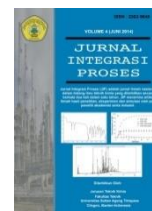




JURNAL INTEGRASI PROSES

Website: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>



Submitted : 23 Agustus 2021

Revised : 15 September 2021

Accepted : 9 November 2021

ELEKTRODA SUPERKAPASITOR BERBAHAN NANOKOMPOSIT MnO_2/AC DARI LIMBAH PLASTIK DENGAN TEKNIK ELEKTRODEPOSISI

I Wayan Wira Yuda¹, Faisal Maulana Malik Ibrahim¹, Masruroh^{1*}, Nik Matul Ula², Vita Valiana², Rachmat Triandi T²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

²Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

*email: ruroh@ub.ac.id

Abstrak

Elektroda merupakan komponen penting dari sebuah superkapasitor. Pemilihan bahan elektroda dan fabrikasinya memainkan peran penting dalam meningkatkan kinerja kapasitif superkapasitor. Salah satu kriteria elektroda untuk superkapasitor adalah harus memiliki luas permukaan per satuan volume dan porositas yang tinggi, di samping elektroda harus berbiaya rendah dan ramah lingkungan. Pada penelitian ini sintesis elektroda dari nanokomposit MnO_2/AC dilakukan dengan metode elektrodeposisi. Elektrodeposisi untuk menghasilkan superkapasitor dilakukan dengan variasi konsentrasi 0,25 dan 0,5 M. Kandungan karbon diperoleh dari sintesis limbah plastik polietilen dengan metode pirolisis sedangkan MnO_2 diperoleh dari elektrodeposisi sehingga elektroda yang dihasilkan dapat memenuhi dari aspek biaya rendah dan ramah lingkungan. Hasil sintesis elektroda komposit MnO_2/AC dikarakterisasi dengan *fourier transform infra red* (FTIR), *scanning electron microscope energy dispersive x-ray* (SEM-EDX), *topography measurement system* (TMS), dan LCR 816. Hasil pengamatan menunjukkan pada elektroda dengan konsentrasi 0,25 M menghasilkan ukuran pori dan luas permukaan sebesar 10,56 nm dan 0,3626 mm², sedangkan pada konsentrasi 0,5 M menunjukkan ukuran pori 1,036 nm dan luas permukaan 0,3732 mm². Kapasitansi dari sintesis ini diperoleh nilai tertinggi pada konsentrasi 0,5 M sebesar 53 F/g dengan sintesis tegangan 0,5 V. Sintesis nanokomposit MnO_2/AC dari limbah plastik dapat berpotensi sebagai material elektroda superkapasitor.

Kata Kunci: Elektroda Superkapasitor, Elektrodeposisi, MnO_2 , sampah plastik, polietilen

Abstract

Electrodes are an important component in supercapacitors. The choice of electrode material and its fabrication plays an important role in improving the capacitive performance of the supercapacitor. One of the criteria for supercapacitor electrodes is to have high surface area per unit volume and high porosity, the electrodes must be low-cost and environmentally friendly. In this study, the synthesis of electrodes from nanocomposites MnO_2/AC using the electrodeposition method. Electrodeposition method to produce supercapacitors was carried out with various concentrations of 0.25 M and 0.5 M. Carbon content was obtained from synthesis polyethylene plastic waste by pyrolysis method while MnO_2 obtained from electrodeposition so that the electrode could meet the aspects of low cost and environmentally friendly. The results of the synthesis of MnO_2/AC composite electrodes were characterized by Fourier Transform Infra-Red (FTIR). Electrode with a concentration of 0.25 M produced a pore size of 10.56 μm with a surface area of 0.3626 mm², while the concentration of 0.5 M showed a pore size of 1,036 nm with a surface area of 0.3732 mm². The synthesis capacitance was obtained the highest value at a concentration 0.5 M of 53 F/g with a synthesis voltage of 0.5 V. Synthesis of MnO_2/AC nanocomposite from plastic waste can be potential as a supercapacitor electrode material.

Keywords: Electrodeposition, MnO_2 , Plastic waste, Polyethylene, Supercapacitor Electrode

1. PENDAHULUAN

Superkapasitor adalah jenis kapasitor yang dapat menyimpan energi dalam skala besar. Elektroda merupakan bagian penting dari superkapasitor karena mempunyai kemampuan dalam mentransfer muatan faradik untuk meningkatkan kinerja kapasitansi. Pemilihan bahan elektroda dan fabrikasinya memainkan peran yang penting dalam meningkatkan kinerja kapasitif pada superkapasitor. Salah satu kriteria penting elektroda superkapasitor adalah mempunyai porositas dan luas permukaan per satuan volume tinggi (Forouzandeh et al., 2020).

Elektroda harus mempunyai stabilitas termal, ketahanan korosi, konduktivitas listrik yang tinggi, stabilitas kimia yang sesuai (Ariyanto et al., 2012). Persyaratan lain termasuk keramahan lingkungan dan biaya rendah. Elektroda superkapasitor yang biasa digunakan adalah karbon dan lempengan logam. Karbon lebih banyak digunakan dibandingkan lempengan logam yang tidak mempunyai nilai ekonomis (Nursiti et al., 2018). Sejauh ini, elektroda nanokomposit masih belum banyak dikembangkan. Bahan yang pernah diteliti sebagai bahan nanokomposit elektroda superkapasitor adalah TiO_2 /grafit. Namun, kinerja kapasitansi yang kecil dari bahan TiO_2 menyebabkan siklus superkapasitor tidak bertahan lama (Agusu & Uho, 2017).

Material logam transisi seperti RuO_2 , SnO_2 , dan NiO memiliki kemampuan penyimpanan muatan tinggi karena adanya energi celah pita. Namun material logam transisi tersebut memiliki toksisitas yang membatasi komersialisasi dari elektroda superkapasitor (Wang et al., 2012). Sementara itu material lain berupa mangan dioksida (MnO_2) memiliki kapasitansi yang lebih tinggi. Akan tetapi konduktivitas bahan MnO_2 memiliki kelemahan berupa daya hantar listrik yang buruk. Penambahan doping berupa grafit dapat memperbaiki sifat konduktivitas pada bahan MnO_2 , grafit masih memiliki kemampuan termal yang rendah (Saridewi et al., 2015). Oleh sebab itu dibutuhkan bahan jenis lain yang memiliki potensi lebih baik.

Bahan lain yang memiliki potensi sebagai material penghantar listrik adalah plastik jenis polietilen. Plastik ini tersusun dari serat karbon aktif yang mempunyai konduktivitas listrik tinggi dibandingkan bahan lainnya. Di samping itu, kontribusi limbah plastik terhadap total produksi limbah nasional mencapai 15% dengan pertumbuhan rata-rata mencapai 14,7% per tahun dan menempatkan limbah plastik sebagai kontributor terbesar kedua (Kholidah et al., 2018). Limbah plastik memiliki waktu degradasi yang cukup lama di alam, yaitu berkisar 80 hingga 100 tahun.

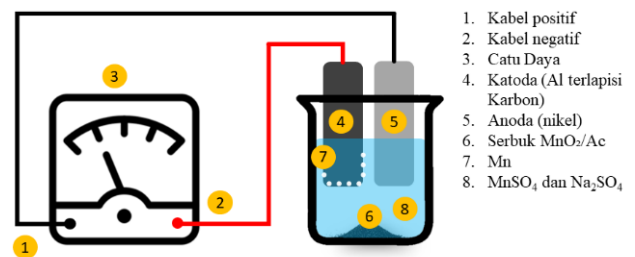
Selama ini proses sintesis nanokomposit masih terkendala pada jumlah partikel dan proses yang lama. Selain itu biaya yang mahal dan kapasitansi spesifik yang dihasilkan pada proses elektrokimia masih rendah (Subagio & Yudianti, 2014). Oleh

sebab itu dikembangkan penelitian sintesis karbon aktif yang didoping MnO_2 dengan metode elektrodeposisi. Metode ini membutuhkan waktu singkat untuk memproduksi nanokomposit. Jumlah endapan yang dihasilkan dapat divariasikan dengan mengubah konsentrasi prekursor elektrolit maupun tegangan yang diberikan (Xi et al., 2017).

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan antara lain limbah plastik polietilena tereftalat, $MnSO_4 \cdot H_2O$, dan Na_2SO_4 . Limbah plastik dipotong hingga berukuran kecil dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Potongan plastik kemudian dipanaskan dalam alat *muffle furnace* pada suhu $500^\circ C$ selama 1 jam hingga terjadi degradasi. Hasil serbuk diaktivasi dengan KOH selama 1 hari, selanjutnya dipanaskan kembali pada tanur selama 1 jam pada suhu $400^\circ C$. Karbon teraktivasi dicuci dengan HCl dan dikeringkan pada oven.

Sintesis Nanokomposit MnO_2/AC diperoleh melalui proses elektrodeposisi. Larutan $MnSO_4$ dan Na_2SO_4 dicampur pada bejana gravimetri. Elektroda yang digunakan adalah plat nikel dan plat aluminium. Mangan dioksida akan dielektrodeposisi pada plat aluminium terlapisi karbon pada tegangan 5 V seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi proses elektrodeposisi MnO_2/AC

Hasil elektrodeposisi diaduk pada kecepatan 300 rpm, lalu disonikasi dan dikeringkan pada oven selama 1 jam. Hasil yang diperoleh disimpan pada tembaga dan ditutup dengan kaca akrilik. Hasil sintesis elektroda komposit MnO_2/AC dikarakterisasi dengan FTIR, SEM-EDX, TMS, dan LCR 816.

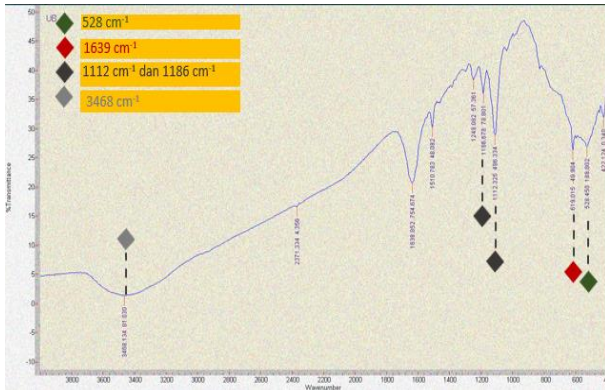
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi FTIR MnO_2/AC

Analisis menggunakan FTIR untuk mengetahui keberadaan gugus fungsional yang terikat oleh sampel komposit MnO_2/AC setelah dilakukan elektrodeposisi pada rentang bilangan gelombang $400-4000\text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang yang terbaca pada spectrum mengacu pada referensi hasil penelitian (Mylarappa et al., 2016).

Pada Gambar 2 terdapat pita serapan yang kuat pada daerah bilangan gelombang 528 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan Mn-O pada struktur MnO_2 . Kemudian penyerapan pada bilangan gelombang 1112 cm^{-1} dan 1186 cm^{-1}

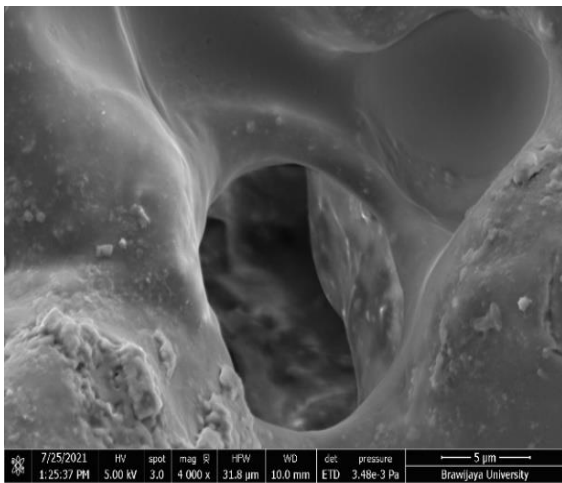
mengindikasikan adanya ikatan vibrasi O–H yang bergabung dengan Mn. Pada pita serapan 1639 cm^{-1} terdapat gugus karbonil yaitu keton yang mengindikasikan bentuk karbon dari plastik polietilen. Timbul puncak yang lebar pada bilangan gelombang 3468 cm^{-1} sebagai vibrasi ikatan O–H yang menunjukkan adanya molekul air yang terserap diantara struktur MnO_2 .



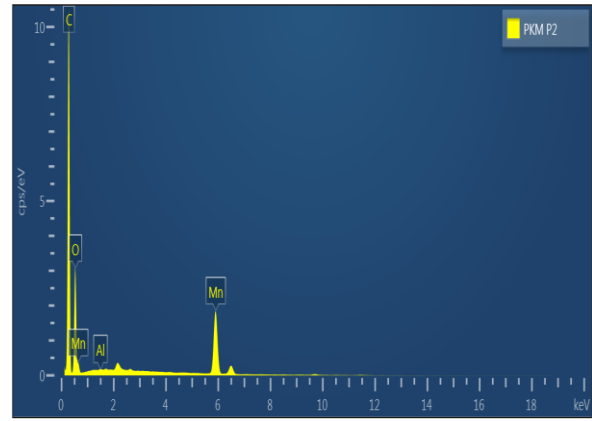
Gambar 2. Hasil analisis FTIR pada komposit MnO_2/AC

3.2 Karakterisasi SEM MnO_2/AC

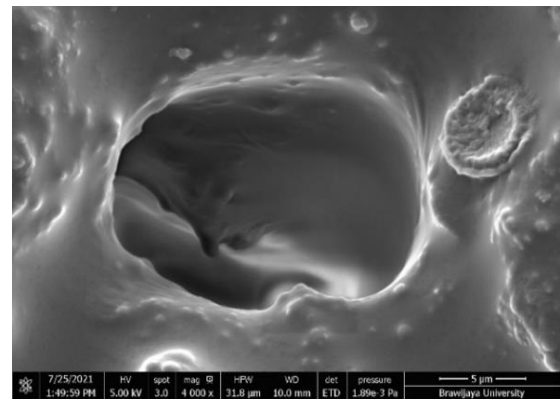
Untuk mengetahui morfologi permukaan elektroda komposit MnO_2/AC dan komposit unsur yang dihasilkan dilakukan karakterisasi elektroda menggunakan SEM-EDX perbesaran 4000X. Hasil analisis yang diperoleh menunjukkan bahwa sintesis serbuk dari elektrodeposisi membentuk persebaran MnO_2 pada karbon aktif.



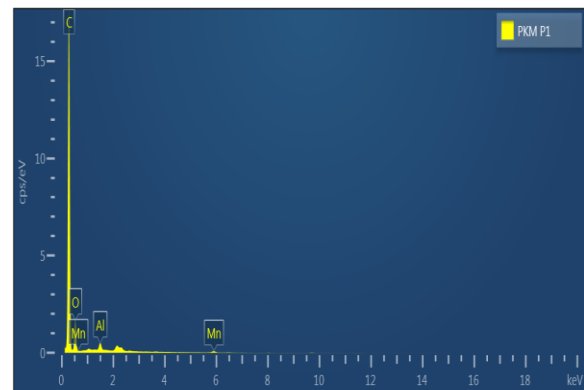
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Morfologi permukaan MnO_2/AC dan komposisi prosentase atom hasil EDs dengan konsentrasi (a) dan (b) 0,5 M serta (c) dan (d) 0,25 M

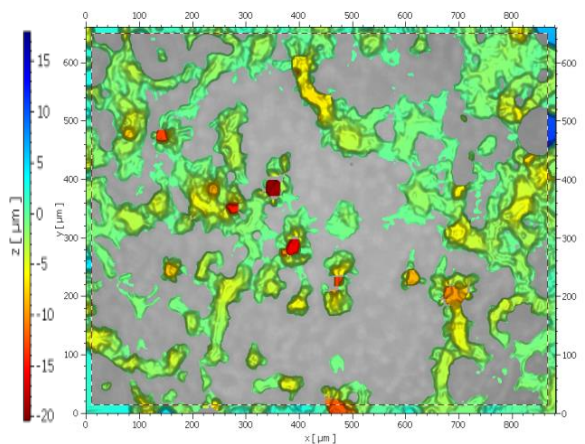
Morfologi permukaan komposit MnO_2/AC dengan elektrodeposisi pada konsentrasi 0,5 M telah terbentuk porositas dengan bentuk slit pada material nanokomposit MnO_2/AC . Pada konsentrasi 0,25 M dengan perbesaran yang sama porositas yang terbentuk cenderung lebih besar. Perbedaan besar porositas dipengaruhi oleh persebaran MnO_2 yang melapisi karbon aktif. Analisis EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia MnO_2/AC dimana terdeteksi unsur C, Mn, dan O dapat. Unsur C diperoleh dari substrat karbon aktif yang berasal dari plastik jenis PET (polietilena tereftalat), dan

unsur Mn dan O yang diperoleh dengan elektrodeposisi mangan oksida.

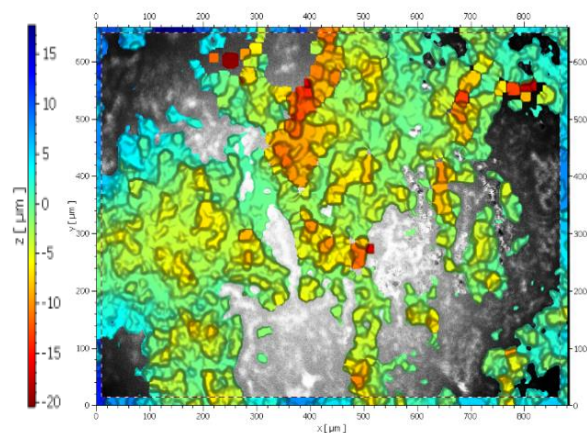
Hasil data persebaran MnO_2 pada variasi konsentrasi 0,5 M cukup merata dengan persentase sebesar 27,46%. Konsentrasi 0,25 M memiliki persebaran MnO_2 yang lebih sedikit dengan persentase sebesar 22,99%. Konsentrasi tinggi pada menyebabkan partikel MnO_2 mengisi ruang kosong yang terdapat pada karbon aktif ketika proses elektrodeposisi berlangsung. Elektrodeposisi Mangan dioksida dengan jumlah persentase yang lebih rendah mengakibatkan ukuran pori karbon aktif lebih besar dikarenakan partikel MnO_2 yang sedikit menutup permukaan.

3.3 Karakterisasi TMS MnO_2/AC

Untuk mengetahui luas permukaan partikel dan ukuran pori material nanokomposit MnO_2/AC yang dihasilkan dilakukan analisis dengan menggunakan TMS. Hasil TMS secara 2 dimensi ditunjukkan pada Gambar 3. Warna merah pada Gambar 3 menunjukkan pori yang terbentuk pada permukaan nanokomposit MnO_2/AC dengan skala 800 μm . Konsentrasi 0,25 M (Gambar 4b) menghasilkan kedalaman pori yang lebih banyak dibandingkan konsentrasi 0,5 M (Gambar 4a). Hal ini dikarenakan partikel MnO_2 yang dihasilkan pada proses elektrodeposisi menutup pori karbon aktif limbah plastik dengan ukuran lebih kecil.



(a)



(b)

Gambar 4. Citra 2 dimensi hasil TMS dengan konsentrasi: (a) 0,5 M dan (b) 0,25 M

Besarnya nilai pori dan luas permukaan diamati dengan karakterisasi hasil Gambar 4 diperoleh dari persamaan kekasaran area luasan sebagai berikut:

$$SA = \frac{1}{A} \iint_0^A |Z(x,y)| dx \cdot dy$$

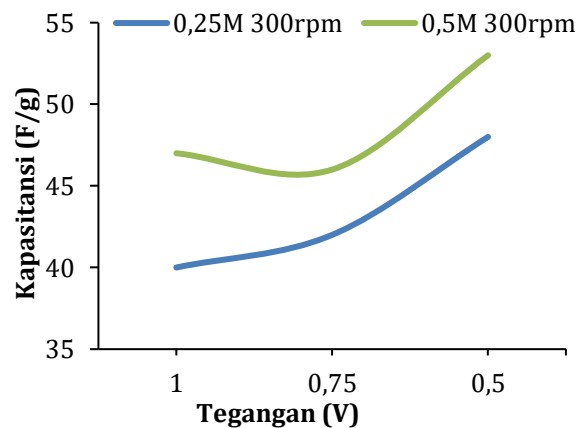
Tabel 1. Ukuran, volume, luas permukaan, dan kedalaman pori konsentrasi 0,5 dan 0,25 M

Jenis sampel	Ukuran pori, nm	Volume pori, mm ³	Luas permukaan, mm ²	Kedalaman pori, nm
0,25 M	10,56	0,00495	0,3626	5530
0,5 M	1,036	0,00024	0,3732	640,62

Kriteria ukuran pori sampel menurut IUPAC termasuk mesopori (Setianingsih, 2018) pada konsentrasi 0,5 M dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Hasil perhitungan untuk volume pori, luas permukaan, serta tinggi pori dapat diamati pada Tabel 1. menunjukkan bahwa semakin besar ukuran, volume, dan kedalaman poros sebanding dengan perhitungan luas permukaan (SA) yang semakin besar. Hasil ini sesuai dengan uji SEM sebelumnya, distribusi sebaran MnO_2 pada 0,5 M lebih tinggi jika dibandingkan dengan 0,25 M yang menghasilkan ukuran pori pada 0,5 M lebih kecil.

3.3 Karakterisasi kapasitasansi MnO_2/AC

Analisa kapasitasansi nanokomposit MnO_2/AC dilakukan dengan alat uji LCR 816 pada tegangan 0,5; 0,75; dan 1 V.



Gambar 5. Grafik kapasitasansi MnO_2/AC

Berdasarkan grafik pada gambar 5. dapat diketahui nilai kapasitasansi yang dihasilkan pada 2 konsentrasi 0,25 M dan 0,5 M berada pada rentan 40 - 53 F/g. Dari grafik menunjukkan bahwa nanokomposit MnO_2/AC yang disintesis pada tegangan 0,5 V memiliki nilai paling besar dibandingkan 0,75 dan 1 V. Konsentrasi 0,5 M memiliki nilai kapasitasansi terbesar dengan kapasitasansi 53 F/g. Nilai tersebut lebih tinggi

dibandingkan superkapasitor komersil karbon yang memiliki penyimpanan sebesar 0,1 F setiap 30 gram (Nursiti et al., 2018).

Perbedaan perlakuan tegangan pada pengujian kapasitansi menunjukkan jumlah pengisian yang diberikan dalam satuan detik sehingga kecenderungan nilai bergantung waktu pengisian. Jumlah kapasitansi besar dikarenakan persebaran MnO₂ tinggi pada proses elektrodposisi sehingga partikel mampu menyimpan muatan. Nilai penyimpanan muatan yang tinggi menyebabkan waktu pemakaian menjadi lebih lama dibandingkan superkapasitor komersil.

4. KESIMPULAN

Sintesis material elektroda dengan elektrodposisi telah berhasil dilakukan dengan variasi konsentrasi yaitu 0,25 dan 0,5 M. Hasil SEM menunjukkan telah terbentuknya porositas lebih besar pada konsentrasi lebih rendah akibat pendistribusian MnO₂ yang lebih tinggi pada karbon aktif. Kuantisasi luas permukaan yang dihasilkan dengan konsentrasi 0,25 M sebesar 8,45 µm dan konsentrasi 0,5 M sebesar 829,59 nm. Sedangkan porositas konsentrasi 0,5 M menunjukkan ukuran pori sebesar 32,5 nm dan konsentrasi 0,25 M menghasilkan ukuran pori 3,28 µm. Hasil kapasitansi tertinggi yang diperoleh sebesar 53 F/g pada konsentrasi 0,5 M dengan sintesis tegangan 0,5 V. Porositas sangat penting untuk pengaliran muatan saat proses pengisian daya pada superkapasitor dan keberadaan MnO₂ meningkatkan jumlah penyimpanan spesifik elektroda. Nilai penyimpanan muatan yang dimiliki jauh lebih tinggi sehingga sintesis nanokomposit MnO₂/AC dari limbah plastik dapat berpotensi sebagai material elektroda superkapasitor.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DITJEN DIKTI yang telah membiayai penelitian hibah PKM (Program Kreativitas Mahasiswa) 2021.

6. DAFTAR PUSTAKA

Agusu, L., & Uho, K. (2017). *Jurnal Aplikasi Fisika* Volume 13 Nomor 1 Pebruari 2017. 13(1), 8.
Ariyanto, T., Prasetyo, I., & Rochmadi, R. (2012). Pengaruh Struktur Pori Terhadap Kapasitansi

Elektroda Superkapasitor Yang Dibuak Dari Karbon Nanopori. *Reaktor*, 14(1), 25–32. <https://doi.org/10.14710/reaktor.14.1.25-32>
Forouzandeh, P., Kumaravel, V., & Pillai, S. C. (2020). Electrode Materials for Supercapacitors: A Review of Recent Advances. *Catalysts*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/catal10090969>
Kholidah, N., Faizal, M., & Said, M. (2018). Polystyrene Plastic Waste Conversion into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst. *Science & Technology Indonesia*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.26554/sti.2018.3.1.1-6>
Mylarappa, M., Lakshmi, V. V., Mahesh, K. R. V., Nagaswarupa, H. P., & Raghavendra, N. (2016). A facile hydrothermal recovery of nano sealed MnO₂ particle from waste batteries: An advanced material for electrochemical and environmental applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149, 012178. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012178>
Nursiti., Wibowo, Ersita R., Safitri, Ayu W., Supriyono., Oktavian, Rama. (2018). Elektrosintesis Nanokomposit A-MnO₂/C Dan Fabrikasinya Untuk Aplikasi Superkapasitor. *Jurnal Chemurgy*. 2 (1), 6-11
Saridewi, N., Arif, S., & Alif, A. (2015). Sintesis Nanomaterial Mangan Oksida dengan Metode Bebas Pelarut. *Jurnal Kimia Valensi*, 117–123. <https://doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3147>
Setianingsih, T. (2018). Karakterisasi Pori dan Luas Muka Padatan. Universitas Brawijaya Press. <https://books.google.co.id/books?id=7QKGDwA-AQBAJ>
Subagio, A., & Yudianti, R. (2014). Sintesis Dan Karakterisasi Material Nanokomposit CNT/MnO₂ Untuk Aplikasi Material Superkapasitor. 12
Wang, Guoping., Zhang, lei., Zhang, JiuJun. (2012). A Review of Electrode Materials for Electrochemical Supercapacitors. *Critical Review*, 41(2), 792–828
Xi, S., Yinlong,Z., Yutu,Y., dan Ying,L. (2017). Direct Synthesis of MnO₂ Nanorods on Carbon Cloth as Flexible Supercapacitor Electrode. *Journal of Nanomaterials* : 1-8.