

Sintesis Grafit Tereksfoliasi Dengan Larutan Garam K_2SO_4 Menggunakan Metode Elektrokimia

1st Indrianto Bayu Aji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

idrtbayuaji@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Memoria Rosi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

memoriarosi@telkomuniversity.ac.id

3rd Linahtadiya Andiani
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

linahtadiyaa@telkomuniversity.ac.id

Abstrak- Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis grafit yang berasal dari pensil 2b menjadi exfoliated graphite dengan larutan garam anorganik K_2SO_4 menggunakan metode elektrokimia. Variasi konsentrasi larutan garam yang digunakan adalah 0,05 M, 0,1 M, 0,2 M, 0,35 M dan 0,5 M kemudian tegangan yang digunakan dalam proses eksfoliasi pada metode elektrokimia sebesar 15 V selama 3 menit. Konsentrasi 0,2 M dianggap optimal karena mendapatkan nilai yield tertinggi yaitu sebesar 15,12 %. Konduktivitas maksimal sebesar $10,5 \times 10^{-3} \text{ s/m}^2$, berdasarkan hasil cyclic voltammetry nilai kapasitansi tertinggi sebesar 21,2 F/g dan untuk karakterisasi galvanostatic charge discharge menunjukkan bahwa waktu pengisian dan pengosongan sebesar 2 μs . Sedangkan sebagai pembandingan, untuk elektroda grafit tanpa eksfoliasi didapatkan nilai konduktivitas sebesar $0,7 \times 10^{-3} \text{ s/m}^2$ dan untuk kapasitansi sebesar 1,2 F/g. Elektroda pembandingan melakukan pengisian pengosongan lebih lama sebesar 4 μs dikarenakan tidak melewati tahap aktivasi melalui metode elektrokimia.

Kata Kunci: Grafit, exfoliated graphite, K_2SO_4 , metode elektrokimia, superkapasitor

I. PENDAHULUAN

Superkapasitor sebagai salah satu perangkat penyimpanan daya (90-110,5 W/kg) yang telah menarik banyak perhatian peneliti dewasa ini karena memiliki kapasitansi yang besar (86 - 190,1 F/g), waktu pengisian dan pengosongan yang cepat (orde detik), rapat daya yang tinggi (10-30 kW/kg), umur (lifetime) yang panjang (>10 tahun) dan cycle life yang besar (103 - 106 cycles) [1] [2]. Struktur superkapasitor terdiri dari pengumpul arus, elektroda, pemisah dan elektrolit. Elektroda adalah komponen utama yang menentukan nilai kapasitansi superkapasitor. Elektroda superkapasitor berbahan dasar grafit yang menjanjikan untuk aplikasi di superkapasitor dan perangkat penyimpanan energi lainnya karena sifat yang menarik yaitu luas permukaan yang sangat dapat diatur (hingga 2675 m^2g^{-1}), konduktivitas listrik yang luar biasa (0.00021 - 0.02 S/cm), kapasitansi mencapai (18.8 - 190.1 F/g) dan stabilitas kimia yang baik dan perilaku atau kekuatan mekanik yang kuat (~ 1 TPa). [3] Pengelupasan grafit tersebut menggunakan larutan garam yang bersifat anorganik. Beberapa metode yang digunakan untuk mensintesis grafit yaitu metode Hummers, mekanik, CVD, elektrokimia dan lain-lain. Metode elektrokimia merupakan metode yang sederhana dengan menggunakan larutan garam atau asam. Ada beberapa larutan elektrolit

yang digunakan untuk mengelupaskan grafit tersebut salah satunya ada Na_2SO_4 , K_2SO_4 dan $(NH_4)_2SO_4$.

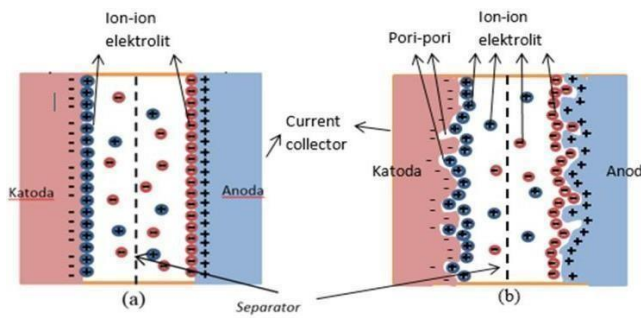
Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis grafit menggunakan metode elektrokimia dengan membuat larutan garam dengan K_2SO_4 . K_2SO_4 dipilih karena keungguaannya yang dapat mengeksfoliasi grafit dengan baik. Variasi konsentrasi larutan garam yang digunakan sebesar 0.05 M, 0.1 M, 0.2 M, 0.35 M dan 0.5 M. Setelah itu sintesis elektrokimia dilakukan dengan memberikan tegangan DC sebesar 15 V selama 3 menit agar dapat mengelupas dengan sempurna. Setelah itu grafit yang telah menjadi exfoliated graphite dapat disaring dengan kertas saring dan bantuan pompa vakum. elanjutnya dilakukan karakterisasi sifat listrik dengan metoda four point probe dan sifat elektrokimia menggunakan Cyclic Voltammetry(CV) dan Galvanostat Charge Discharge (GCD). Nilai konduktivitas listrik dihitung dari kurva I-V sedangkan kapasitansi dihitung dari kurva CV. Lama pengisian dan pengosongan diamati dari kurva GCD. Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis grafit menggunakan metode elektrokimia dengan membuat larutan garam dengan K_2SO_4 . K_2SO_4 dipilih karena keungguaannya yang dapat mengeksfoliasi grafit dengan baik. Variasi konsentrasi larutan garam yang digunakan sebesar 0.05 M, 0.1 M, 0.2 M, 0.35 M dan 0.5 M. Setelah itu sintesis elektrokimia dilakukan dengan memberikan tegangan DC sebesar 15 V selama 3 menit agar dapat mengelupas dengan sempurna. Setelah itu grafit yang telah menjadi exfoliated graphite dapat disaring dengan kertas saring dan bantuan pompa vakum. elanjutnya dilakukan karakterisasi sifat listrik dengan metoda four point probe dan sifat elektrokimia menggunakan Cyclic Voltammetry(CV) dan Galvanostat Charge Discharge (GCD). Nilai konduktivitas listrik dihitung dari kurva I-V sedangkan kapasitansi dihitung dari kurva CV. Lama pengisian dan pengosongan diamati dari kurva GCD.

II. KAJIAN TEORI

A. Superkapasitor

Superkapasitor terdiri dari pengumpul arus, elektroda, pemisah dan elektrolit. Superkapasitor memiliki dua elektroda yang dipisahkan oleh larutan elektrolit. Prinsip kerja superkapasitor sama seperti dengan kapasitor konvensional. Elektroda berfungsi sebagai penyimpan muatan

ion sedangkan elektrolit sumber muatan ion. Struktur kapasitor (a) dan struktur superkapasitor (b) dapat dilihat pada Gambar 2.1 [4].



GAMBAR 1
STUKTUR SUPERKAPASITOR

Struktur superkapasitor sama dengan kapasitor konvensional yaitu terdiri dari dua buah plat sejajar atau plat pengumpul arus. Material superkapasitor terbentuk dari material berpori yang digunakan untuk menyimpan ion-ion elektrolit. Selain itu, material superkapasitor mempunyai luas permukaan spesifik besar yang mencapai 1000-2630 m²/g sehingga mempunyai skala sampai nano.

B. Prinsip Pengisian dan Pengosongan Kapasitor

Prinsip pengisian dan pengosongan pada superkapasitor terjadi secara elektrostatis sama dengan prinsip yang dimiliki oleh kapasitor konvensional. Pada awalnya, ion-ion masih berada di dalam elektrolit saja karena belum diberikan tegangan. Kemudian pada saat diberikan tegangan akan muncul medan listrik, tegangan yang diberikan akan membantu elektrolit bergerak menuju layer-layer pada exfoliated graphene. Ion positif bergerak menuju kutub negatif terminal tegangan, sedangkan ion negatif akan menuju kutub positif terminal tegangan. Akibatnya muatan akan tersimpan di dalam superkapasitor. Pada proses pengosongan, diberikan tegangan terbalik pada superkapasitor, sehingga ion-ion yang semula tersimpan pada pori-pori karbon akan bergerak kembali menuju larutan elektrolit.

C. Grafit

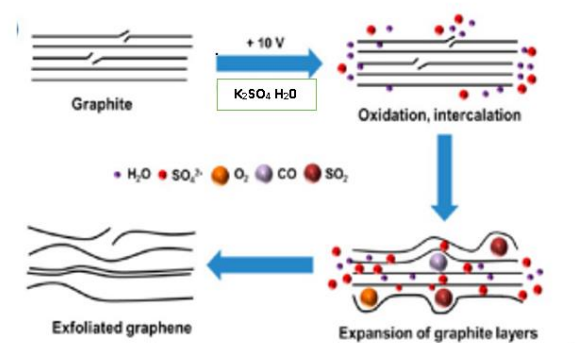
Grafit memiliki struktur lapisan yang terdiri atas cincin atom karbon yang beranggotakan 6 atom yang mirip benzene yang terkondensasi tanpa atom hidrogen. Jarak karbon-karbon dalam lapisan adalah 142 pm dan ikatannya memiliki karakter ikatan rangkap, analog dengan senyawa aromatik. Karena jarak antar lapisan adalah 335 pm dan lapisan-lapisan tersebut diikat oleh ikatan yang relatif lemah yakni gaya Van der Waals, lapisan-lapisan ini dengan mudah akan saling menggelincir bila dikenai gaya. Hal inilah yang merupakan asal mula sifat pelubrikasi grafit. Berbagai molekul seperti logam alkali, halogen, halida logam, dan senyawa organik dapat menginterkalasi lapisan grafit dan membentuk senyawa interkalasi. Grafit memiliki sifat semi-logam, konduktivitasnya 10⁻³ Ωcm paralel dengan lapisan dan hantarnya sekitar 100 kali lebih kecil dalam arah gerak lurus lapisan. [8]

Elektroda yang dipakai memiliki luas permukaan yang besar untuk grafit sehingga menyebabkan konduktivitas elektroda tinggi. Seperti grafit nanopartikel contohnya memiliki konduktivitas yang sangat tinggi dan mobilitas

muatan yang tinggi. Penggabungan karbon nanotube dan grafit ke dalam matriks polimer mampu meningkatkan konduktivitas listrik polimer dengan beberapa kali lipat tanpa mengorbankan lainnya fitur penting, seperti sifat mekanik dan optik [9].

D. Exfoliated Graphite

Grafit Tereksfoliasi merupakan hasil dari eksfoliasi grafit yang sebelumnya berbentuk 3 dimensi menjadi 2 dimensi. Lapisan 2D grafit tereksfoliasi dapat menyebabkan kapasitansi yang lebih besar akibat bertambahnya luas permukaan mencapai (2630 m²/g). Beberapa keistimewaan grafit tereksfoliasi antara lain mobilitas elektron yang tinggi (200.000 cm² V⁻¹ s⁻¹). Sedangkan larutan garam/anorganik yang digunakan untuk proses eksfoliasi menggunakan larutan K₂SO₄ dengan berbagai perbandingan molaritas yang digunakan yaitu 0,05 M, 0,1 M, 0,2 M, 0,35 M dan 0,5 M.



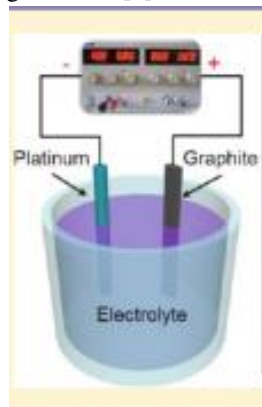
GAMBAR 2
PROSES EKSFOLIASI PADA GRAFIT

Penggunaan K₂SO₄ diyakini bahwa memiliki penurunan potensial yang cukup rendah sehingga mampu membuat proses eksfoliasi menjadi lebih cepat. [3] Senyawa garam yang mengandung SO₄²⁻ digunakan karena memiliki potensial reduksi rendah (+0,20 V) [17]. Oleh karena itu, senyawa elektrolit ini dapat menghasilkan gas SO₂ yang lebih cepat diantara lapisan grafit sehingga terjadi proses interkalasi yang menyebabkan proses eksfoliasi lebih cepat. [3]

E. Metode Elektrokimia

Pengelupasan elektrokimia grafit telah menarik perhatian perhatian karena mudah, cepat, dan ramah lingkungan alam untuk menghasilkan graphene berkualitas tinggi. Elektrokimia pengelupasan grafit telah dilakukan terutama dalam dua berbagai jenis elektrolit, yaitu cairan ionik dan berair asam (misalnya, H₂SO₄ atau H₃PO₄). Pengelupasan dalam cairan ionik hanya menghasilkan hasil graphene yang rendah dengan ukuran lateral yang kecil (<5 μm) dan sering berfungsi dengan cairan ionik, yang mengganggu sifat elektronik graphene. Di sisi lain, pengelupasan dalam elektrolit asam dapat menghasilkan graphene dengan kualitas yang lebih baik dan ukuran lateral yang lebih besar, tetapi jumlah yang signifikan gugus fungsi yang mengandung oksigen tidak dapat dihindari karena terhadap oksidasi berlebih grafit oleh asam. Oleh karena itu, sistem elektrolit yang tepat yang dapat menyeimbangkan

kualitas tinggi dan sintesis jumlah besar dari graphene terkelupas (EG) sangat efektif [3].

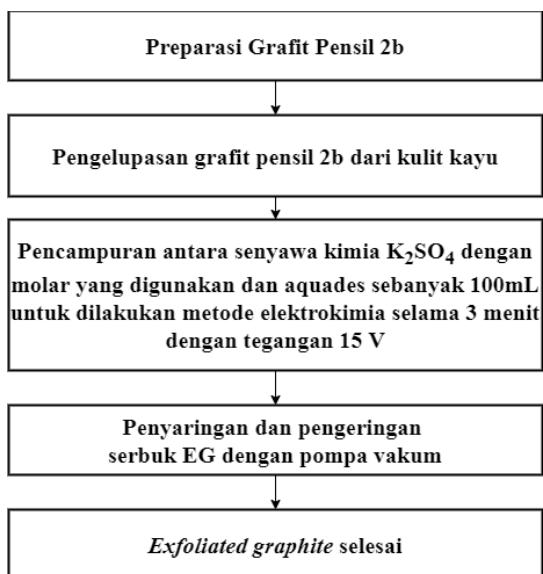


GAMBAR 3
SKEMA METODE ELEKTROKIMIA

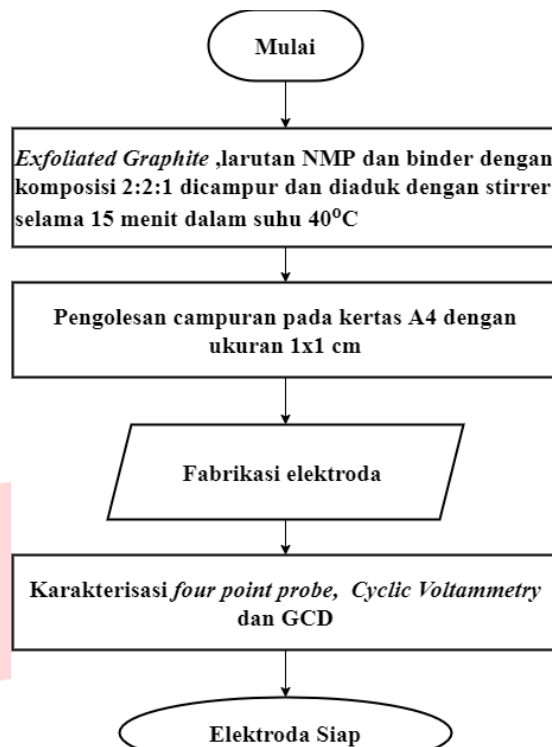
III. METODE

A. Metode Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2 menampilkan tahapan penelitian tugas akhir ini



GAMBAR 4
PROSES METODE ELEKTROKIMIA UNTUK EG



GAMBAR 5
PROSES PEMBUATAN ELEKTRODA

B. Karakterisasi Four Point Probe

Karakterisasi four-point probe dilakukan untuk mengetahui sifat listrik suatu elektroda. Karakterisasi four-point probe dilakukan dengan menggunakan empat buah probe dimana dua buah probe berfungsi sebagai pembaca tegangan dan dua probe lainnya berfungsi untuk mengalirkan arus. Penggunaan four-point probe sebagai pengukur resistivitas akan lebih optimal dilakukan dengan menggunakan susunan Wenner agar didapatkan pembacaan yang tepat dan akurat serta tidak memerlukan banyak biaya. Resistivitas elektroda yang telah dibuat dapat diukur dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{I}{V} \times \frac{d}{s}$$

Dimana ρ merupakan resistivitas, I adalah arus, V adalah tegangan, d adalah panjang elektroda dan s adalah jarak antara keempat four-point probe. Adapun rumus 2. diperoleh melalui asumsi bahwa ketebalan elektroda sangat tipis dibandingkan jarak antar probe yaitu dalam orde ratusan micron [13]. Sedangkan untuk perhitungan konduktivitas menggunakan rumus :

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

C. Karakterisasi Cyclic Voltammetry

Dalam proses karakterisasi ini, Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan membuat larutan elektrolit dimana pada penelitian ini larutan yang digunakan

adalah Na_2SO_4 1,5 M yang dicampur dengan aquades sebanyak 100 mL. Kemudian 2 elektroda disiapkan untuk dioleskan larutan elektrolit kemudian dua elektroda ini disambung dan dihubungkan dengan alat voltammogram menggunakan kabel *jumper*. Setelah itu, alat siap digunakan dengan mulai mengatur beberapa parameter pengukuran yang diantaranya tegangan, *scan rate*. Pengukuran dilakukan dengan mengatur nilai tegangan dalam rentang -0,5 V hingga 0,5 V, kemudian mengatur *scan rate* dengan besar 100 mV/s. Data yang dihasilkan adalah besarnya arus dan tegangan dalam satu siklus pengisian dan pengosongan muatan.

D. Karakterisasi Galvanostatic Charge Discharge

proses karakterisasi galvanostatic charge-discharge dilakukan dengan menggunakan skema karakterisasi yang dapat ditunjukkan pada Gambar 3. berikut. Galvanostat merupakan perangkat yang digunakan sebagai pengontrol arus dan tegangan yang akan disuplai ke elektroda dengan memberikan sumber arus yang tepat. Proses karakterisasi dimulai dengan menghubungkan rangkaian dari sumber tegangan dan arus ke rangkaian pembaca arus dan tegangan. Pada data yang dikeluarkan di laptop akan terbaca waktu pengisian dan pengosongan sesuai tegangan. Proses karakterisasi GCD dimulai dengan menggabungkan dua elektroda sejenis menggunakan tissue yang telah diberikan larutan elektrolit Na_2SO_4 . Selanjutnya dibuat rangkaian GCD dengan menghubungkan sinyal generator dengan frekuensi 100 kHz dan tegangan 5 V, resistor (1 Ohm) dan elektroda secara seri. Osiloskop kemudian dihubungkan secara paralel ke elektroda untuk mengetahui grafik pengisian dan pengosongan yang dihasilkan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode Elektrokimia Exfoliated Graphene

Percobaan terhadap exfoliated graphite menggunakan metode elektrokimia dengan variasi molar yang digunakan yaitu 0,05 M, 0,1 M, 0,2 M, 0,35 M dan 0,5 M. Proses ini menggunakan grafit yang berasal dari pensil 2b yang sudah dikelupas dari kayu pensilnya. Exfoliated Graphite didapatkan dengan cara membuat larutan garam K_2SO_4 sesuai dengan variasi molar yang digunakan kemudian batang grafit dialiri tegangan sebesar 15 V sebagai katoda dan batang elektroda sebagai anoda selama 3 menit. Pengukuran ini dilakukan sebanyak 3x percobaan hingga mendapat massa yang diharapkan

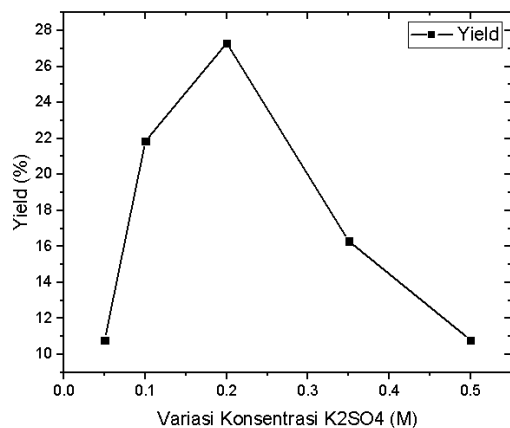
Konsentrasi	Keterangan	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Total Massa (g)
0,05 M	Voltage (V)	15	15	15	0,6
	Arus (A)	0,33	0,35	0,32	
	Massa (g)	0,2	0,2	0,2	
0,1 M	Voltage (V)	15	15	15	1,07
	Arus (A)	0,47	0,51	0,53	
	Massa (g)	0,4	0,4	0,27	
0,2 M	Voltage (V)	15	15	15	1,22
	Arus (A)	0,87	0,84	0,85	
	Massa (g)	0,32	0,5	0,4	
0,35 M	Voltage (V)	15	15	15	0,81
	Arus (A)	1,25	1,29	1,24	
	Massa (g)	0,3	0,21	0,3	
0,5 M	Voltage (V)	15	15	15	0,56
	Arus (A)	1,87	1,85	1,87	
	Massa (g)	0,2	0,2	0,16	

GAMBAR 6
HASIL EG

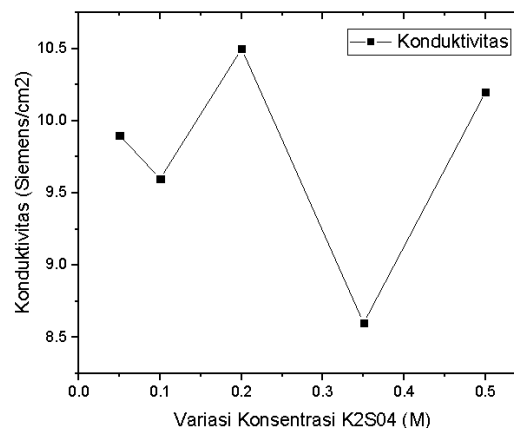
TABEL 1
HASIL NILAI YIELD

Sampel (M)	Yield (%)
EG dengan 0,05 M K_2SO_4	10,8
EG dengan 0,1 M K_2SO_4	21,85
EG dengan 0,2 M K_2SO_4	27,3
EG dengan 0,35 M K_2SO_4	16,3
EG dengan 0,5 M K_2SO_4	10,8

dapat diketahui pengaruh konsentrasi molar (M) terhadap nilai yield (%) yang diperoleh membuktikan bahwa nilai yield terbesar terjadi pada konsentrasi 0,2 M. Hal ini disebabkan bahwa 0,2 M adalah konsentrasi paling optimal untuk mendapatkan hasil eksfoliasi yang baik. Selain itu, kenaikan dan penurunan yield pada variasi lain membuktikan bahwa konsentrasi tersebut kurang optimal untuk mendapatkan exfoliated graphite dan nilai yield dalam proses ekfoliasi pada metode elektrokimia.



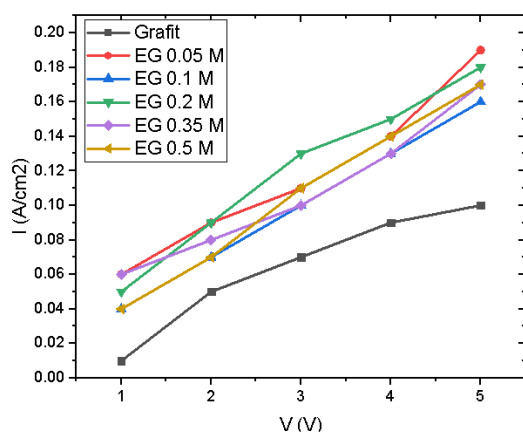
GAMBAR 7
GRAFIK KONSENTRASI TERHADAP NILAI YIELD



GAMBAR 9
GRAFIK VARIASI KONSENTRASI TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS

B. Karakterisasi Four Point Probe

Karakterisasi four point probe dilakukan dengan memvariasikan tegangan dari 1 V – 5 V untuk mendapatkan nilai perbedaan arus menggunakan multimeter. Pada saat pengukuran jarak antara probe dengan probe yang lain adalah 0,2 cm pada luas permukaan 1 x 1 cm



GAMBAR 8
GRAFIK VARIASI TEGANGAN TERHADAP ARUS PADA KARAKTERISASI FOUR POINTS PROBE

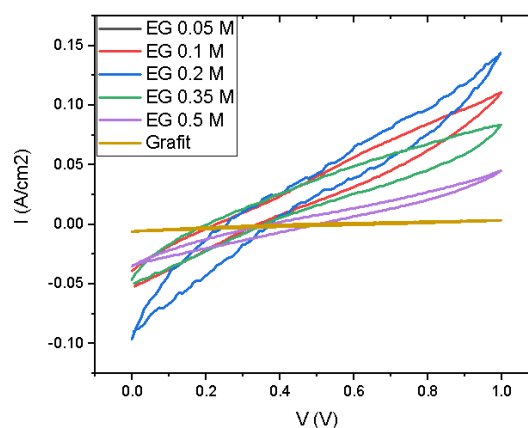
TABEL 2

HASIL NILAI KONDUKTIVITAS

Sampel	Konduktivitas s/m^2
EG dengan 0,05 M K ₂ SO ₄	$9,9 \times 10^{-3}$
EG dengan 0,1 M K ₂ SO ₄	$9,6 \times 10^{-3}$
EG dengan 0,2 M K ₂ SO ₄	$10,5 \times 10^{-3}$
EG dengan 0,35 M K ₂ SO ₄	$8,6 \times 10^{-3}$
EG dengan 0,5 M K ₂ SO ₄	$10,2 \times 10^{-3}$
Grafit	$0,7 \times 10^{-3}$

C. Karakterisasi Cyclic Voltammetry

Karakterisasi *cyclic voltammetry* dilakukan dengan menggunakan konfigurasi dua elektroda sejenis yang diletakkan saling berhadapan dan dibatasi oleh tisu yang sudah diberi larutan elektrolit untuk mendapatkan hasil pengukuran arus listrik dan tegangan yang akurat. Pada karakterisasi ini menggunakan larutan elektrolit Na₂SO₄ sebanyak 1,5 M dan *scan rate* 100 mV/s.



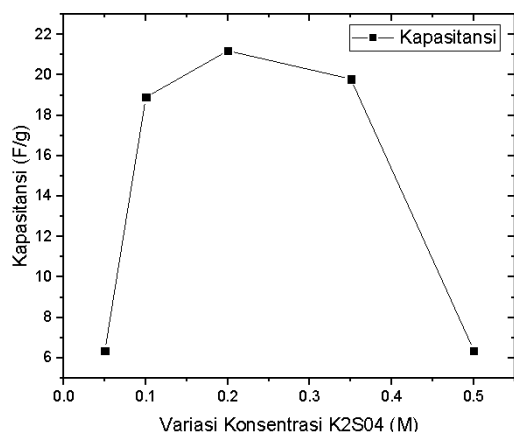
GAMBAR 10
GRAFIK VARIASI KONSENTRASI PADA NILAI ARUS UNTUK KAPASITANSI CYCLIC VOLTAMMETRY

Dari Data yang diperoleh dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas terhadap variasi konsentrasi molar yang tertinggi pada 0,2 M yaitu $10,5 \times 10^{-3} s/m^2$ dan untuk nilai konduktivitas terendah terdapat pada konsentrasi 0,35 M sebesar $8,6 \times 10^{-3} s/m^2$. Hal ini disebabkan Ketika nilai yield tinggi maka nilai konduktivitas akan semakin tinggi. Sedangkan untuk sampel grafit yang tidak melakukan proses eksfoliasi hanya mendapatkan nilai konduktivitas sebesar $0,7 \times 10^{-3} s/m^2$.

TABEL 3
HASIL PENGOLAHAN DATA NILAI KAPASITANSI

Sampel Elektroda	Kapasitansi (F/g)
EG dengan 0,05 M K ₂ SO ₄	6,36
EG dengan 0,1 M K ₂ SO ₄	18,9
EG dengan 0,2 M K ₂ SO ₄	21,2
EG dengan 0,35 M K ₂ SO ₄	19,8
EG dengan 0,5 M K ₂ SO ₄	6,36
Graphite	1,2

Pada Tabel 4.5 Menunjukkan bahwa nilai kapasitansi tertinggi terdapat pada konsentrasi 0,2 M dengan nilai 21,2 F/g. Sedangkan nilai kapasitansi terendah pada konsentrasi 0,05 M yaitu 6,36 F/g. Untuk elektroda grafit yang tanpa melakukan eksfoliasi didapatkan nilai kapasitansi sebesar 1,2 F/g.

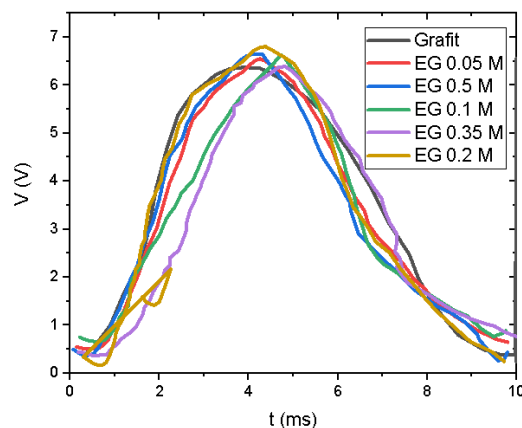


GAMBAR 11
GRAFIK VARIASI KONSENTRASI TERHADAP NILAI KAPASITANSI

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa pada 0,2 M adalah variasi paling optimal dan efektif dalam membuat *exfoliated graphite*. Hal ini dilihat ada kenaikan pada saat menuju 0,2 M dan penurunan setelah 0,2 M hal itu terjadi karena sudah mencapai konsentrasi paling optimal diantara variasi yang lain.

D. Karakterisasi Galvanostati Charge Discharge

Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui bahwa elektroda dapat melakukan pengisian dan pengosongan yang dilakukan dengan cara penggabungan dua elektroda ke rangkaian galvanostatic. Hasil pengukuran dapat dilihat melalui device interface dengan grafik yang muncul pada lcd device.



GAMBAR 12
HASIL KARAKTERISASI GCD

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa sampel elektroda telah memiliki kemampuan melakukan pengisian dan pengosongan secara cepat. Proses pengisian ditunjukkan dengan adanya kenaikan pada grafik, sedangkan proses pengosongan ditunjukkan dengan adanya penurunan pada grafik. Proses pengisian dan pengosongan dilakukan dengan waktu 2 μ s.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Konsentrasi optimal dalam pembuatan *exfoliated graphite* yaitu pada konsentrasi K₂SO₄ 0.2 M dengan nilai yield terbesar yaitu 15.12%.
2. Pada penelitian ini didapatkan bahwa nilai konduktivitas terbesar terdapat pada konsentrasi 0.2 M sebesar $10.5 \times 10^{-3} \text{ s/m}^2$.
3. Pada penelitian ini didapatkan bahwa nilai kapasitansi spesifik nilai tertinggi didapatkan pada konsentrasi 0.2 M sebesar 21.2 F/g dikarenakan konsentrasi 0.2 M adalah konsentrasi optimal dalam mendapatkan *exfoliated graphite*.

REFERENSI

- [1] S. Iro, "A Brief Review on Electrode Materials For Supercapacitor," Int. J. Electrochem, vol. XI, p. 7, 2016.
- [2] Yusriwandi, "PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA KARBON AKTIF DENGAN KARBONISASI DAN AKTIVASI BERTINGKAT MENGGUNAKAN GAS CO₂ DAN UAP AIR," Jurnal Ilmiah Edu Research, vol. VI, p. 21, 2017..

- [3] [3] P. Khaled, Z.-S. Wu, R. Li and Liu, "Exfoliation of Graphite into Graphene in Aqueous Solutions of," Journal Of The American Chemical Society, 2014.
- [4] [4] N. Tetra, "REVIEW: SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF DAN LARUTAN IONIK SEBAGAI ELEKTROLIT," Jurnal Zarah, vol. VI, no. 1, pp. 39-46, 2018.
- [5] [5] M. Rosi., " Superkapasitor Berbaris Karbon Nanopori dari Tempurung Kelapa sebagai Penyimpan Energi,," 2014.
- [6] [6] L. Yang, C. Xifan and Z. Yuanzhi, "Direct exfoliation of the anode graphite of used Li-ion batteries into few-layer graphene sheets: a green and high yield route to high-quality graphene preparation," Journal Of Materials Chemistry A.
- [7] [7] A. A. a. M. Pumera, "Direct exfoliation of the anode graphite of used Li-ion batteries into few-layer graphene sheets: a green and high yield route to high-quality graphene preparation," *Chemistri Of European Journal*, 22015.
- [8] [8] R. I. WISNUWIJAYA, PREPARASI DAN SINTESIS GRAPHENE OXIDE DENGAN METODE LIQUID SONICATION EXFOLIATION DAN RANDOM COLLISION, Yogyakarta, 2017 .
- [9] [9] B. Marinho, "Electrical conductivity of compacts of graphene, multi-wall carbon nanotubes, carbon black, and graphite powder," Powder Technology, vol. CCXXI, pp. 351-358, 2012.
- [10] [10] L. Bonnefoi, "Electrode compositions for carbon power supercapacitors , pp. 149-155, 1998.,," Powder Sources, pp. 149-155, 1998.
- [11] [11] Ossila, "Cyclic Voltammetry: Principles, Setup, and Applications"..
- [12] [12] D. R. W. Shuangyin, "Electronic Supplementary Information," 2013.
- [13] [13] Ossila, " A Guide to Theory," Sheet Resistance:, 2022.
- [14] [14] muRata, echnical Guide of Electrical Double Layer Capacitor, Mouser Electronics, 2014.
- [15] [15] .. González-Arjona, An Improved Galvanostat for the Characterization of Commercial Electrochemical Cells, Journal of Laboratory Chemical Education, 2013.
- [16] [16] P. Irving, MYSTAT: A compact potentiostat/galvanostat for general electrochemistry measurements, hardwareX, 2021.
- [17] [17] D. R. W. Shuangyin, Electronic Supplementary Information, The Royal of Chemistry, 2013.