : 3g), ukuran kristal yang diperoleh adalah 40,29 nm. Di samping itu, pada variasi (1g : 1g : 3g), ukuran kristal yang didapatkan adalah 49,12 nm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahannya doping Fe_2O_3 akan menurunkan daya hantar listrik material (Haryanto, dkk, 2011). Akibatnya, intensitas difraksi pada puncak dan ukuran kristal pun menurun.

2. Uji Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Ikatan gugus fungsi nano komposit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$ dapat diketahui menggunakan uji Fourier Transform Infra Red (FTIR).



Gambar 2. Grafik analisis FTIR

Gambar 2 menunjukkan spektrum FTIR dari empat sampel Fe₂O₃/MnO₂/MMT yang diambil dalam rentang frekuensi 400–4000 cm⁻¹. Spektrum tersebut menunjukkan bahwa setiap sampel memiliki ikatan gugus fungsi yang berbeda, seperti O-H, C≡C, C≡N, C=C, C=O, C-O, C-H, dan N-H. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nanokomposit Fe₂O₃/MnO₂/MMT memiliki ikatan yang kuat karena bahan yang digunakan.

Sifat listrik dari nanokomposit ini juga dipengaruhi oleh keberadaan gugus fungsi tersebut, di mana ikatan yang kuat dapat meningkatkan mobilitas ion dalam material (Rahmawati, R., & Suhendar, D., 2014). Hal ini berpotensi meningkatkan daya hantar listrik nanokomposit Fe₂O₃/MnO₂/MMT.

Hubungan Nanokomposit Fe₂O₃/MnO₂/MMT terhadap Performa Superkapasitor

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis dari 4 variasi data XRD, dimana nilai ukuran kristal yang berbeda pada setiap variasi nanokomposit Fe₂O₃/MnO₂/MMT memiliki dampak signifikan terhadap performa superkapasitor. Umumnya, ukuran kristal yang lebih kecil dapat meningkatkan luas permukaan spesifik material, yang berkontribusi pada peningkatan kapasitas penyimpanan energi. Namun, ukuran kristal yang terlalu kecil juga dapat menyebabkan peningkatan resistivitas dan menurunkan daya hantar listrik (Azleen, F., 2016).

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data FTIR terdapat ikatan gugus fungsi seperti O-H: C≡C, C≡N, C=C, C=O, C-O, C-H, N-H: menunjukkan adanya interaksi antar komponen dalam nanokomposit, yang dapat memengaruhi konduktivitas listrik dan kapasitansi untuk superkapasitor; menunjukkan adanya kelembapan atau hidroksil, yang dapat menambah stabilitas elektroda (Qiu, C. et. al., 2023).

SIMPULAN

Penelitian menunjukkan bahwa karakteristik struktural dan listrik MMT sangat dipengaruhi oleh perbedaan doping $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2$. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan dalam variasi komposisi pendoping berdampak pada ukuran kristal dan struktur material. Ukuran kristal yang lebih kecil cenderung meningkatkan luas permukaan spesifik, yang berkontribusi pada peningkatan kapasitas penyimpanan energi. Namun, ukuran kristal yang terlalu kecil dapat meningkatkan resistivitas, sehingga menurunkan daya hantar listrik. Selain itu, analisis FTIR mengungkapkan adanya ikatan gugus fungsi yang menunjukkan interaksi antara komponen dalam nanokomposit, yang juga mempengaruhi konduktivitas listrik dan kapasitansi. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan pentingnya optimasi variasi pendoping untuk mencapai keseimbangan antara ukuran kristal dan sifat listrik, guna meningkatkan performa superkapasitor dari nanokomposit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{MMT}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi kepada penulis sehingga dapat melakukan penelitian, mengumpulkan data, dan menyusun temuannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azleen, F. (2016). Pengaruh Konsentrasi Lisin Pada Pembentukan Fe_2O_3 Hasil Proses Sintesis Hidrotermal Sebagai Anoda Baterai Ion Lithium. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 1-8.
- [2] Alekseeva, O. dkk, (2019). "Sifat Struktural dan Termal Komposit Cairan Montmorillonit/ionik". *Materials* 12(2578).
- [3] Forouzandeh, P., Kumaravel, V., & Pillai, S. C. (2020). Electrode Materials For Supercapacitors: A Review Of Recent Advances. In *Catalysts* (Vol. 10, Issue 9, Pp. 1–73). Mdpi. <https://doi.org/10.3390/Catal10090969>
- [4] Hariyanto, A., & Sari, D. (2011). Pengaruh Doping Fe_2O_3 terhadap Sifat Listrik dan Struktur Kristal Material Semikonduktor. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [5] Kumar, A. (2020). "Sol gel synthesis of zinc oxide nanoparticles and their application as nano-composite electrode material for supercapacitor". *Journal of Molecular Struktur*. 12(20)"
- [6] Lateef, A & rabia, N. (2017). "Metal Nanocomposites: Synthesis, Characterization and their Applications". *Science and applications of Tailored Nanostructures*.
- [7] Neelamma, M.K., (2022). "Bentonite Clay Liquid Crystals for High-Performance Supercapacitors". *Journal of Electronik Materials*. Vol 51(2192-2202)
- [8] Putri utami, A.R., dkk. (2023). "Sintesis Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dengan Metode Sol-Gel". *Fullerene Journal of chemistry*. Vol.8,No1:6-11.
- [9] Qiu, C. et. al., (2023). "Effects of oxygen-containing functional groups on carbon materials in supercapacitors: A review". *Materials & Design*, Vol 230

- [10] Rahmawati, R., & Suhendar, D. (2014). Sintesis Nanokomposit γ -Al₂O₃-Fe₂O₃ untuk Adsorpsi Logam Cr(VI). Jurnal Ilmiah, 8(1), 117-126. ISSN 1979-8911. Diakses dari <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/istek/article/viewFile/208/224>
- [11] Subagio, A. dkk (2014). "Sintesis Dan Karakterisasi Material Nanokomposit Cnt/Mno₂ Untuk Aplikasi Material Superkapasitor". Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, vol. 10 (92-103)
- [12] Sinaga, Z., & Joniwarta (2020). "Analisis Ukuran Kristal Dan Sifat Magnetik Melalui Proses Pemesinan Milling Menggunakan Metode Karakterisasi Xrd, Mechannical Alloying, Dan Ultrasonik Tekanan Tinggi Pada Material Barium Hexaferrite (Bafe12o19)". Jurnal Kajian Teknik Mesin Vol 5 No 1
- [13] Yuda, I. W. W., Ibrahim, F. M. M., Masruroh, M., Ula, N. M., Valiana, V., & Tjahjanto, R. T. (2021). Elektroda Superkapasitor Berbahan Nanokomposit Mno₂/Ac Dari Limbah Plastik Dengan Teknik Elektrodeposisi. Jurnal Integrasi Proses, 10(2), 77. <https://doi.org/10.36055/Jip.V10i2.12229>
- [14] Zhang, Q.-Z. ; Zhang, D. ; Miao, Z.-C. ; Zhang, X.-L. ; Chou, S.-L. (2018). "Kemajuan Penelitian Bahan Elektroda Superkapasitor Berbasis Mno₂ - Karbon". Kecil, 14 , 1702883 , Doi: 10.1002/Sml.201702883