



Pengaruh Elektrodeposisi Nanopartikel Perak pada Elektroda *Reduced Graphene Oxide* terhadap Stabilitas Superkapasitor

Pratiwi Sanggusti^{1*}, Nur Hayati², Nina Aprilini³, Rahmat Hidayat⁴, Harman Amir⁵,
Hidayat⁶, Maria Ulfa⁷, Yahdi Bin Rus⁸

¹⁻⁸ Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Email: pratiwisanggusti@email.com¹, yahdi.bin.rus@brin.go.id⁸

*Penulis Korespondensi: pratiwisanggusti@email.com

Abstract. Supercapacitors have attracted considerable attention as energy storage devices owing to their high power density, rapid charge–discharge capability, and long cycle life. However, the electrochemical performance of reduced graphene oxide (rGO) is limited by the restacking phenomenon, which decreases the active surface area and restricts electrolyte ion diffusion. This study investigates the effect of silver (Ag) nanoparticle deposition on the stability of rGO electrodes using an electrodeposition method. Ag nanoparticles were deposited from a 5 mM AgNO₃ solution and the resulting electrodes were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM). Their electrochemical performance was evaluated using Cyclic Voltammetry (CV) and cycling stability tests up to 1,000 cycles. SEM analysis confirmed the successful and relatively homogeneous distribution of Ag nanoparticles on the rGO surface. The electrochemical results showed that the rGO/Ag electrode retained approximately 96–97% of its initial capacitance after 1,000 cycles, whereas the pristine rGO electrode retained only about 69%. These findings demonstrate that Ag deposition effectively enhances the structural stability and electrochemical performance of rGO electrodes, indicating their potential for high-performance supercapacitor applications.

Keywords: Cycle Stability; Electrodeposition; Reduced Graphene Oxide; Silver Nanoparticles; Supercapacitors.

Abstrak. Superkapasitor merupakan salah satu perangkat penyimpanan energi yang banyak dikembangkan karena memiliki kerapatan daya tinggi, kemampuan pengisian dan pengosongan muatan yang cepat, serta umur siklus yang panjang. Reduced graphene oxide (rGO) merupakan material elektroda yang potensial karena memiliki konduktivitas listrik dan luas permukaan yang tinggi. Namun, performa rGO masih dibatasi oleh fenomena restacking yang mengurangi luas permukaan aktif dan menghambat difusi ion elektrolit. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas elektroda rGO melalui deposisi nanopartikel perak (Ag) menggunakan metode elektrodeposisi. Elektroda rGO/Ag disintesis pada konsentrasi AgNO₃ 5 mM dan dikarakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM), sedangkan kinerja elektrokimia dievaluasi melalui Cyclic Voltammetry (CV) dan uji stabilitas hingga 1000 siklus. Hasil SEM menunjukkan bahwa nanopartikel Ag berhasil terdistribusi pada permukaan rGO dengan morfologi yang relatif homogen. Hasil pengujian elektrokimia menunjukkan bahwa elektroda rGO/Ag memiliki retensi kapasitansi sekitar 96–97% setelah 1000 siklus, lebih tinggi dibandingkan elektroda rGO yang hanya mempertahankan sekitar 69%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa deposisi Ag mampu memperbaiki konduktivitas, memperkuat integritas struktur elektroda, serta meningkatkan stabilitas elektrokimia. Dengan demikian, komposit rGO/Ag berpotensi menjadi material elektroda yang menjanjikan untuk aplikasi superkapasitor.

Kata kunci: Elektrodeposisi; Nanopartikel Perak; Oksida Grafena Tereduksi; Stabilitas Siklus; Superkapasitor.

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan terhadap perangkat penyimpanan energi yang memiliki efisiensi tinggi terus meningkat seiring berkembangnya teknologi kendaraan listrik, perangkat elektronik portabel, dan sistem energi terbarukan. Perkembangan tersebut mendorong penelitian terhadap teknologi penyimpanan energi yang tidak hanya memiliki kapasitas penyimpanan yang besar, tetapi juga mampu memberikan daya yang tinggi, waktu pengisian yang cepat, serta umur pakai yang panjang. Oleh karena itu, pengembangan material elektroda menjadi salah satu aspek penting

dalam meningkatkan kinerja perangkat penyimpanan energi modern (Simon & Gogotsi, n.d.) (Material et al., 2012)

Di antara berbagai teknologi penyimpanan energi, superkapasitor merupakan perangkat yang banyak mendapat perhatian karena memiliki karakteristik berupa kerapatan daya (*power densitas*) yang tinggi, waktu pengisian dan pengosongan muatan yang singkat, serta stabilitas siklus yang sangat baik dibandingkan baterai konvensional. Superkapasitor menyimpan energi melalui mekanisme *electric double layer capacitance* (EDLC) maupun pseudokapasitansi sehingga mampu menghasilkan kinerja elektrokimia yang tinggi untuk berbagai aplikasi, seperti sistem penyimpanan energi, kendaraan listrik, dan perangkat elektronik portabel (Zhu et al., 2010) (Novoselov et al., 2012).

Kinerja superkapasitor sangat ditentukan oleh karakteristik material elektroda yang digunakan. Bahan berbasis karbon banyak dipilih sebagai elektroda karena memiliki konduktivitas listrik yang baik, stabilitas kimia yang tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, serta biaya produksi yang relatif ekonomis. Berbagai material karbon, seperti karbon aktif, carbon nanotubes (CNT), graphene, dan Reduced Graphene Oxide (rGO), telah banyak diteliti sebagai material elektroda superkapasitor karena mampu meningkatkan kapasitas penyimpanan energi melalui mekanisme penyimpanan muatan yang efisien. (Zhang & Zhao, 2009)

Reduced Graphene Oxide (rGO) merupakan salah satu material karbon yang memiliki potensi besar sebagai elektroda superkapasitor karena memiliki struktur dua dimensi dengan memiliki konduktivitas listrik yang tinggi serta luas permukaan spesifik yang mendukung proses adsorpsi ion dan penyimpanan muatan secara efektif. Selain itu, keberadaan gugus fungsi oksigen yang tersisa setelah proses reduksi mampu meningkatkan interaksi antara elektroda dan elektrolit sehingga mendukung proses penyimpanan muatan melalui mekanisme EDLC (Ansari et al., 2021) (Cai et al., 2018).

Meskipun demikian, penggunaan rGO masih menghadapi beberapa kendala, salah satunya adalah fenomena *restacking* akibat gaya tarik Van der Waals antarlembaran grafena. Fenomena ini menyebabkan berkurangnya luas permukaan aktif, tertutupnya material pori-pori, serta terhambatnya difusi ion elektrolit ke dalam struktur elektroda. Akibatnya, kapasitansi spesifik dan stabilitas elektrokimia rGO menjadi lebih rendah dibandingkan potensi teoritisnya (Rus et al., 2019) (Augustyn & Dunn, 2014).

Salah satu strategi yang banyak dikembangkan untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan mengombinasikan rGO dengan nanopartikel logam. Nanopartikel perak (AgNPs) merupakan material yang menarik karena memiliki konduktivitas listrik tertinggi di antara logam lainnya, sehingga Mampu meningkatkan konduktivitas listrik elektroda dengan mempercepat transfer elektron serta menurunkan resistansi internal selama proses penyimpanan muatan. Selain itu, AgNPs dapat berperan sebagai *spacer* yang menjaga jarak antarlembaran rGO sehingga mampu mengurangi fenomena *restacking* dan meningkatkan akses ion elektrolit ke permukaan aktif elektroda (Abdelfattah et al., 2024) (Online et al., n.d.)

Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa komposit rGO/Ag mampu meningkatkan kinerja superkapasitor elektrokimia melalui peningkatan kapasitansi spesifik dan konduktivitas listrik. Namun sebagian besar penelitian masih fokus pada peningkatan kapasitansi, sedangkan penelitian mengenai pengaruh deposisi Ag terhadap stabilitas siklus elektroda masih relatif terbatas. Selain itu, distribusi nanopartikel Ag pada permukaan rGO sangat dipengaruhi oleh metode sintesis yang digunakan sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh struktur komposit yang stabil dan memiliki kinerja elektrokimia yang optimal (Li et al., 2017) (Ulfa et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas elektroda berbasis reduksi graphene oxide (rGO) melalui deposisi nanopartikel perak (Ag) menggunakan metode elektrodeposisi. Morfologi permukaan elektroda hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), sedangkan kinerja elektrokimia dievaluasi melalui pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) dan uji stabilitas hingga 1000 siklus. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai peran nanopartikel Ag dalam meningkatkan stabilitas struktural dan kinerja elektrokimia elektroda rGO, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai material elektroda superkapasitor yang lebih andal.

2. KAJIAN TEORITIS

Superkapasitor merupakan perangkat penyimpanan energi elektrokimia yang memiliki karakteristik berupa kerapatan daya tinggi, waktu pengisian dan pengosongan yang cepat, serta umur siklus yang panjang (Simon & Gogotsi, n.d.) (Material et al., 2012). Berdasarkan mekanisme penyimpanan muatannya, superkapasitor dibedakan menjadi Electric Double Layer Capacitor (EDLC) dan pseudokapasitor (Simon & Gogotsi, n.d.). EDLC menyimpan energi melalui adsorpsi ion secara elektrostatis pada antarmuka elektroda–elektrolit tanpa melibatkan reaksi kimia, sedangkan pseudokapasitor menyimpan muatan melalui reaksi

oksidasi-reduksi (*reaksi faradaic*) yang terjadi pada permukaan material aktif (Material et al., 2012)(Zhu et al., 2010). Kombinasi kedua mekanisme tersebut menjadi dasar pengembangan material elektroda dengan kinerja elektrokimia yang tinggi(Bityasmawan et al., 2023).

Material karbon merupakan salah satu material elektroda yang paling banyak digunakan pada superkapasitor karena memiliki konduktivitas listrik yang baik, stabilitas kimia tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, serta biaya produksi yang relatif rendah (Zhu et al., 2010) (Novoselov et al., 2012). Salah satu bahan karbon yang banyak dikembangkan adalah Reduced Graphene Oxide (rGO) (Novoselov et al., 2012). Material ini memiliki struktur dua dimensi yang mampu menyediakan jalur transport elektron secara cepat dan luas permukaan yang besar untuk proses adsorpsi ion elektrolit (Rus, 2021) (Zhang & Zhao, 2009) . Namun, dalam aplikasinya rGO masih menghadapi kendala berupa fenomena restacking , yaitu menumpuk kembali lembaran grafena akibat gaya Van der Waals (Novoselov et al., 2012) (Rus et al., 2021). Fenomena tersebut menyebabkan berkurangnya luas permukaan aktif, menurunnya akses ion elektrolit, serta berkurangnya nilai kapasitansi dan stabilitas elektroda (Zhang & Zhao, 2009) .

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah modifikasi rGO menggunakan nanopartikel perak (AgNPs) (Ansari et al., 2021) (Cai et al., 2018). Perak memiliki konduktivitas listrik yang sangat tinggi sehingga mampu mempercepat transfer elektron pada elektroda (Cai et al., 2018) (Rus et al., 2019). Selain meningkatkan konduktivitas, nanopartikel Ag juga berfungsi sebagai spacer yang menjaga jarak antarlembaran rGO sehingga dapat mengurangi fenomena *restacking* (Cai et al., 2018) (Augustyn & Dunn, 2014). Distribusi nanopartikel Ag yang homogen pada permukaan rGO dapat memperluas luas permukaan aktif, memperlancar difusi ion elektrolit, serta meningkatkan stabilitas struktur elektroda selama proses pengisian dan pengosongan muatan (Cai et al., 2018) (Abdelfattah et al., 2024).

Dalam penelitian ini, elektrodeposisi dipilih sebagai metode deposisi nanopartikel Ag pada permukaan elektroda rGO karena mampu menghasilkan distribusi partikel yang relatif homogen, ketebalan lapisan yang terkontrol, serta proses sintesis yang sederhana dan mudah direproduksi (Zhang & Zhao, 2009) (Cai et al., 2018) . Pada metode ini, ion Ag^+ direduksi menjadi Ag logam pada permukaan elektroda melalui pemberian potensial tertentu sehingga terbentuk nanopartikel yang terdistribusi pada permukaan rGO(Cai et al., 2018) (Rus et al., 2019). Karakterisasi morfologi hasil deposisi umumnya dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengamati distribusi dan ukuran partikel, sedangkan evaluasi kinerja elektrokimia dilakukan menggunakan Cyclic Voltammetry (CV) dan uji

stabilitas (*cycling stability*) untuk mengetahui kemampuan elektroda dalam mempertahankan kapasitasnya selama siklus pengisian dan pengosongan (Material et al., 2012) (Cai et al., 2018).

Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa penambahan nanopartikel Ag pada material karbon mampu meningkatkan konduktivitas listrik, mempercepat transfer elektron, serta meningkatkan kinerja elektrokimia superkapasitor (Cai et al., 2018) (Abdelfattah et al., 2024). Namun, sebagian besar penelitian lebih menitikberatkan pada peningkatan kapasitasnya spesifik, sedangkan penelitian mengenai pengaruh elektrodposisi Ag terhadap stabilitas siklus elektroda berbasis rGO masih relatif terbatas (Cai et al., 2018) (Rus et al., 2019). Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada sintesis komposit rGO/Ag melalui metode elektrodposisi serta evaluasi pengaruhnya terhadap morfologi permukaan dan stabilitas elektrokimia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai efektivitas nanopartikel Ag dalam meningkatkan stabilitas struktural dan kinerja elektrokimia elektroda rGO sebagai meningkatkan ketahanan struktur elektroda sehingga mendukung pengembangan material elektroda superkapasitor yang memiliki kinerja elektrokimia serta stabilitas siklus yang lebih baik untuk aplikasi superkapasitor.

3. METODE PENELITIAN

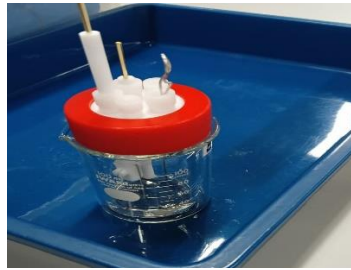
Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain graphene oxide (GO) sebagai bahan dasar elektroda, perak nitrat (AgNO_3) sebagai prekursor nanopartikel perak, polyvinylidene fluoride (PVDF) sebagai bahan pengikat (*binder*), N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) sebagai pelarut pengikat, serta substrat stainless steel (INOX) sebagai pengikat arus. Larutan elektrolit yang digunakan dalam proses elektrodposisi dan pengujian elektrokimia disiapkan sesuai dengan kondisi eksperimen.

Persiapan Elektroda rGO

Elektroda rGO dibuat dengan melarutkan PVDF ke dalam NMP hingga terbentuk larutan binder yang homogen menggunakan magnetic stirrer. Selanjutnya serbuk rGO dicampurkan ke dalam larutan binder dan diaduk hingga membentuk slurry homogen. Slurry kemudian dilapiskan pada permukaan substrat INOX menggunakan metode doctor blade sehingga diperoleh ketebalan lapisan yang seragam. Elektroda yang telah dilapiskan selanjutnya dikeringkan menggunakan oven vakum untuk menghilangkan sisa pelarut dan meningkatkan daya rekat lapisan aktif pada substrat.

Elektrodeposisi Nanopartikel Perak



Gambar 1. Proses Sintesis rGO/Ag

Nanopartikel perak dideposisikan pada permukaan elektroda rGO menggunakan metode elektrodeposisi dalam larutan AgNO_3 5 mM. Proses deposisi dilakukan menggunakan sistem tiga elektroda yang terdiri atas elektroda rGO/INOX sebagai elektroda kerja, kawat perak sebagai elektroda referensi, dan pelat platina sebagai elektroda lawan. Elektrodeposisi dilakukan pada potensial $-0,7$ V selama 30 detik sehingga ion Ag^+ tereduksi menjadi nanopartikel Ag yang terdistribusi pada permukaan rGO.

Karakterisasi Material

Morfologi permukaan elektroda dikarakterisasi menggunakan teknik Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengamati distribusi dan bentuk partikel pada permukaan material. Selanjutnya karakterisasi elektrokimia dilakukan menggunakan metode Cyclic Voltammetry (CV) untuk menyebarkan perilaku kapasitif elektroda. Stabilitas elektrokimia dievaluasi melalui uji stabilitas (cycling stability) hingga 1000 siklus pengisian dan pengosongan muatan guna mengetahui kemampuan elektroda dalam mempertahankan kapasitansi selama proses siklus berulang.

Analisis Data

Nilai kapasitansi spesifik dihitung berdasarkan hasil pengujian Cyclic Voltammetry (CV) menggunakan persamaan:

$$C = \frac{I\Delta t}{m\Delta E}$$

Dimana :

I = Arus Discharge

Δt = Waktu Discharge

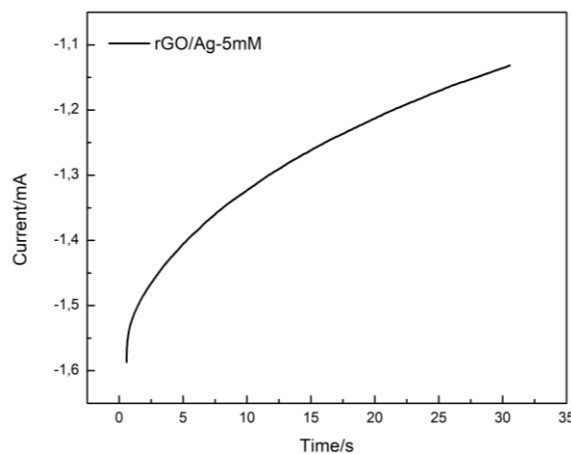
m = massa material aktif

ΔE = Rentang tegangan efektif selama proses Discharge

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian mengenai pengaruh komposit *Reduced Graphene Oxide* (rGO) dengan *Silver Nanoparticles* (AgNPs) terhadap stabilitas dan Kapasitansi kinerja superkapasitor diperoleh melalui beberapa tahapan sintesis, karakterisasi, dan pengujian elektrokimia. Karakterisasi material dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui struktur morfologi permukaan material komposit. Selanjutnya, pengujian elektrokimia dilakukan menggunakan metode Cyclic Voltammetry (CV), dan uji stabilitas siklus untuk mengevaluasi Kapasitansi spesifik serta kestabilan elektroda selama proses charge-discharge. Hasil pengujian yang diperoleh kemudian dibandingkan untuk menentukan komposisi AgNPs yang paling optimum dalam meningkatkan performa dan stabilitas superkapasitor.

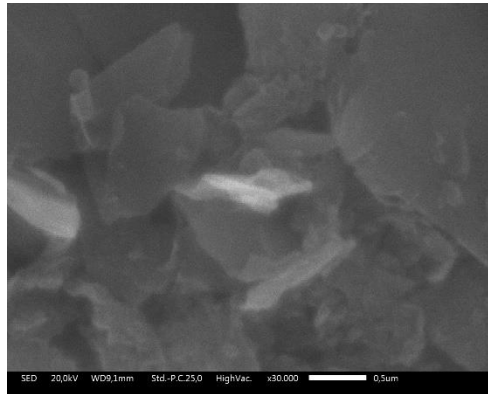
Sintesis Elektroda



Gambar 2. Sintesis Ag pada Elektroda

Kurva chronoamperometri hasil elektrodeposisi Ag pada permukaan rGO ditunjukkan pada Gambar 2. Pada proses awal, arus mengalami penurunan yang tajam akibat reduksi ion Ag^+ menjadi Ag logam dan pembentukan inti kristal (*nukleasi*) pada permukaan elektroda. Selanjutnya, arus menjadi relatif stabil yang menunjukkan bahwa pertumbuhan nanopartikel Ag berlangsung secara terkendali oleh difusi ion Ag^+ dari larutan menuju permukaan elektroda. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa proses elektrodeposisi pada potensial $-0,7$ V selama 30 detik berhasil mendeposisikan nanopartikel Ag pada permukaan rGO. Distribusi Ag yang terbentuk diharapkan mampu meningkatkan konduktivitas listrik, memperbaiki jalur transfer elektron, serta meningkatkan stabilitas elektroda superkapasitor.

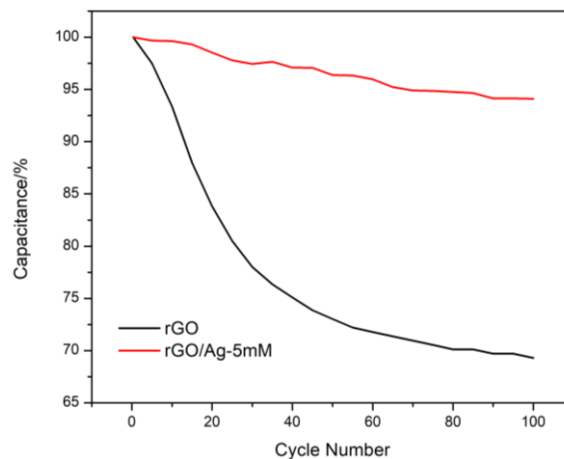
Karakterisasi SEM



Gambar 3. Karakterisasi SEM

Hasil SEM menunjukkan bahwa permukaan elektroda masih mempertahankan morfologi lembaran khas graphene oksida tereduksi. Setelah proses elektrodeposisi, nanopartikel Ag berhasil terdeposit pada permukaan rGO tanpa menyebabkan kerusakan struktur lembaran graphene. Distribusi Ag yang relatif homogen menunjukkan proses nukleasi berlangsung secara efektif sehingga menghasilkan kontak antarmuka yang baik antara Ag dan rGO. Kehadiran nanopartikel Ag diperkirakan meningkatkan jalur transfer elektron sekaligus mengurangi hambatan listrik pada elektroda.

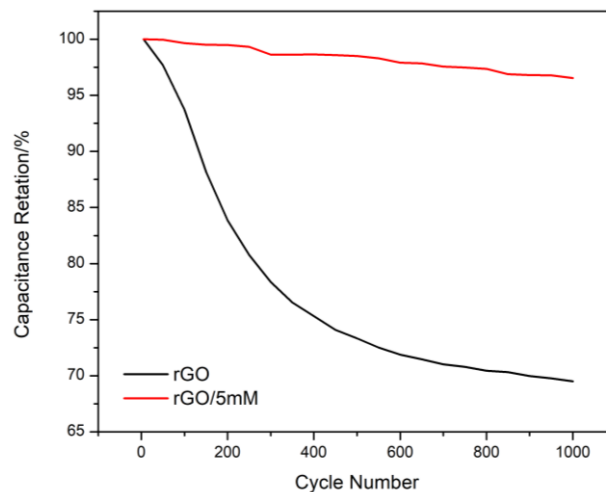
Kapasitansi Spesifik



Gambar 4. Kapasitansi Spesifik

Grafik menunjukkan bahwa elektroda rGO mengalami penurunan kapasitansi yang cukup tajam selama pengujian, sedangkan elektroda rGO/Ag-5 mM mempertahankan retensi kapasitansi yang jauh lebih tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keberadaan nanopartikel Ag mampu meningkatkan stabilitas elektroda melalui peningkatan konduktivitas listrik dan efisiensi transfer muatan. Selain itu, Ag berperan sebagai jalur penghantar elektron yang membantu mempertahankan kinerja elektrokimia selama proses pengisian dan pengosongan berulang.

Stabilitas Siklus



Gambar 5. Stabilitas Siklus

Gambar menunjukkan bahwa elektroda rGO mengalami penurunan retensi kapasitansi secara signifikan selama 1000 siklus dan hanya mempertahankan sekitar 69% dari kapasitansi awal. Sebaliknya, elektroda rGO/Ag-5 mM mempertahankan retensi kapasitansi sekitar 96–97%, menunjukkan stabilitas elektrokimia yang jauh lebih baik. Peningkatan stabilitas tersebut mengindikasikan bahwa nanopartikel Ag mampu memperkuat integritas struktur elektroda, meningkatkan konduktivitas listrik, serta mengurangi degradasi material aktif selama proses charge-discharge berulang. Dengan demikian, penambahan Ag melalui metode elektrodposisi efektif meningkatkan ketahanan siklus elektroda berbasis rGO.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Elektrodposisi nanopartikel perak berhasil meningkatkan stabilitas elektrokimia elektroda oksida grafena tereduksi. Analisis SEM mengkonfirmasi keberhasilan deposisi nanopartikel Ag pada permukaan rGO tanpa merusak struktur berlapis. Pengukuran elektrokimia menunjukkan bahwa elektroda rGO/Ag-5 mM menunjukkan retensi kapasitansi yang jauh lebih tinggi (sekitar 96–97% setelah 1000 siklus) dibandingkan dengan rGO murni (sekitar 69%). Peningkatan stabilitas siklus ini disebabkan oleh peningkatan konduktivitas listrik dan integritas struktural yang lebih baik yang diberikan oleh nanopartikel Ag, menunjukkan bahwa rGO/Ag-5 mM adalah material elektroda yang menjanjikan untuk superkapasitor berkinerja tinggi.

DAFTAR REFERENSI

- Abdelfattah, A., Ahmed, F. M., Mohamed, L. Z., & Selim, A. M. (2024). Mechanochemical enhancement in electrode materials via silver - embedded reduced graphene oxide and cobalt oxide nanostructure for supercapacitor applications. *Ionics*, 30(3), 1735–1748. <https://doi.org/10.1007/s11581-024-05385-9>
- Ansari, A. R., Ansari, S. A., Parveen, N., Ansari, M. O., & Osman, Z. (2021). *Silver Nanoparticles Embedded on Reduced Graphene Oxide @ Copper Oxide Nanocomposite for High Performance Supercapacitor Applications*.
- Augustyn, V., & Dunn, B. (2014). *Environmental Science Pseudocapacitive oxide materials for high-rate electrochemical energy storage*. 1597–1614. <https://doi.org/10.1039/c3ee44164d>
- Bitayasmawan, O., Bin, Y., & Ulfa, M. (2023). Recent progress on reduced graphene oxide and polypyrrole composites for high performance supercapacitors : A review. *Journal of Energy Storage*, 74(PA), 109300. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109300>
- Cai, N., Fu, J., Zeng, H., Luo, X., Han, C., & Yu, F. (2018). AC SC. *Journal of Alloys and Compounds*. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.011>
- Li, J., Huang, H., Zhou, Y., Zhang, C., & Li, Z. (2017). *Research progress of graphene-based microwave absorbing materials in the last decade*. 1213–1230. <https://doi.org/10.1557/jmr.2017.80>
- Material, S. O., Web, S., Press, H., Science, M., York, N., & Nw, A. (2012). *No Title*. 917(2011). <https://doi.org/10.1126/science.1213003>
- Novoselov, K. S., Fal, V. I., Colombo, L., Gellert, P. R., Schwab, M. G., & Kim, K. (2012). REVIEW A roadmap for graphene. *Nature*, 490(7419), 192–200. <https://doi.org/10.1038/nature11458>
- Online, V. A., Rana, D., Sarkar, G., Bhattacharyya, A., Saha, N. R., Mondal, S., & Pattanayak, S. (n.d.). *RSC Advances*. <https://doi.org/10.1039/C4RA16197A>
- Rus, Y. Bin. (2021). *RSC Advances. February*. <https://doi.org/10.1039/D0RA10961D>
- Rus, Y. Bin, Galmiche, L., Audebert, P., & Courty, A. (2019). *Electrodeposition of Silver Nanoparticles on Reduced Graphene Functionalized by Pyridine-Pyridazine Units : Application to Surface-Enhanced Raman Spectroscopy and Electrocatalysis*. 1298–1305. <https://doi.org/10.1002/slct.201802130>
- Rus, Y. Bin, Galmiche, L., Audebert, P., & Miomandre, F. (2021). Influence of the electrolytic medium on the performance and stability of functionalized graphene-polypyrrole nanocomposites as materials for supercapacitors In fl uence of the electrolytic medium on the performance and stability of functionalized graphene-polypyrrole nanocomposites as materials for supercapacitors. *Synthetic Metals*, 254(June 2019), 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2019.05.011>
- Simon, P., & Gogotsi, Y. (n.d.). *Materials for electrochemical capacitors*. 845–854.
- Ulfa, M., Galmiche, L., Miomandre, F., & Bin, Y. (2025). Electrochemical modification of reduced graphene oxide with 5 - amino - 1 , 10 - phenanthroline prior to silver nanoparticles electrodeposition for oxygen reduction reaction. *Carbon Letters*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s42823-025-00972-w>

Zhu, B. Y., Murali, S., Cai, W., Li, X., Suk, J. W., Potts, J. R., & Ruoff, R. S. (2010). *Graphene and Graphene Oxide: Synthesis , Properties , and Applications*. 3906–3924. <https://doi.org/10.1002/adma.201001068>