Sintesis Grafit Tereksfoliasi Dengan Na_2O_4 Menggunakan Metode Elektrokimia

1st Ricky Anthony Santoso
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rickyanthonysantoso@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, dilakukan sintesis grafit tereksfoliasi dari batangan isi pensil 2B (grafit). Proses sintesis dilakukan menggunakan larutan garam anorganik Na2SO4 dengan metode elektrokimia. Sintesis grafit tereksfoliasi divariasi berdasarkan konsentrasi Na_2SO_4. Variasi konsentrasi Na_2SO_4 yang digunakan adalah 0,05 M; 0,1 M; 0,2 M; 0,3 M; dan 0,4 M. Proses elektrokimia dilakukan dengan tegangan 20 V. Grafit tereksfoliasi yang telah disintesis dikarakterisasi dengan tiga jenis pengukuran, yaitu *four – point probe*, *galvanostatic charge – discharge*, dan *cyclic voltammetry* untuk menentukan konduktivitas dan nilai kapasitansi spesifik dari grafit tereksfoliasi. Dari hasil karakterisasi tersebut ditunjukan adanya peningkatan konduktivitas dan kapasitansi spesifik sebesar 25,6 µS/m dan 31,8 mF/g saat menggunakan konsentrasi 0,3 M dari sebelumnya yang hanya 4,56 µS/m dan 4,48 mF/g saat menggunakan serbuk batangan isi pensil 2B (grafit).

Kata kunci— Grafit Tereksfoliasi, Na_2SO_4, Elektrokimia

I. PENDAHULUAN

Grafit tereksfoliasi berasal dari grafit (*bulk*) yang diproses sehingga terjadi peningkatan pada sifat bahan. Keunggulan Sifat bahan grafit tereksfoliasi terletak pada luas permukaan spesifiknya yaitu 2418 m^2/g dengan konduktivitas bahan berkisar pada 10^2 S/m hingga 10^4 S/m [1] [2]. Peningkatan sifat bahan yang paling sederhana dihasilkan dengan mengubah ukuran (struktur) bahan menjadi lebih kecil dan banyak, dengan demikian setiap bagian dari partikel bahan dapat difungsikan. Untuk dapat mencapai ukuran yang kecil tersebut, salah satunya caranya adalah dengan metode *top – down*. *Top – down* adalah suatu metode untuk menghasilkan ukuran bahan kecil dengan cara merusak bahan (*bulk*). Dalam penelitian ini metode *top – down* yang digunakan berupa eksfoliasi grafit menggunakan metode elektrokimia.

Metode elektrokimia merupakan cara paling mudah, murah, cepat, dan ramah lingkungan dalam proses menghasilkan grafit tereksfoliasi [3]. Dalam prosesnya nanti, dibutuhkan larutan garam anorganik, salah satunya adalah Na_2SO_4. Penggunaan larutan garam anorganik Na_2SO_4 ini nantinya akan memberikan hasil eksfoliasi yang baik.

Untuk mengukur peningkatan sifat bahan, dalam penelitian kali ini, grafit tereksfoliasi dibuat menjadi elektroda dan diaplikasikan sebagai kapasitor. Dalam jurnal ini 3 metode karakterisasi dilakukan, yaitu *four - point probe*, *galvanostatic charge - discharge*, dan *cyclic voltammetry* dilakukan, masing - masing untuk mengukur konduktivitas bahan, kecepatan pengisian dan pengosongan, dan kapasitansi dari elektroda dan kapasitor yang dihasilkan dari grafit tereksfoliasi

II. KAJIAN TEORI

A. Grafit Tereksfoliasi

Grafit tereksfoliasi merupakan bahan grafit yang telah diproses dan dikembang. Proses yang dilakukan berupa pengelupasan terhadap lapisan grafit yang saling bertumpuk. Dari hasil pengelupasan tersebut terjadi peningkatan pada sifat bahan. Sifat bahan yang dimiliki grafit tereksfoliasi berupa luas area spesifik teori dan konduktivitas elektrik yang tinggi (2418 m^2/g dan 10^2 S/m hingga 10^4 S/m) [1] [2].

B. Perekat

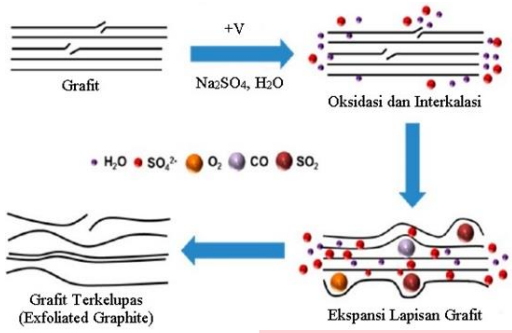
Perekat adalah bahan yang digunakan untuk mengikat campuran grafit tereksfoliasi dengan pelarut seperti *N – Methyl – 2 – Pyrrolidone* (*NMP*) dan mencegah terlepasnya bahan utama saat elektroda sedang bekerja atau digunakan. Terdapat beberapa jenis perekat yang umum digunakan dalam pembuatan larutan elektroda seperti *Polytetrafluoroethylene* (*PTFE*) dan *Polyvinylidene fluoride* (*PVDF*). Dalam sebuah studi, kapasitor dengan perekat *PTFE* memiliki indikasi peningkatan kapasitansi yang lebih baik daripada *PVDF*. Dalam studi tersebut nilai dari masing – masing kapasitansi *PTFE – based dan PVDF – based* adalah 116 F/g dan 104 F/g. Dengan keunggulan tersebut *PTFE* dipilih sebagai perekat [4].

C. Elektrolit

Elektrolit adalah sebuah larutan yang terdapat ion didalamnya. Elektrolit memiliki fungsi sebagai dielektrik saat proses pengisian pada kapasitor. Terdapat kriteria elektrolit yang memberikan hasil efisien, seperti konduktivitas ionik yang tinggi, rentang suhu operasional yang luas, viskositas yang rendah, volatilitas yang rendah, ramah lingkungan, biaya yang murah, ketersediaan dengan kemurniaan yang tinggi [5]. Dalam penelitian ini, Na_2SO_4 1 M digunakan karena memiliki nilai konduktivitas yang tinggi sekitar 199,9 mS. Masing – masing nilai konduktivitas ion, yaitu Na^+ = 50,11 $S.cm^2/mol$ dan SO_4^{2-} = 160 $S.cm^2/mol$ [6].

D. Elektrokimia

Dalam proses eksfoliasi menggunakan elektrokimia, Na_2SO_4 dipakai karena potensial reduksi ion negatif SO_4^{2-} yang relatif rendah, yaitu 0,2 V. Potensial reduksi yang relatif kecil tersebut akan mempermudah produksi gas SO_2 yang berguna untuk mengembangkan lapisan pada grafit [3].



GAMBAR 1.
SKEMA ALUR EKSFOLIASI ELEKTROKIMIA PADA GRAFIT [3].

Ketika proses elektrokimia dijalankan (pemberian tegangan) terbentuk OH^- dari hasil proses reduksi pada komponen air. OH^- yang terbentuk ini akan membuka ujung lapisan grafit.

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

Dengan terbukanya ujung lapisan grafit maka ion Na^+ dapat berinterkalasi kedalam lapisan grafit. Setelah proses interkalasi tersebut oksidasi pada karbon (C) dan reduksi SO_4^{2-} membentuk beberapa gas, yaitu SO_2 dan CO_2 [3].

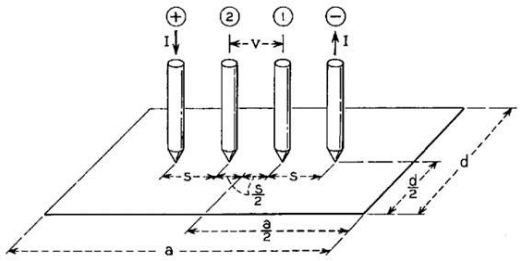
$$SO_4{}^{2-} + 4H^+ + 4e^- \rightarrow SO_2 + 2H_2O$$

$$C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H^+ + 4e^-$$

Pembentukan gas tersebut akan menyebabkan lapisan grafit mengembang dan terlepas, sehingga menghasilkan grafit tereksfoliasi yang diharapkan.

E. *Four - Point Probe* (*FPP*)

Karakterisasi ini digunakan untuk mengukur konduktivitas atau hambatan jenis dari suatu bahan yang berbentuk lembaran (*sheet resistance*). Penggunaan metode ini juga berfungsi untuk menghilangkan *contact resistance*. Prosedur pengukuran *FPP* seperti pada gambar 2 [7].



GAMBAR 2.
PROSEDUR PENGUKURAN *FPP* [7].

Terdiri dari 4 *probe*, dua probe luar yang dihubungkan dengan sumber dan amperemeter secara seri dan dua probe dalam yang merupakan probe voltmeter. Untuk mengetahui nilai hambatan jenis dari lembaran (elektroda) yang terukur, dapat menggunakan persamaan 1 [7].

$$\rho = \frac{V}{I}\ x\ C \qquad (1)$$

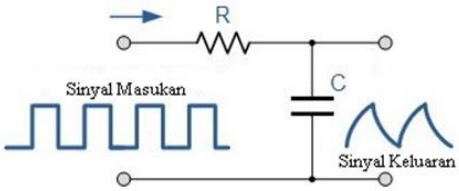
Dengan ρ adalah nilai hambatan jenis, V adalah tegangan yang diberikan, I adalah arus yang terbaca pada amperemeter, d adalah lebar bahan yang diukur, s jarak antar probe, dan C adalah faktor koreksi yang nilainya diperoleh dari informasi perhitungan nilai (dimensi) d/s dan a/d. Setelah nilai d/s dan a/d telah diperoleh maka nilai faktor koreksi C dapat ditentukan dengan merujuk pada tabel 1.

TABEL 1.
FAKTOR KOREKSI PENGUKURAN *FPP* [7].

d/s	a/d = 1	a/d = 2	a/d = 3	a/d ≥ 4
1			0,9988	0,9994
1,25			1,2467	1,2248
1,5		1,4788	1,4893	1,4893
1,75		1,7196	1,7238	1,7238
2		1,9454	1,9475	1,9475
2,5		2,3532	2,3541	2,3541
3	2,4575	2,7000	2,7005	2,7005
4	3,1137	3,2246	3,2248	3,2248
5	3,5098	3,5749	3,5750	3,5750

F. *Galvanostatic Charge - Discharge* (*GCD*)

Pengukuran *galvanostatic charge - discharge* dilakukan untuk mengetahui kecepatan dari proses pengisian dan pengosongan dari suatu kapasitor yang telah dibuat. Proses pengisian dan pengosongan dilakukan juga dengan arus konstan. Salah satu cara untuk mengukur *galvanostatic charge - discharge* adalah dengan menggunakan rangkaian RC (resistor - kapasitor) seperti pada gambar 3.

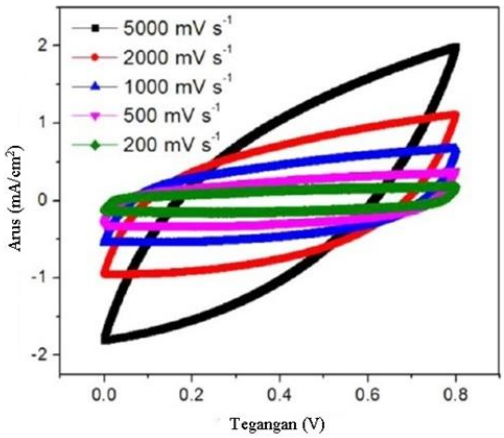


GAMBAR 3.
RANGKAIAN RC.

Pada penggunaan rangkaian RC ini dibutuhkan sumber AC dengan sinyal kotak untuk dapat melihat bentuk sinyal (kurva) tipikal dari kapasitor secara kontinu seperti pada gambar 3 [8] [9].

G. *Cyclic Voltammetry* (*CV*)

Cyclic voltammetry (*CV*) adalah metode karakterisasi untuk menentukan nilai kapasitansi dari kapasitor. Metode ini dilakukan dengan memberi variasi tegangan setiap satuan waktu (*scan rate*) dengan hasil keluaran berupa nilai arus. Dari hasil pengukuran, akan diperoleh kurva siklus seperti pada gambar 4.



GAMBAR 4.
KURVA KARAKTERISASI KAPASITOR CYCLIC VOLTAMMETRY.

Nilai kapasitansi dapat diketahui dari kurva I – V diatas dengan cara menghitung luas hasil kurva menggunakan persamaan 2 [10].

$$C(F/g) = \frac{2\int IdV}{\Delta V.v_s.m} \quad (2)$$

Keterangan, C sebagai nilai kapasitansi spesifik kapasitor, ∫ I dV adalah luas kurva saat proses pengisian dan pengosongan, ΔV adalah nilai tegangan, vs adalah scan rate, dan m adalah nilai massa bahan kedua elektroda.

III. METODE

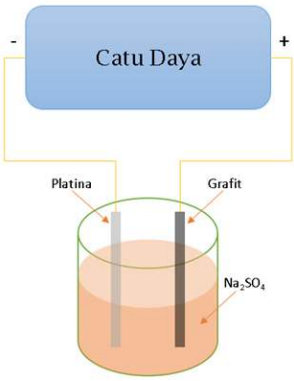
A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam mensintesis grafit tereksfoliasi dan pembuatan elektroda (kapasitor) pada penelitian ini, terdiri dari kertas saring, timbangan digital (ketelitian 0,001 g), *hot plate stirrer*, gelas beaker, pipet, catu daya, pompa vakum. Untuk bahan diperlukan bubuk Na_2SO_4, air suling, *NMP*, *PTFE*, dan kertas dengan dimensi 1 cm^2.

B. Sintesis Grafit Tereksfoliasi

Dalam pembuatan grafit tereksfoliasi, pertama kita harus tentukan konsentrasi dari larutan garam anorganik Na_2SO_4. Dalam penelitian kali ini konsentrasi larutan garam anorganik yang akan digunakan adalah sebesar 0,05 M; 0,1 M; 0,2 M; 0,3 M; 0,4 M. Setelah menentukan konsentrasi, masukan bubuk Na_2SO_4 kedalam akuades sesuai dengan konsentrasi yang ditetapkan. Campuran akuades dan Na_2SO_4 kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer hingga bubuk Na_2SO_4 larut.

Proses elektrokimia dilakukan dengan menyapit catu daya (positif) ke batangan grafit dan catu daya (negatif) ke platina. Batangan grafit dan platina yang terhubung ke catu daya, keduanya dimasukan kedalam larutan larutan garam anorganik lalu nyalakan catu daya dengan tegangan 20 Volt. Terlihat nantinya akan ada gelembung atau lapisan grafit tereksfoliasi yang mengapung dan ampas grafit yang jatuh kedasar atau melayang didalam larutan garam anorganik. Waktu proses eksfoliasi dibuat konstan selama 5 menit.



GAMBAR 5.
PROSEDUR ELEKTROKIMIA.

Grafit tereksfoliasi yang mengapung tadi diambil lalu disaring sambil disedot menggunakan pompa vakum agar efisien waktu. Grafit tereksfoliasi yang sudah tersaring dibiarkan mengering selama satu hari agar meminimalisir atau menghilangkan komponen air dari grafit tereksfoliasi yang sudah disaring tadi. Setelah dirasa sudah kering maka bubuk grafit tereksfoliasi sudah dapat disimpan. Grafit tereksfoliasi yang didapatkan, diulang 6 atau 7 kali (akumulasi) agar bubuk cukup untuk dijadikan elektroda nantinya.

C. Proses Pembuatan Elektroda

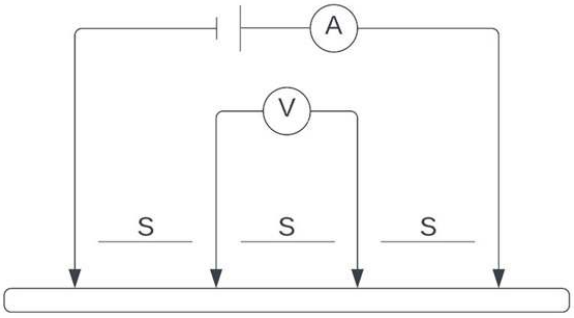
Pada proses pembuatan elektroda, tahap pertama adalah membuat larutan elektroda (*slurry making*). Untuk membuat larutan elektroda, capurkan grafit tereksfoliasi, *PTFE*, dan pelarut *NMP* dengan rasio 1:1:1. Campuran larutan elektroda diaduk (tidak terlalu kencang ± 350 rpm) menggunakan *magnetic stirrer* sambil dihangatkan pada suhu 60 ^{0}C hingga mengental seperti tinta pulpen. Larutan elektroda yang sudah mengental kemudian dilapisi ke kertas dengan dimensi 1 cm^2 menggunakan kuas hingga pekat lalu keringkan pada suhu 90 ^{0}C selama 30 detik lalu turunkan suhu ke 70 ^{0}C. Setelah dirasa sudah kering elektroda yang dibuat disimpan.

D. Menghitung *Yield* Grafit Tereksfoliasi

Proses sintesis grafit tereksfoliasi diulang sebanyak tiga kali. Data *yield* berasal dari grafit tereksfoliasi yang dihasilkan dengan tegangan 20 V dan waktu eksfoliasi 5 menit lalu ditimbang dan dicatat. Data yang telah didapatkan nanti dihitung untuk menentukan persentase total massa grafit tereksfoliasi yang terbentuk dari total massa batangan grafit yang tercelup.

E. Karakterisasi *Four - Point Probe*

Elektroda diukur menggunakan metode *FPP* untuk menentukan konduktivitas bahan. Untuk melaksanakan karakterisasi ini, dibutuhkan catu daya dan dua buah multimeter (amperemeter dan voltmeter). Selanjutnya pasang dan posisikan seperti pada gambar 6.

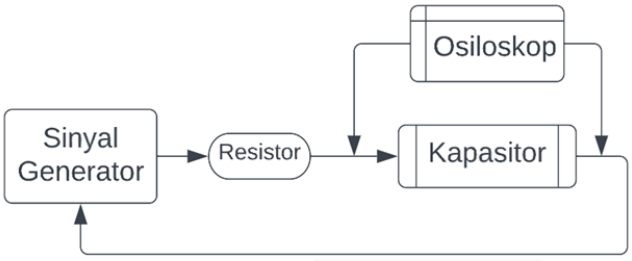


GAMBAR 6.
SKEMA PENGUKURAN *FPP*.

Dalam proses karakterisasi, sumber tegangan divariasikan dengan tegangan 1 V, 1,5 V, 2 V, 2,5 V, dan 3 V sambil dilihat nilai yang keluar pada amperemeter lalu dicatat. Proses karakterisasi dilakukan lagi pada posisi yang berbeda untuk melihat konsistensi data. Setelah data sudah didapatkan semua, selanjutnya data diolah sesuai dengan sub – bab *FPP*.

F. Karakterisasi *Galvanostatic Charge - Discharge*

Untuk proses karakterisasi *charge – discharge* akan dilakukan sesuai dengan diagram alur pada gambar 7.

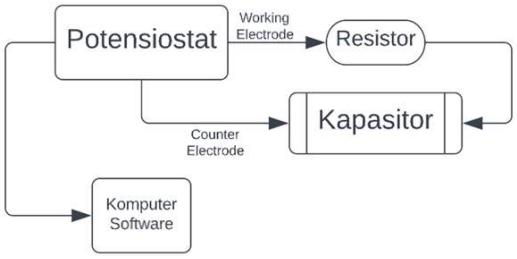


GAMBAR 7.
SKEMA KARAKTERISASI *GALVANOSTATIC CHARGE - DISCHARGE.*

Pada metode karakterisasi ini, kapasitor akan diisi dan dikosongkan secara berulang dengan menggunakan nilai arus awal yang konstan. Dari uji coba tersebut, hal yang akan diamati adalah waktu pengisian dan waktu pengosongan kapasitor berupa plot V – t. Pada sinyal generator, diatur nilai frekuensi dan tegangan (VPP) yang dikeluarkan sebesar 100 kHz dan 5 V serta bentuk sinyal berupa sinyal kotak.

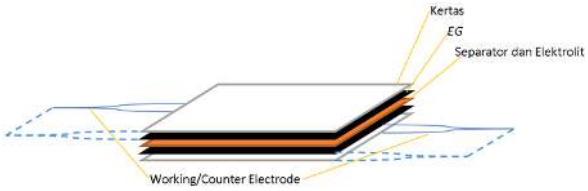
G. Karakterisasi *Cyclic Voltammetry*

kapasitor akan dikarakterisasikan dengan menggunakan metode *CV* menggunakan potensiostat. Dapat dilihat pada gambar 8.



GAMBAR 8.
SKEMA KARAKTERISASI *CYCLIC VOLTAMMETRY.*

Elektroda potensiostat (T2006B1-UK) yang digunakan ada dua, yaitu *working electrode* dan *counter electrode* yang langsung dihubungkan dengan kapasitor seperti pada gambar 9. Potensiostat digunakan dan menampilkan data berupa siklus I – V dan *scan rate*. Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai kapasitansi dapat dihitung dengan persamaan 2 menggunakan fungsi *polygon area* pada *software* OriginLab.



GAMBAR 9.
PROSEDUR PENGUKURAN PADA KAPASITOR.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

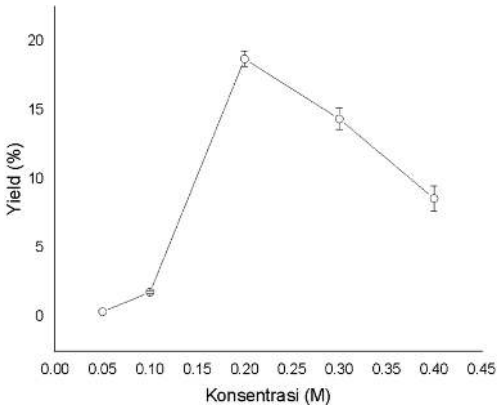
A. Persentase *Yield* Grafit Tereksfoliasi

Menentukan persentase *yield* difungsikan untuk melihat hubungan nilai konsentrasi elektrolit garam anorganik terhadap hasil eksfoliasi grafit yang diperoleh. Persentase *yield* ini juga digunakan untuk dibandingkan terhadap nilai kapasitansi spesifik. Penimbangan dilakukan pada grafit tereksfoliasi yang dihasilkan sebanyak tiga kali untuk mengonfirmasi konsistensi data. Grafit yang digunakan berasal dari batangan isi pensil 2B dengan massa tercelup adalah 0,26 g dan larutan garam anorganik yang digunakan untuk proses eksfoliasi adalah Na_2SO_4. Sesuai dengan batasan masalah, tegangan yang diberikan saat eksfoliasi adalah 20 V dan lama waktu eksfoliasi adalah 5 menit. Berikut data *yield* dari grafit tereksfoliasi yang dihasilkan oleh penulis.

TABEL 2.
DATA *YIELD* GRAFIT TEREKSFOLIASI.

Konsentrasi (M)	Yield (%)
0,05	0,38 ± 0
0,1	1,79 ± 0,13
0,2	18,72 ± 0,56
0,3	14,36 ± 0,78
0,4	8,59 ± 0,92

Dari tabel 2 terlihat konsistensi massa yang diberikan. Terlihat juga adanya tren kenaikan *yield* grafit tereksfoliasi yang dihasilkan dari konsentrasi 0,05 M sampai 0,2 M dan penurunan *yield* grafit tereksfoliasi ketika menggunakan kosentrasi diatas 0,2 M. Adapun grafik hubungan yield terhadap konsentrasi dapat dilihat pada gambar 10.



GAMBAR 10.
GRAFIK YIELD TERHADAP KONSENTRASI.

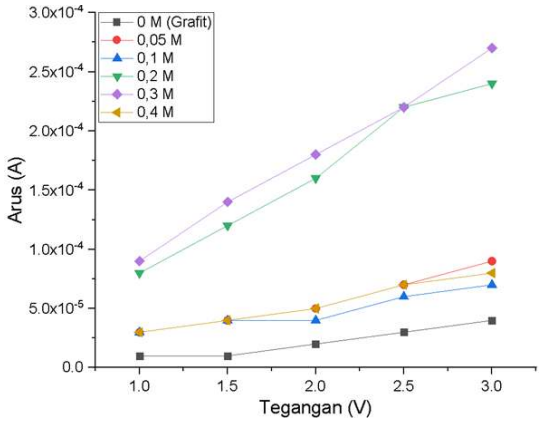
Dari grafik pada gambar 10 terlihat adanya peningkatan *yield* yang signifikan dari penggunaan konsentrasi 0,1 M menjadi 0,2 M. Dari keseluruhan data, *yield* optimal diperoleh dari penggunaan konsentrasi Na_2SO_4 0,2 M. Ketika konsentrasi yang digunakan 0,3 M dan 0,4 M, dapat teramati adanya penurunan yang hampir linear. Dari percobaan tersebut terdapat 2 kemungkinan penyebab berkurangnya *yield* eksfoliasi pada penggunaan 0,3 M dan 0,4 M.

Kemungkinan pertama, dikarenakan minim terbentuknya OH^- akibat konsentrasi larutan anorganik yang tinggi sehingga menyebabkan konten air yang dapat tereduksi menjadi sedikit. Akibatnya adalah ujung lapisan yang terbuka, interkalasi ion, dan oksidasi menjadi tidak efektif.

Asumsi kedua adalah pada saat penggunaan konsentrasi 0,3 M dan 0,4 M, interkalasi dan oksidasi yang terjadi pada lapisan grafit terlalu cepat dan terlalu kedalam lapisan grafit. Ini menyebabkan beberapa lapisan grafit yang terkelupas masih tebal. Saat penggunaan konsentrasi 0,3 M tingkat kecepatan terlepasnya lapisan grafit dari batang grafit masih menyempatkan ion – ion untuk melakukan eksfoliasi secara merata sehingga terbentuk grafit tereksfoliasi yang tipis. Sedangkan pada kondisi konsentrasi 0,4 seperti yang telah diasumsikan, ion – ion tidak sempat mengeksfoliasi secara merata dan menghasilkan lapisan grafit yang masih tebal dan terdispersi kedalam air (larutan).

B. Hasil *Four - Point Probe*

Karakterisasi *FPP* dilakukan untuk menentukan nilai konduktivitas dari bahan. Pada saat pengukuran, dimensi bahan adalah 1 cm2 dan jarak antara *probe* adalah 0,2 cm. Tegangan yang digunakan dalam pengukuran sesuai dengan batasan masalah, yaitu 1 V; 1,5 V; 2 V; 2,5 V; dan 3 V. Pada gambar 11 adalah grafik nilai arus yang terukur saat pengukuran.

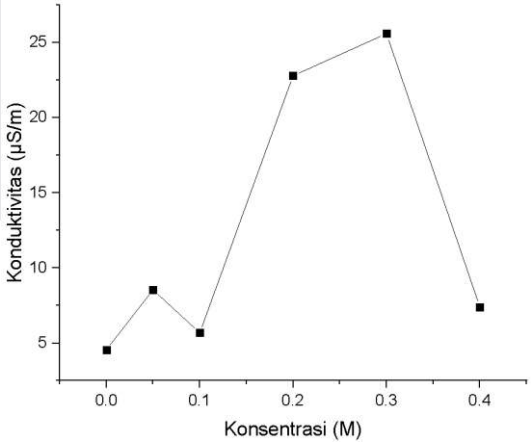


GAMBAR 11.
GRAFIK I – V TIAP SAMPEL.

Data yang telah diperoleh tersebut dibentuk grafik I – V pada origin, gambar 11, untuk menentukan nilai *slope* dan nilai hambatan secara akurat. Nilai hambatan yang diperoleh, dihitung menggunakan rumus 2.1 untuk menentukan nilai konduktivitas bahan grafit tereksfoliasi. Nilai faktor koreksi yang diperoleh dari hasil perhitungan a/d dan d/s sesuai dengan dasar teori *FPP* adalah 3.5098. Dari data dan informasi tersebut, diperoleh data konduktivitas bahan seperti pada tabel 3.

TABEL 3.
KONDUKTIVITAS BAHAN.

Konsentrasi (M)	Konduktivitas (µS/m)
0 (Grafit)	4,56
0,05	8,55
0,1	5,69
0,2	22,8
0,3	25,6
0,4	7,40



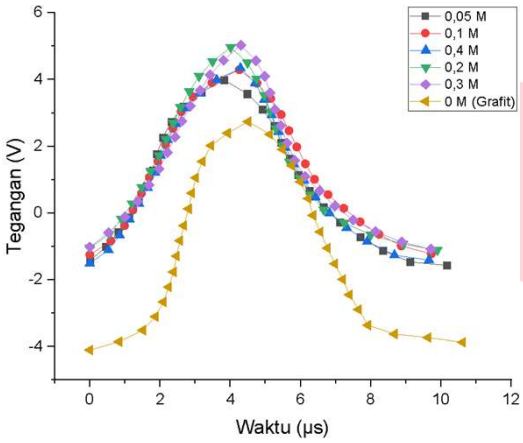
GAMBAR 12.
GRAFIK KONDUKTIVITAS TERHADAP KONSENTRASI.

Pada tabel 3 dan gambar 12, variasi grafit tereksfoliasi 0,2 M dan 0,3 M memiliki nilai konduktivitas paling tinggi. Konduktivitas tertinggi dicapai oleh variasi grafit tereksfoliasi 0,3 M yang mengalami *drop yield*. Walaupun

grafit tereksfoliasi mengalami penurunan *yield* tren konduktivitas tidak mengikuti tren *yield*. Dengan demikian dapat disimpulkan nilai konduktivitas lebih dipengaruhi oleh hasil akhir sifat bahan grafit tereksfoliasi itu sendiri. Dari perbandingan kapasitor grafit dan grafit tereksfoliasi, tampak adanya peningkatan sifat konduktivitas bahan grafit yang diproses menjadi grafit tereksfoliasi.

C. Hasil *Galvanostatic Charge - Discharge*

Karakterisasi *GCD* dilakukan untuk menentukan waktu penyimpanan dan pengosongan pada kapasitor yang dihasilkan. Gambar 13 merupakan kurva grafik *GCD* yang telah diperoleh.



GAMBAR 13.
KURVA PENGUKURAN GCD.

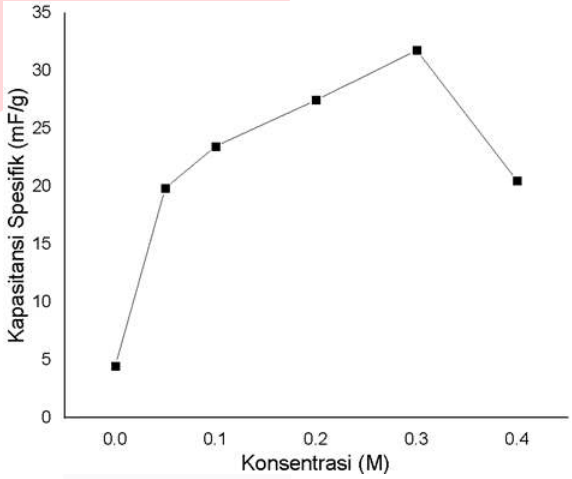
Dari gambar 13, dapat terlihat bahwa semua variasi kapasitor grafit tereksfoliasi yang dihasilkan memiliki bentuk yang saling menyerupai. Kapasitor yang terbuat dari grafit memperlihatkan kecepatan pengisian yang lambat pada 0 µs hingga 2 µs bila dibandingkan dengan kurva dari variasi kapasitor grafit tereksfoliasi. Saat pengosongan, hasil perbandingan kapasitor grafit dan grafit tereksfoliasi memperlihatkan kurva pengosongan kapasitor grafit tereksfoliasi lebih mulus daripada kurva pengosongan kapasitor grafit yang melandai di 8 µs. Dari gambar 13 juga kapasitor grafit sepenuhnya kosong ada pada waktu ±10,8 µs sedangkan secara keseluruhan variasi kapasitor grafit tereksfoliasi sepenuhnya kosong di 10 µs. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kapasitor grafit tereksfoliasi memiliki kecepatan pengisian dan pengosongan yang yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor grafit.

D. Hasil *Cyclic Voltammetry*

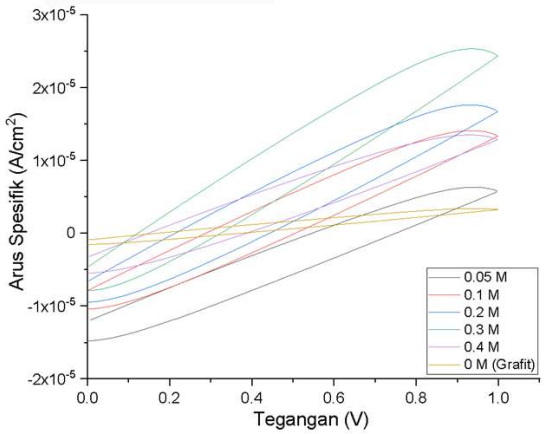
Karakterisasi *CV* berfungsi untuk mengetahui nilai kapasitansi. Pada penelitian ini karakterisasi *CV* dilakukan pada *scan rate* 100 mV/s dan tegangan 1 V menggunakan resistor 22 kΩ dan elektrolit Na_2SO_4 1 M dengan massa bahan grafit tereksfoliasi pada 1 elektroda adalah 2 mg. Hasil karakterisasi *CV* dapat dilihat pada tabel 4, gambar 14, dan gambar 15.

TABEL 4.
NILAI KAPASITANSI SPESIFIK.

Konsentrasi (M)	Kapasitansi (mF/g)
0 (Grafit)	4,48
0,05	19,9
0,1	23,5
0,2	27,5
0,3	31,8
0,4	20,5



GAMBAR 14.
GRAFIK KAPASITANSI SPESIFIK TERHADAP KONSENTRASI.



GAMBAR 15.
PERBANDINGAN HASIL KARAKTERISASI *CV*.

Dari tabel 4 dan gambar 15 terlihat dari enam variasi kapasitor yang dibuat, variasi kapasitor 0,2 M dan 0,3 M memiliki nilai kapasitansi spesifik yang tinggi diantara variasi kapasitor lainnya. Secara keseluruhan Nilai kapasitansi grafit tereksfoliasi sejalan dengan karakterisasi *FPP*. Kelima grafit tereksfoliasi masing – masing memiliki luas area yang lebih tinggi 3,98 x 10^{-6} VA/cm^2 hingga 6,36 x 10^{-6} VA/cm^2 bila dibandingkan kapasitor grafit yang hanya 8,96 x 10^{-7} VA/cm^2. Dari gambar 15 seperti kesimpulan

karakterisasi sebelumnya, adanya peningkatan sifat bahan dari grafit yang telah diproses menjadi grafit tereksfoliasi.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Setelah seluruh proses pembuatan dan karakterisasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Semua variasi konsentrasi dari Na_2SO_4, yaitu 0,05 M, 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, dan 0,4 M dapat digunakan untuk menghasilkan grafit tereksfoliasi. *Yield* yang diperoleh memperlihatkan tren kenaikan dari penggunaan konsentrasi 0,05 M sampai 0,2 M lalu mengalami tren penurunan saat menggunakan konsentrasi 0,3 hingga 0,4 M.
2. Dari hasil percobaan, variasi konsentrasi grafit tereksfoliasi menunjukan adanya peningkatan konduktivitas dari bahan grafit, dengan variasi konsentrasi grafit tereksfoliasi 0,3 M dan diikuti oleh 0,2 M yang menunjukan konduktivitas paling signifikan tinggi diantara ketiga variasi grafit tereksfoliasi lainnya.
3. Dari hasil karakterisasi kapasitansi, ditunjukan bahwa variasi kapasitor grafit tereksfoliasi memiliki nilai kapasitansi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor yang terbuat dari grafit. Variasi kapasitor grafit tereksfoliasi 0,3 M adalah yang paling tinggi dan sama seperti poin 2, variasi kapasitor grafit tereksfoliasi 0,2 M memiliki nilai kapasitor paling tinggi kedua.

B. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat memberikan saran dalam pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Perlu dilakukannya karakterisasi untuk menentukan luas area spesifik dan kemampuan adsorpsi pada grafit tereksfoliasi yang telah dibuat.
2. Menggunakan medium yang tidak mudah rusak untuk pelapisan bahan elektroda.
3. Saat pembuatan larutan elektroda (*slurry making*) variasikan jumlah kurangi komposisi *PTFE*.
4. Gunakan alat yang dapat mengimpor data digital sebagai tambahan untuk hasil analisa (*GCD*).
5. Menggunakan resistor yang lebih kecil dan daya listrik yang lebih stabil ketika proses pengambilan data *CV* jika menggunakan pengukuran menggunakan 2 elektroda.

REFERENSI

[1] S. Zhang and et al, "Measuring the specific surface area of monolayer graphene oxide in water," in *Materials Letters*, 2020.

[2] A. A. Pirzado and et al, "The Electrical Property of Large Few Layer Graphene Flakes Obtained by Microwaves Assisted Exfoliation of Expanded Graphite," *Current Microwave Chemistry,* vol. 3, no. 2, pp. 139-144, 2016.

[3] K. Parvez and et al, "Exfoliation of Graphite into Graphene in Aqueous Solutions of Inorganic Salts," *Journal Of The American Chemical Society,* 2014.

[4] Q. Abbas and et al, "Effect of binder on the performance of carbon/carbon symmetric capacitors in salt aqueous electrolyte," in *Electrochimica Acta*, 2014, pp. 132-138.

[5] C. Zhong and et al, Electrolytes for Electrochemical Supercapacitors, CRC Press, 2019.

[6] R. Ramachandran and et al, "Electrochemical Capacitor Performance: Influence of Aqueous Electrolytes," in *Supercapacitors - Theoretical and Practical Solutions*, 2018.

[7] F. M. Smits, "Measurement of sheet resistivities with the four-point probe," *The Bell System Technical Journal,* vol. 37, 1958.

[8] D. Halliday and R. Resnick, Physics, Part Two, New York: John Wiley and Sons, Inc, 1978.

[9] H. V. Malmstadt, C. G. Enke and S. R. Crouch, Electronics and Instrumentation for Scientists, California: The Benjamin Cummings Publishing Company, Inc, 1981.

[10] D. H. Eryati, "Desalinasi Air Laut Berbasis Teknologi Capacitive Deionization Menggunakan Elektroda Karbon Nanopori," Universitas Telkom, Bandung, 2016.