

KARAKTERISTIK LAPISAN KOMPOSIT rGO/CeO₂ SEBAGAI ELEKTRODA PADA MODEL SUPERKAPASITOR SIMETRIS DENGAN ELEKTROLIT KALIAM KLOORIDA

SALSA INDAH MAULIA THALLAH¹, FITRILAWATI^{2,3}, I MADE JONI^{2,3}, NORMAN SYAKIR^{2,3,*}

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, INDONESIA

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, INDONESIA

³Functional Nano Powder University Center of Excellent, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, INDONESIA

Abstrak. Superkapasitor merupakan komponen penyimpanan energi yang memiliki rapat daya dan rapat energi lebih baik dibandingkan dengan baterai dan kapasitor konvensional. Pada penelitian ini diuji karakteristik lapisan komposit *reduced graphene oxide/cerium oxide* (rGO/CeO₂) sebagai elektoda pada model superkapasitor simetris. Komposit rGO/CeO₂ dibuat dari dispersi *graphene dioxide* (GO) dalam air dan serbuk CeO₂ dengan perbandingan 60:40 yang dikenakan proses hidrotermal pada suhu 150°C selama 12 jam. Untuk elektroda superkapasitor, lapisan komposit rGO/CeO₂ dideposisi dengan metode *spray coating* di atas pelat nikel (Ni). Superkapasitor dibuat dengan model sel simetris dari sepasang elektroda lapisan rGO/CeO₂ dan 1M KCl sebagai elektrolit. Dari karakterisasi *cyclic voltammetry* (CV) didapatkan nilai kapasitansi spesifik, energi spesifik, daya spesifik dari model superkapasitor yang dibuat masing-masing adalah 160,59 F/g, 22,30 Wh/kg, 3857,94 W/kg yang diukur pada *scan rate* 10 mV/s. Berdasarkan *Ragone plot* dapat disimpulkan bahwa sel superkapasitor yang menggunakan elektroda rGO/CeO₂ memiliki karakteristik superkapasitor dan memiliki performa yang baik.

Kata kunci: hidrotermal, komposit rGO/CeO₂, superkapasitor

Abstract. Supercapacitors are energy storage components that have better power density and energy density compared to conventional batteries and capacitors. In this research, the characteristics of the reduced graphene oxide/cerium oxide (rGO/CeO₂) composite layer as an electrode were tested in a symmetrical supercapacitor model. The rGO/CeO₂ composite was prepared from dispersion of graphene oxide (GO) in water and CeO₂ powder with a ratio of 60:40 by hydrothermal process at 150°C for 12 hours. As the supercapacitor electrodes, a composite layer of rGO/CeO₂ was deposited using spray coating method on a nickel (Ni) plate. The supercapacitor was made with a symmetrical cell model from a pair of layered electrodes of rGO/CeO₂ and 1M KCl as the electrolyte. From the results of the cyclic voltammetry (CV) characterization occurred at a scan rate of 10 mV/s, the values of specific capacitance, specific energy, specific power is 160.59 F/g, 22.30 Wh/kg, 3857.94 W/kg, respectively. From the results of the Ragone plot, it can be concluded that supercapacitor cells with rGO/CeO₂ electrodes have supercapacitor characteristics and have good performance.

Keywords: hydrothermal, rGO/CeO₂ composite, supercapacitor

1. Pendahuluan

Dewasa ini, teknologi sudah berkembang dengan pesat seperti adanya mobil listrik dan bus listrik. Perkembangan ini tentu menyebabkan kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat. Oleh karena itu, banyak peneliti berupaya untuk pengembangan dan penyempurnaan perangkat penyimpanan energi listrik agar lebih efisien. Perangkat penyimpanan energi listrik diantaranya adalah baterai, kapasitor dan superkapasitor. Baterai memiliki densitas energi yang tinggi tetapi

* Email: n.sjakir@phys.unpad.ac.id

memiliki daya yang rendah, sedangkan kapasitor memiliki densitas daya yang tinggi tetapi densitas energinya rendah. Peranti penyimpanan energi yang dapat mengatasi perbedaan kinerja kritis antara baterai dan kapasitor adalah superkapasitor [1].

Superkapasitor atau disebut juga kapasitor elektrokimia merupakan komponen penyimpanan energi yang memiliki kelebihan yaitu rapat daya dan rapat energi lebih baik dibandingkan dengan baterai dan kapasitor konvensional [2]. Rapat energi (jumlah energi yang disimpan per satuan massa) superkapasitor yang saat ini ada di pasaran rata-rata sekitar 28 Wh/kg. Superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, separator (pemisah), dan pegumpul arus. Elektrolit yang dapat digunakan dalam skala penelitian yaitu elektrolit berbasis air diantaranya KOH, H₂SO₄ dan KCl karena mudah ditangani di laboratorium tanpa memerlukan kondisi khusus [3]. KCl bersifat netral sehingga tidak berbahaya dibandingkan dengan elektrolit yang bersifat basa kuat atau asam kuat lainnya. Superkapasitor terbagi menjadi 3 jenis yaitu *Electric Double Layer Supercapacitor* (EDLC), *Pseudocapacitor*, dan *Hybrid Supercapacitor*. EDLC menggunakan material seperti *activated carbon*, *carbon aerogels*, dan *carbon nanotubes*. *Pseudocapacitor* menggunakan material seperti *conducting polymers*, dan oksida logam. Sedangkan *hybrid supercapacitor* menggunakan komposit dari bahan elektroda EDLC dan *pseudocapacitor* [4].

Salah satu material yang dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor adalah *Cerium Oxide* (CeO₂). CeO₂ memiliki karakteristik redoks yang baik dan ramah lingkungan. Namun, CeO₂ memiliki kelemahan yaitu mudah menggumpal dan konduktivitas yang rendah. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan material lain yang memiliki konduktivitas tinggi. *Reduced graphene oxide* (rGO) merupakan bahan semikonduktor yang memiliki sifat yaitu konduktivitas listrik yang baik, rapat daya lebih tinggi, dan mempunyai luas permukaan yang besar [5].

Pada penelitian Sagadevan dkk, 2019 [6] rGO dikompositkan dengan oksida logam CeO₂ menggunakan proses hidrotermal. Pengukuran CV dilakukan dalam sistem tiga elektroda dengan larutan 3M KOH sebagai elektrolit untuk mengukur kinerja elektrokimia nanokomposit rGO/CeO₂. Hasilnya menunjukkan bahwa elektroda komposit rGO/CeO₂ memiliki kapasitansi spesifik yang tinggi sebesar 89 F/g. Li & Liu di tahun 2018, telah melaporkan pembuatan komposit dari rGO dan oksida logam CeO₂ disintesis menggunakan *simple oil bath process* [7]. Hasilnya menunjukkan bahwa elektroda komposit rGO/CeO₂ memiliki kapasitansi spesifik yang tinggi yaitu 282 F/g pada 2 A/g. Pada makalah ini dilaporkan hasil studi karakteristik komposit rGO/CeO₂ sebagai elektroda pada model sel superkapasitor simetris menggunakan 1M KCl sebagai elektrolit. Sintesis komposit rGO/CeO₂ dilakukan dengan metode hidrotermal.

2. Metode Penelitian

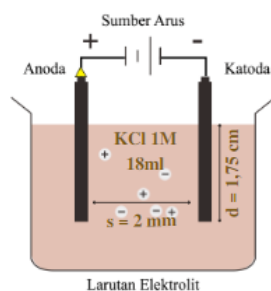
Pembuatan komposit rGO/CeO₂ diawali dengan penyiapan dispersi GO (Graphene SA ES A75022608) dengan konsentrasi 1,5 mg/ml. Dispersi GO tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm selama 30 menit pada suhu ruang, lalu dilanjutkan dengan sonikasi menggunakan *ultrasonic bath* (Branson) selama 30 menit. Setelah itu, serbuk *cerium (IV) oxide hydrate* (CeO₂.H₂O) dimasukkan ke dalam dispersi GO dan diaduk selama 4 jam menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm. Perbandingan massa GO dan CeO₂ yang digunakan adalah 60:40, yang dibuat dengan jumlah masing-masing komponen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Selanjutnya, suspensi tersebut dimasukkan ke dalam teflon *autoclaves* untuk dikenakan proses hidrotermal melalui pemanasan menggunakan *furnace* (Yamada Denki CO.,

LTD) pada suhu 150°C selama 12 jam. Endapan yang didapat pada proses hidrotermal tersebut kemudian dikeringkan menggunakan *hot plate* pada suhu 50°C selama 4 jam, lalu dilakukan proses penggerusan menggunakan mortar dan penyaringan menggunakan *mesh 200*.

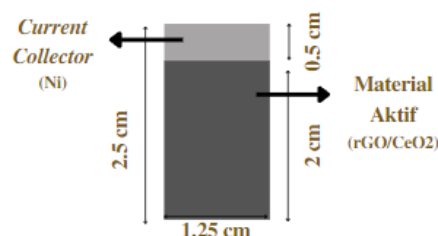
Penyiapan elektroda rGO/CeO₂ diawali dengan pembuatan dispersi rGO/CeO₂ dengan konsentrasi 1,5 mg/mL yaitu dengan mencampurkan serbuk komposit rGO/CeO₂ dengan *DI water* sebagai medium pendispersi. Elektroda komposit rGO/CeO₂ dibuat dengan melapiskan dispersi komposit rGO/CeO₂ pada pelat nikel yang berukuran 2,5 cm × 1,5 cm menggunakan teknik *UV-Oven Spraying*. Tekanan kompresor yang digunakan pada proses deposisi tersebut adalah 45 Psi dengan jarak antara *nozzle* dan substrat adalah 10 cm. Pelapisan dilakukan dengan penyemprotan berulang secara manual menggunakan *micro airbrush* (Mollar) sebanyak 80 kali, dimana pada tiap pengulangan penyemprotan diberikan interval waktu 4 menit.

Tabel 1. Komposisi massa GO & CeO₂, dan volume dispersi GO konsentrasi 1,5 mg/mL dalam pembuatan komposit rGO/ CeO₂

Kode Sampel	Perbandingan massa (%)		Volume GO 1,5 mg/mL (ml)	Massa GO (mg)	Massa CeO ₂ (mg)
	GO	CeO ₂			
GC40	60	40	75	112,5	75



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Skema model superkapasitor simetris dan (b) ukuran elektroda rGO/CeO₂ yang digunakan.

Model superkapasitor yang dibuat adalah model simetris dengan sepasang lapisan film tipis komposit rGO/CeO₂ pada plat nikel sebagai elektroda dan larutan 1M KCl sebagai elektrolit seperti diperlihatkan pada Gambar 1(a). Jarak antar elektroda yaitu 2 mm dan tinggi yang tercelup dari masing-masing elektroda adalah 17,5 mm. Ukuran elektroda yang digunakan diperlihatkan oleh Gambar 1 (b). Performa model superkapasitor <rGO/CeO₂|KCl|rGO/CeO₂> dikarakterisasi melalui pengukuran *Cyclic Voltammetry* (CV) menggunakan *MIT BST8-Stat*. Pengukuran tersebut dilakukan pada rentang tegangan -0,5 V sampai 0,5 V dengan variasi *scanrate* dari 10 mV/s sampai dengan 100 mV/st. Dari hasil pengukuran CV tersebut, nilai kapasitansi spesifik, daya spesifik, dan energi spesifik ditentukan menggunakan kurva histerisis yang dihasilkan dari pengukuran CV. Nilai kapasitansi spesifik, daya spesifik, dan energi spesifik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1), (2), (3) dan (4), dengan dengan A adalah luas kurva histerisis CV, ΔV adalah jendela

potensial yang digunakan (1 V), P_{sp} adalah daya spesifik (W/kg), C_{sp} adalah kapasitansi spesifik (F/kg), dan E_{sp} adalah energi spesifik (Wh/kg).

$$A = \left(\int_{0,5}^{-0,5} i \, dV - \int_{-0,5}^{0,5} i \, dV \right) \quad (1)$$

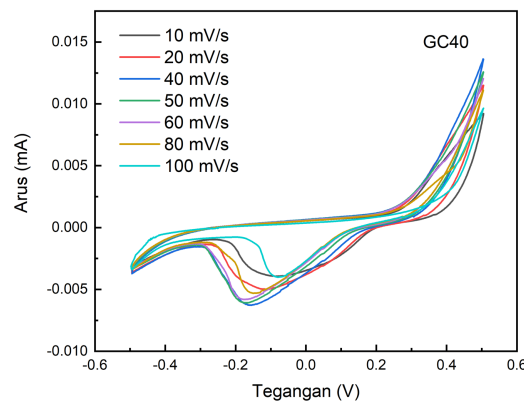
$$P_{sp} = \frac{A}{m} \quad (2)$$

$$C_{sp} = \frac{A}{2m \Delta V} \quad (3)$$

$$E_{sp} = \frac{1}{2} C_{sp} \Delta V^2 \quad (4)$$

3. Hasil dan Diskusi

Hasil pengukuran CV berupa kurva histeresis seperti pada Gambar 2 yang mengindikasikan bahwa elektroda sampel dapat menyimpan muatan listrik ketika diberikan tegangan kerja dari -0,5V sampai 0,5V. Kurva CV menunjukkan adanya pemindaian puncak redoks yang menandakan superkapasitor ini berperilaku seperti tipe superkapasitor *faradaic*. Dimana kapasitansi yang dihasilkan utamanya berasal dari reaksi reduksi-oksidasi pada permukaan elektroda [6]. Sehingga dapat dikatakan bahwa sampel rGO/CeO₂ yang dihasilkan dengan metode hidrotermal dan dideposisi di atas pelat Ni menggunakan teknik *spray coating* dapat digunakan sebagai elektroda. Hasil perhitungan luas kurva histeresis, kapasitansi spesifik (C_{sp}), energi spesifik (E_{sp}), dan daya spesifik (P_{sp}) ditampilkan pada Tabel 2.



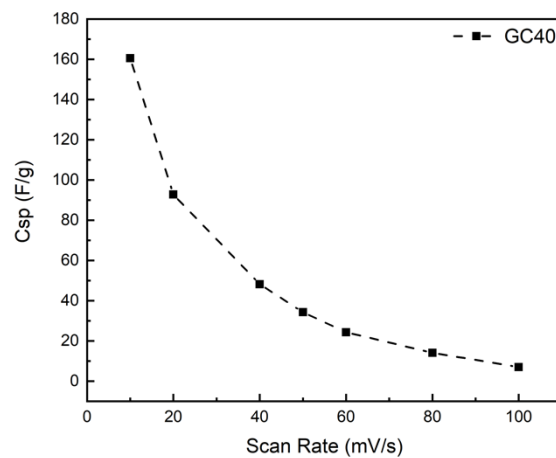
Gambar 2. Kurva CV model superkapasitor simetris pada berbagai *scan rate*

Gambar 3 merupakan grafik hubungan antara kapasitansi spesifik (C_{sp}) dengan *scan rate* yang didapatkan menggunakan persamaan (3). Terlihat bahwa semakin besar *scan rate* yang digunakan akan menghasilkan C_{sp} yang semakin kecil. Hal ini terjadi karena saat *scan rate* diperbesar, maka waktu pencuplikan data pada CV akan semakin cepat yang menyebabkan interaksi efektif antara ion elektrolit dan pori pada elektroda berkurang. Sebaliknya, ketika *scan rate* diperkecil maka waktu

pencuplikan data pada CV akan semakin lama yang menyebabkan akumulasi ion-ion yang melekat pada permukaan elektroda menjadi lebih banyak [8]. Kapasitansi spesifik tertinggi terjadi pada *scan rate* 10 mV/s yaitu sebesar 160,59 F/g.

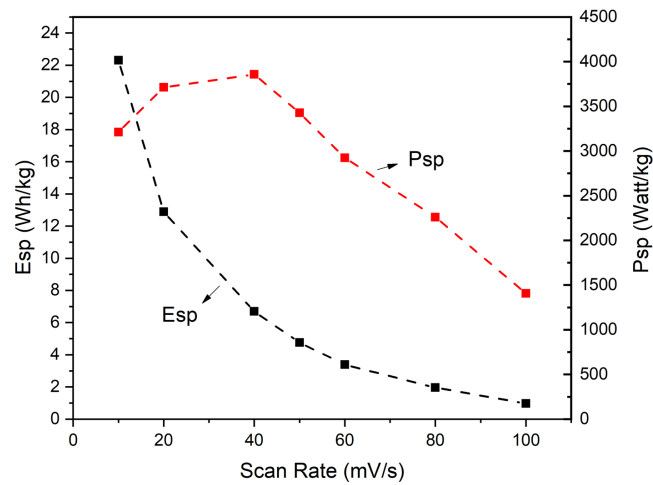
Tabel 2. Luas kurva histerisis CV, kapasitansi spesifik, energi spesifik, dan daya spesifik superkapasitor terhadap *scan rate*

<i>Scan rate</i> (mV/s)	Luas kurva histerisis A (watt)	C_{sp} (F/g)	E_{sp} (Wh/kg)	P_{sp} (W/kg)
10	$2,29 \times 10^{-6}$	160,59	22,30	3211,76
20	$2,65 \times 10^{-6}$	92,82	12,89	3712,82
40	$2,75 \times 10^{-6}$	48,22	6,70	3857,94
50	$2,45 \times 10^{-6}$	34,27	4,76	3427,57
60	$2,09 \times 10^{-6}$	24,37	3,38	2924,71
80	$1,61 \times 10^{-6}$	14,12	1,96	2259,89
100	$1,00 \times 10^{-6}$	7,04	0,98	1408,04



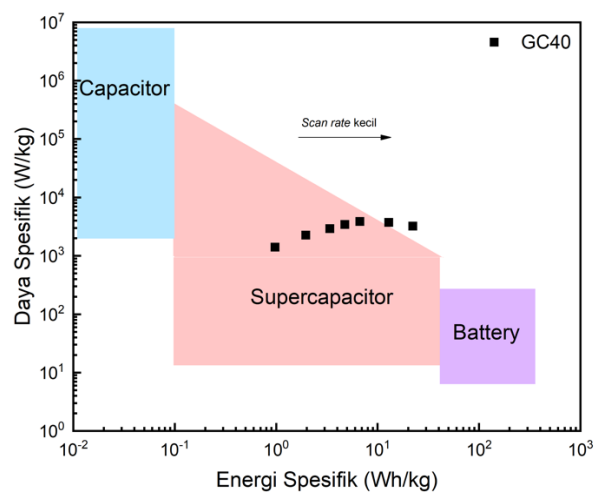
Gambar 3. Kapasitansi spesifik (C_{sp}) model superkapasitor simetris pada berbagai *scan rate*

Besar energi spesifik (E_{sp}) terhadap *scan rate* terlihat pada Gambar 4 yang dihitung menggunakan persamaan (4). Besar E_{sp} yang dihasilkan menurun seiring meningkatnya *scan rate*. Nilai E_{sp} maksimum yang dihasilkan ada pada *scan rate* 10 mV/s yaitu sebesar 22,30 Wh/kg. Besar daya spesifik (P_{sp}) terhadap *scan rate* dihitung menggunakan persamaan (2). Daya spesifik (P_{sp}) maksimum yang dihasilkan pada penelitian ini terdapat pada *scan rate* 40 mV/s dengan besarnya yaitu 3857,94 W/kg. Sedangkan, optimalisasi *scan rate* dilakukan dengan menentukan letak garis persilangan antara E_{sp} dan P_{sp} terhadap *scan rate*. Optimalisasi ini dilakukan untuk menghasilkan E_{sp} dan P_{sp} yang optimum (tidak terlalu kecil pada salah satu pihak). Terlihat bahwa *scan rate* optimum untuk menghasilkan performa superkapsitor model sel dengan perbandingan massa komposit rGO/CeO₂ 60:40 berada pada kisaran *scan rate* 13,57 mV/s.



Gambar 4. Kurva Energi spesifik (E_{sp}) dan daya spesifik (P_{sp}) model superkapasitor simetris pada berbagai *scan rate*

Gambar 5 adalah diagram *ragone plot* untuk menunjukkan bahwa sampel komposit rGO/CeO_2 sudah berada pada daerah superkapasitor yang berarti memiliki karakteristik superkapasitor. Jika dibandingkan dengan penelitian Sagadevan dkk, 2019 [6], dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 89 F/g, pada penelitian ini preparasi bahan yang disiapkan menggunakan metode hidrotermal dengan suhu 150°C selama 12 jam lebih besar yaitu 160,59 F/g. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti perbedaan jenis bahan prekursor, perbedaan rasio rGO dan CeO_2 , dan elektrolit yang digunakan.



Gambar 5. Perbandingan nilai E_{sp} dan P_{sp} superkapasitor model sel hasil pengukuran CV pada variasi *scan rate* terhadap karakteristik superkapasitor pada *ragone plot*

4. Kesimpulan

Dari karakteristik histeresis CV dapat disimpulkan bahwa sampel material komposit yang telah dibuat dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor jenis *faradaic*. Nilai C_{sp} maksimum = 160,59 F/g, E_{sp} maksimum = 22,30 Wh/kg, P_{sp} maksimum = 3857,94 W/kg terjadi pada *scan rate* 10 mV/s. Keadaan optimum terjadi pada *scan rate* sekitar 13,57 mV/s dengan nilai E_{sp} = 18,87 Wh/kg dan P_{sp} = 3396,63 W/kg. Dari hasil *ragone* plot dapat disimpulkan sel superkapasitor dengan elektroda rGO/CeO₂ memiliki karakteristik superkapasitor. Hasil di atas menunjukkan bahwa superkapasitor elektroda komposit rGO/CeO₂ yang telah dibuat memiliki performa baik.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Proyek Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) nomor kontrak 2064/UN6.3.1/PT.00/2022 tanggal 17 Maret 2022 dan Proyek *Academic Leadership Grant* (ALG) nomor kontrak 2203/UN6.3.1/PT.00/2022 tanggal 20 Mei 2022.

Daftar Pustaka

- [1] L. Prandika dan D. Susanti. (2013). *Analisa Sifat Kapasitif Kapasitor Elektrokimia WO₃ Hasil Sintesa Sol Gel dengan Variasi Temperatur Kalsinasi*. Jurnal Teknik POMITS, Vol. 2, No. 2
- [2] S. Mustofa. (2014). *Rekayasa Bahan Partikel Nano Karbon Untuk Aplikasi Piranti Energi dan Sensor*. Iptek Nuklir Bunga Rampai, Vol 1, No. 1
- [3] C. Zhong, D. Yida, W. Hu and J. Qiao. (2015). *A review of electrolyte materials and compositions for electrochemical supercapacitors*. Chemical Society Reviews, Vol. 44, pp 7484-7539
- [4] A. M. Namisnyk. (2003). *A survey of electrochemical supercapacitors technology*. Australasian Universities Power Engineering Conference, pp. 51-56
- [5] R. F. Safitri and D. H. Kusumawati. (2020). *Review: Aplikasi Bahan Komposit Berbasis Reduced Graphene Oxide (rGO)*. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, Vol. 9, No. 2, hal 93-104
- [6] S. Sagadevan, M. R. Johan and J. A. Lett. (2019). *Fabrication of reduced graphene oxide/CeO₂ nanocomposite for enhanced electrochemical performance*. Applied Physics A. Vol. 125, pp. 1-11
- [7] T. Li and H. Liu. (2018). *A simple synthesis method of nanocrystals CeO₂ modified rGO composites as electrode materials for supercapacitors with long time cycling stability*. Powder Technology, Vol 327, pp. 275-281
- [8] S. F. Haq, N. Khanifah, Fitrilawati, N. Syakir and I. M. Joni. (2022). *Perbandingan Karakteristik Sel Superkapasitor Berbahan Komposit GO/TiO₂ yang Dibuat Melalui Proses Termal Dengan dan Tanpa Autoclave*. Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika. Vol. 6, No. 2, hal 158-165