

KARAKTERISTIK KOMPOSIT PANI/GO SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

¹⁾Qurrata A'yuni Ahsan, ²⁾Diah Hari Kusumawati, ³⁾Fitriana

- ¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: qurrata.20017@mhs.unesa.ac.id
²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: diahkusumawati@unesa.ac.id
³⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: fitrianafitriana@unesa.ac.id

Abstrak

Superkapasitor adalah salah satu perangkat penyimpanan energi yang dapat menyimpan energi lebih banyak dibandingkan kapasitor dan menyalurkan energi dengan keluaran yang lebih tinggi dibandingkan baterai. Komponen superkapasitor meliputi elektrolit, elektroda, pemisah (separator), dan pengumpul arus. Elektroda merupakan salah satu komponen penting dalam superkapasitor, maka pemilihan bahan elektrodan dan fabrikasinya sangat penting dalam meningkatkan kinerja superkapasitor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik komposit PANi/GO sebagai elektroda superkapasitor dan menganalisis pengaruh massa GO terhadap kapasitansi elektrokimia komposit PANi/GO. Pembuatan elektroda menggunakan metode elektrodeposisi untuk membentuk lapisan komposit PANi/GO pada substrat *stainless steel*. Selanjutnya hasil sintesis elektroda komposit PANi/GO dikarakterisasi dengan SEM-EDX, FTIR, uji LCR Meter, dan uji CV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik komposit PANi/GO sebagai elektroda superkapasitor dapat dilihat melalui nilai konduktivitas listrik dan nilai kapasitansi spesifiknya. Nilai konduktivitas yang dihasilkan berada pada rentang $3,22 \times 10^{-2}$ hingga $11,11 \times 10^{-2}$ S/cm dan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan berada pada rentang 61,250 hingga 11,857 F/g. Selain itu, variasi massa GO yang digunakan memiliki pengaruh terhadap kapasitansi elektrokimia komposit PANi/GO yaitu dengan adanya penambahan massa GO dapat mengakibatkan turunnya nilai kapasitansi spesifik dari elektroda.

Kata Kunci: elektroda, elektrodeposisi, GO, PANi, superkapasitor

Abstract

Supercapacitors are one of the energy storage devices that can store more energy than capacitors and distribute energy with higher output than batteries. Supercapacitor components include electrolytes, electrodes, separators, and current collectors. Electrodes are one of the important components in supercapacitors, so the selection of electrode materials and their fabrication are very important in improving supercapacitor performance. This study aims to analyze the characteristics of PANi/GO composites as supercapacitor electrodes and analyze the effect of GO mass on the electrochemical capacitance of PANi/GO composites. The electrodes were made using the electrodeposition method to form a PANi/GO composite layer on a stainless steel substrate. Furthermore, the results of the synthesis of PANi/GO composite electrodes were characterized by SEM-EDX, FTIR, LCR Meter tests, and CV tests. The results showed that the characteristics of PANi/GO composites as supercapacitor electrodes can be seen through their electrical conductivity and specific capacitance values. The resulting conductivity values are in the range of $3,22 \times 10^{-2}$ to $11,11 \times 10^{-2}$ S/cm and the resulting specific capacitance values are in the range of 61,250 to 11,857 F/g. In addition, the variation of the GO

mass used has an effect on the electrochemical capacitance of the PANi/GO composite, namely that the addition of GO mass can result in a decrease in the specific capacitance value of the electrode.

Keywords: electrode, electrodeposition, GO, PANi, supercapacitor

I. PENDAHULUAN

Permintaan energi yang meningkat, ekonomi global yang berkembang, menipisnya sumber bahan bakar fosil yang cepat, dan kekhawatiran yang meningkat tentang pencemaran lingkungan menjadikan sumber energi terbarukan sebagai pusat daya tarik. Dalam beberapa dekade terakhir, perangkat penyimpanan energi untuk menyimpan energi dari sumber energi terbarukan dengan efisiensi tinggi, dan biaya rendah. Di antara perangkat penyimpanan energi lainnya, superkapasitor mendapatkan banyak perhatian dari masyarakat karena memiliki kepadatan daya yang tinggi, tingkat pengisian dan pengosongan yang cepat, dan masa pakai yang lama dibandingkan dengan baterai tradisional. Oleh karena itu, superkapasitor dapat digunakan dalam berbagai macam bidang, salah satunya yaitu bidang digital, bidang elektronik, maupun bidang transportasi.

Salah satu komponen utama superkapasitor adalah elektroda. Polimer penghantar dengan fleksibilitas tinggi dan kapasitansi spesifik yang relatif tinggi dianggap sebagai salah satu bahan elektroda utama untuk superkapasitor (Zhang, et al. 2012). Salah satu polimer konduktif yang dianggap sebagai salah satu bahan elektroda yang paling menjanjikan adalah polianilin (PANi), karena memiliki konduktivitas yang tinggi, mudah untuk disintesis, kapasitas yang sangat baik untuk penyimpanan energi, dan biaya yang rendah. Namun, pemanfaatan dan penerapannya yang luas dibatasi oleh stabilitas siklus yang relatif buruk karena kerusakan struktur selama proses redoks. Untuk menghindari keterbatasan ini, menggabungkan PANi dengan bahan karbon telah terbukti memperkuat stabilitas PANi serta memaksimalkan nilai kapasitansi (Iro, Subramani and Dash 2016).

Grapheme Oxide (GO) memiliki gugus fungsi hidrofilik (hidroksil, karboksil, alkoksil, dan epoksil) yang menjadikan bahan aktif untuk superkapasitor. GO juga mudah untuk disintesis di antara grafena termodifikasi. GO dengan lapisan dan ukuran yang berbeda dapat didispersikan secara homogen dalam air untuk menyintesis material komposit berbasis GO. Selain itu, GO juga menunjukkan kompatibilitas yang baik dengan PANi hidrofilik dalam bentuk garam zamrud. GO menunjukkan kapasitansi yang lebih tinggi dan waktu pemrosesan yang lebih singkat dengan tingkat kinerja yang sangat baik dan daya tahan siklus yang lebih baik daripada graphene karena efek kapasitansi semu tambahan dari gugus fungsi yang mengandung oksigen yang terpasang pada bidang dasarnya (Xu, et al. 2011).

Penelitian dari Zhang, et al. (2012) yang mengompositkan PANi/GO dengan metode elektrodeposisi dan menggunakan konsentrasi massa GO yang berbeda untuk meningkatkan kinerja elektrokimia pada elektroda superkapasitor. Elektroda yang digunakan pada saat elektrodeposisi yaitu elektroda kerja (substrat *stainless steel* 304), elektroda referensi (Ag/Cl), dan elektroda bantu (Pt). dengan menggunakan massa GO yaitu 0, 5, 10, 15, dan 25 mgL⁻¹, didapatkan kapasitansi spesifik maksimum mencapai 1136,4 Fg⁻¹ pada konsentrasi GO 10 mgL⁻¹.

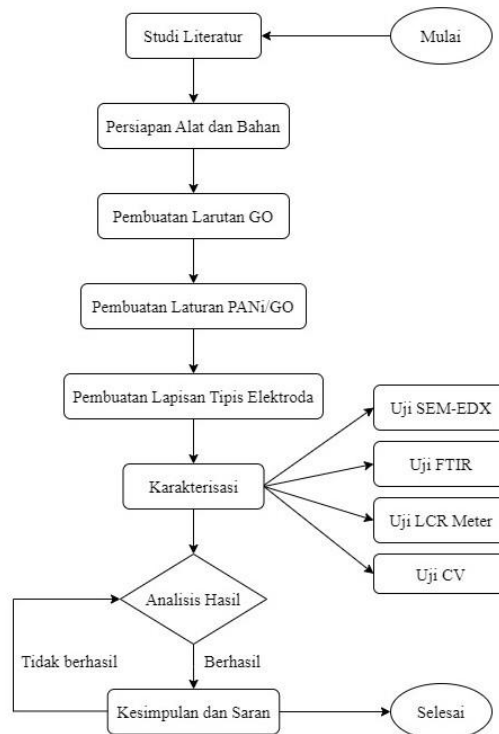
Penelitian lainnya dilakukan oleh Khalid, et al. (2014) yaitu komposit PANi/GO disintesis menggunakan metode elektrodeposisi dengan variasi kandungan suspensi GO 0,05; 0,1; dan 0,2 mL. Elektroda yang digunakan pada saat elektrodeposisi yaitu elektroda kerja (substrat ITO), elektroda referensi (Ag/Cl), dan elektroda bantu (Pt). Dihasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 662 Fg⁻¹ dengan 0,2 mL suspensi koloid GO. Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Ma, et al. (2018) menggunakan komposit PANi/GO/Cu yang disintesis melalui polimerisasi in situ. Didapatkan nilai kapasitansi spesifik dari komposit PANi/GO/Cu yaitu sebesar 557,92 Fg⁻¹ dan stabilitas siklus yang baik. Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Zafer Ciplak (2021) yaitu nanokomposit PANi/GO dibuat dengan pendekatan polimerisasi in situ menggunakan asam dodesil benzene sulfonat sebagai dopan. Nanokomposit PANi/GO menunjukkan kinerja elektrokimia yang menjanjikan untuk aplikasi superkapasitor yaitu dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 269,3 Fg⁻¹.

Mengacu pada penelitian sebelumnya, maka penulis melakukan penelitian dengan judul "Karakteristik Komposit PANi/GO sebagai Elektroda Supercapacitor" menggunakan metode elektrodeposisi.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan bersifat eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Material Fisika Program Studi Fisika, Universitas Negeri Surabaya. Beberapa tahapan penelitian ini meliputi studi literatur yaitu mencari referensi yang sesuai, pembuatan larutan PANi/GO, pembuatan elektroda menggunakan metode elektrodposisi, dan karakterisasi bahan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*, *Four Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*, LCR Meter, dan *Cyclic Voltametry (CV)*. Berikut diagram penelitian



Gambar 1. Diagram penelitian

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel penelitian diantaranya variabel kontrol yaitu H_2SO_4 , anilin, rentang potensial (-0,2 sampai 0,2), dan *scan rate* (100 mV/s). Variabel manipulasi yaitu massa GO 6 mg/L (PANi/GO 1), 8 mg/L (PANi/GO 2), 10 mg/L (PANi/GO 3), 12 mg/L (PANi/GO 4), dan 14 mg/L (PANi/GO 5). Variabel respon yaitu hasil uji SEM, FTIR, LCR Meter, dan CV.

C. Teknik Pengumpulan Data

Sampel yang telah disintesis dilakukan karakterisasi SEM-EDX sebagai persyaratan bahwa lapisan komposit PANi/GO telah terbentuk. Selain itu, karakterisasi FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada lapisan komposit PANi/GO dan serbuk PANi. Selanjutnya, dilakukan uji LCR Meter untuk mengetahui nilai konduktivitas listrik yang merupakan salah satu persyaratan utama berhasilnya aplikasi komposit PANi/GO sebagai elektroda superkapasitor, serta dilakukan uji CV untuk mengetahui nilai kapasitansi dari komposit PANi/GO sebagai elektroda superkapasitor.

D. Teknik Pengolahan Data

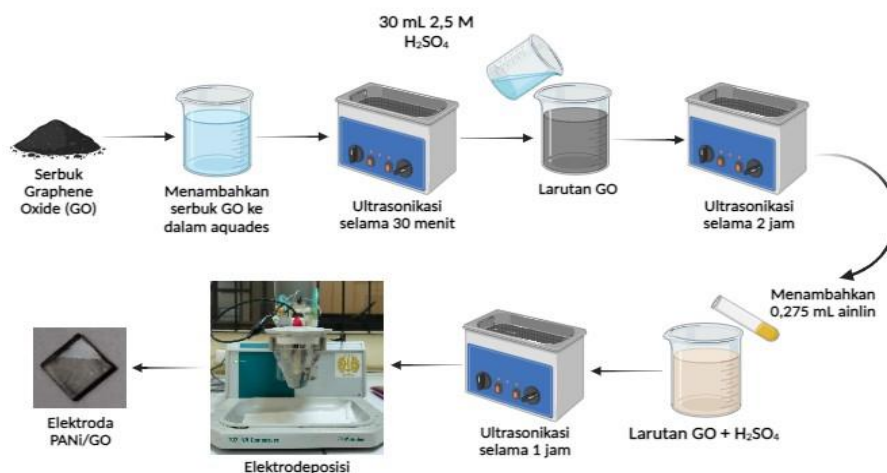
Berdasarkan hasil karakterisasi SEM-EDX dapat langsung diamati morfologi PANi dan GO yang terdapat pada lapisan komposit PANi/GO. Selanjutnya, dari hasil karakterisasi FTIR didapatkan data berupa bilangan gelombang serapan dengan nilai transmitansi yang kemudian diolah menggunakan *software OriginPro2018* dan dibandingkan dengan referensi menggunakan tabel untuk mengetahui gugus fungsi

penyusun komposit PANi/GO dan serbuk PANi. Pada hasil uji LCR Meter didapatkan data berupa nilai resistansi sampel yang kemudian digunakan untuk perhitungan konduktivitas listik. Uji *Cyclic Voltametry* (CV) mendapatkan hasil berupa data potensial dan arus yang dihasilkan selama proses siklus, dilanjutkan dengan mengolah data menggunakan *software OriginPro2018* dan didapatkan grafik dengan potensial pada sumbu-x dan arus pada sumbu-y. Dari grafik tersebut dapat digunakan untuk perhitungan kapasitansi spesifik sebagai salah satu syarat utama aplikasi elektroda superkapasitor.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Sintesis

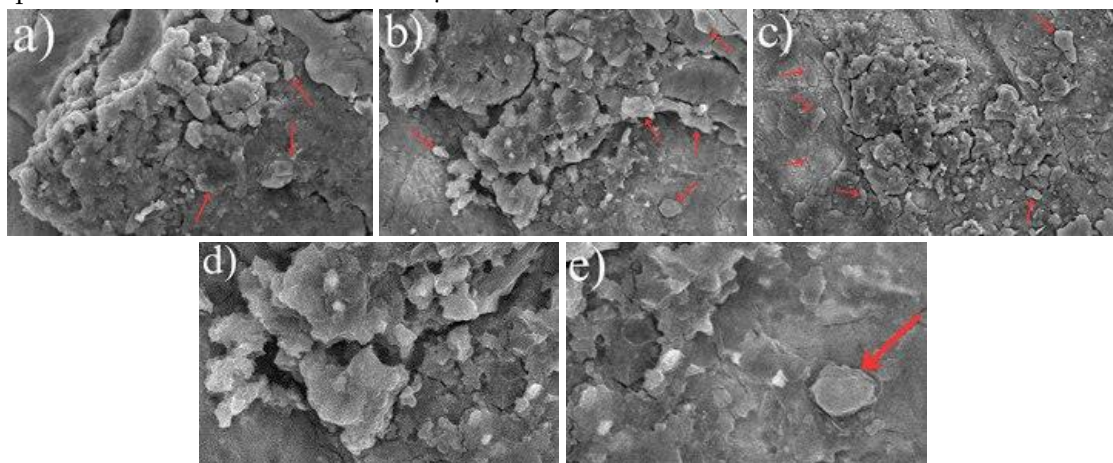
Tahapan pada penelitian ini yaitu pembuatan larutan GO, pembuatan larutan PANi/GO, dan pembuatan lapisan tipis elektroda. Pelapisan elektroda superkapasitor dengan komposit PANi/GO menggunakan metode elektrodeposisi. Kemudian, elektroda superkapasitor dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi dan unsur pada lapisan komposit PANi/GO. Selanjutnya, komposit PANi/GO diuji menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi. Selain itu, dilakukan uji LCR Meter untuk mengetahui nilai konduktivitas listrik, serta dilakukan uji CV untuk mengetahui kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor.



Gambar 2. Proses sintesis elektroda superkapasitor menggunakan metode elektrodeposisi

B. Hasil Karakterisasi SEM-EDX

Karakterisasi SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi dan unsur pada permukaan lapisan PANi/GO. Berikut merupakan hasil uji SEM pada lapisan PANi/GO ditunjukkan pada Gambar 3 dengan perbesaran 10.000 kali dan skala 15 μm .



Gambar 3. Hasil SEM a) PANi/GO 1, b) PANi/GO 3, c) PANi/GO 5, d) aglomerasi PANi pada PANi/GO 3, dan e) GO pada PANi/GO 3

Gambar 3 di atas, menunjukkan hasil uji SEM lapisan PANi/GO pada substrat *stainless steel* dengan variasi massa GO, pada **Gambar 3 a)** menggunakan massa GO 6 mg, pada **Gambar 3 b)** menggunakan massa GO 10 mg, dan pada **Gambar 3 c)** menggunakan massa GO 14 mg. Komposit PANi/GO memiliki struktur yang berbentuk lapisan yang terdiri atas senyawa PANi dan GO. Struktur morfologi lapisan PANi/GO menunjukkan adanya PANi yang teraglomerasi seperti pada **Gambar 3 d)** dan GO berbentuk *plateles* yang tersebar di sekitar struktur PANi yang ditunjuk oleh panah berwarna merah seperti pada **Gambar 3 e)**. Secara keseluruhan, pada sampel PANi/GO 5 dengan massa GO yaitu 14 mg menunjukkan bahwa senyawa GO paling banyak muncul jika dibandingkan dengan sampe PANi/GO 1 dan PANi/GO 3. Hasil uji SEM pada komposit PANi/GO memiliki kemiripan struktur dengan hasil penelitian Agustiarina dan Putri, (2020) dimana PANi memiliki struktur yang sangat teraglomerasi dan penelitian Khalid, et al. (2014) yang menunjukkan struktur GO berbentuk *plateles*.

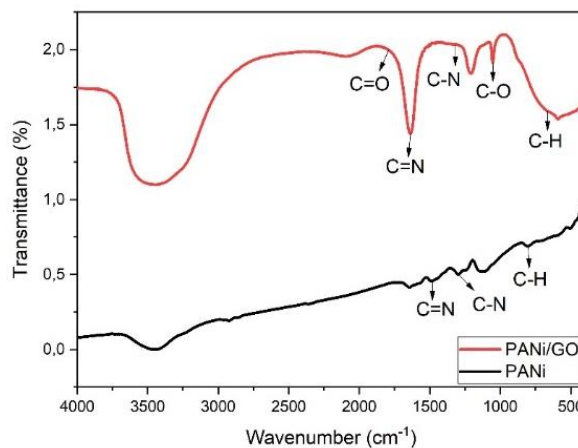
Unsur yang terbentuk dari hasil uji EDX pada lapisan PANi/GO yaitu karbon (C), nitrogen (N), dan oksigen (O). Pada **Tabel 1** dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya massa GO, unsur karbon semakin berkurang sedangkan unsur oksigen semakin bertambah. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama proses sintesis, oksigen dari GO dapat menggantikan karbon dalam struktur PANi. Oksigen dari GO dapat membentuk ikatan dengan nitrogen dalam PANi, menggantikan beberapa ikatan karbon-nitrogen. Selain itu, unsur oksigen bertambah karena adanya unsur oksigen dari GO itu sendiri. Hal ini menyebabkan penurunan jumlah karbon dan peningkatan jumlah oksigen dalam komposit PANi/GO. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan (Chethan, et al. 2024) yaitu dengan adanya penambahan GO, unsur karbon mengalami penurunan, sedangkan unsur oksigen mengalami peningkatan.

Tabel 1. EDX lapisan PANi/GO

Sampel	Berat Unsur		
	Karbon (C)	Nitrogen (N)	Oksigen (O)
PANi/GO 1	32,400	12,200	54,400
PANi/GO 3	26,426	3,403	70,170
PANi/GO 5	17,900	3,400	78,700

C. Hasil Karakterisasi FTIR

Fourier Transform-Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa PANi dan komposit PANi/GO. Berikut merupakan hasil dari pengujian FTIR komposit PANi/GO dan serbuk PANi seperti pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Spektrum FTIR komposit PANi/GO dan serbuk PANi

Gambar 4 merupakan spektrum hasil uji FTIR komposit PANi/GO dengan warna merah dan serbuk PANi dengan warna hitam. Pengujian FTIR ini dilakukan dengan panjang gelombang 4000 hingga 400 cm⁻¹. Melalui kedua spektrum tersebut, masing-masing sampel memiliki ciri khas yang akan menjadi pembanding dalam mengidentifikasi kandungan GO pada komposit PANi/GO.

Tabel 2. Pengelompokan gugus fungsi PANi dan komposit PANi/GO

Sampel	Gugus Fungsi	Wavenumber (cm ⁻¹)		Referensi
		Eksperimen	Referensi	
PANi	C=N <i>stretch</i>	1487,12	1487	(Wibowo and Putri 2022)
	C-N <i>stretch</i>	1296,16	1293,07	(Dirgantari and Putri 2023)
	C-H <i>bend</i>	738,74	680,15	
PANi/GO	C=O <i>stretch</i>	1791,87	1740	(Khalid, et al. 2014)
	C=N <i>stretch</i>	1635,64	1645	
	C-N <i>stretch</i>	1319,31	1293,07	(Dirgantari and Putri 2023)
	C-O <i>stretch</i>	1055,06	1055	(Zhang, et al. 2012)
	C-H <i>bend</i>	667,37	680,15	(Dirgantari and Putri 2023)

Berdasarkan hasil gugus fungsi di atas menunjukkan bahwa adanya GO dalam komposit PANi/GO dengan gugus fungsi C=O *stretch* pada puncak 1791,87 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi *carboxyl* dan *carboxylic* dan gugus fungsi C-O *stretch* pada puncak 1055,06 cm⁻¹ yang merupakan *epoxy* dari COH/COC. Spektrum PANi dalam komposit PANi/GO ditunjukkan dengan adanya gugus fungsi C=N *stretch* pada puncak 1635,64 cm⁻¹ dari unit kuinoid, gugus fungsi C-N *stretch* pada puncak 1319,31 cm⁻¹ dan gugus fungsi C-H *bend* dikaitkan dengan getaran unit benzoid pada puncak 667,37 cm⁻¹. Melalui hasil FTIR tersebut, diketahui bahwa komposit PANi/GO memiliki kandungan GO dan PANi meskipun terjadi pergeseran *peak*. Gugus fungsi mengalami pergeseran *peak* karena penambahan GO dan karena adanya ikatan antar gugus fungsi pada PANi dan GO.

D. Hasil Uji LCR Meter

Konduktivitas listrik elektroda superkapasitor didapatkan melalui pengujian LCR Meter. Berdasarkan pengujian LCR Meter didapatkan nilai resistansi pada sampel yang kemudian dapat dihitung besar nilai konduktivitas listrik.

Tabel 3. Hasil konduktivitas listrik lapisan PANi/GO

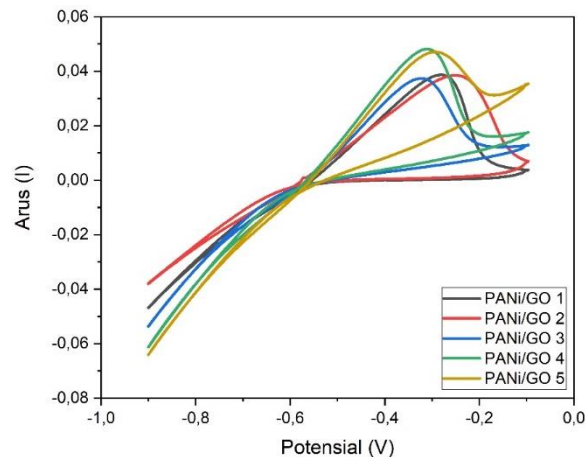
Sampel	Resistansi (Ω)	Konduktivitas Listrik (S/cm)
PANi/GO 1	0,31	3,22 x 10 ⁻²
PANi/GO 2	0,24	4,16 x 10 ⁻²
PANi/GO 3	0,18	5,55 x 10 ⁻²
PANi/GO 4	0,13	7,69 x 10 ⁻²
PANi/GO 5	0,09	11,11 x 10 ⁻²

Tabel 3 menunjukkan tabel hasil konduktivitas lapisan PANi/GO menggunakan frekuensi 100 Hz. Berdasarkan penelitian (Susmita and Muttaqin 2013), nilai konduktivitas listrik PANi murni yang dihasilkan yaitu 3,81 x 10⁻⁴S/cm. Pengaruh penambahan GO pada komposit PANi/GO dapat mempengaruhi sifat listrik, khususnya konduktivitas listrik seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3**. Nilai konduktivitas listrik yang semakin besar seiring bertambahnya massa GO dikarenakan GO terdiri dari struktur *graphene* yang mengandung atom karbon yang dapat meningkatkan konduktivitas listrik.

Dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan massa GO, nilai resistansi yang dihasilkan semakin kecil. Hal tersebut mengakibatkan nilai konduktivitas semakin besar yang sesuai dengan teori bahwa resistansi berbanding terbalik dengan konduktivitas listriknya. Berdasarkan nilai konduktivitas listrik yang diperoleh elektroda, komposit PANi/GO memenuhi syarat sebagai elektroda dikarenakan memiliki konduktivitas listrik antara 10⁻⁸ - 10³ S/cm (Yani, Djamas and Ramli 2019).

E. Hasil Uji CV

Kapasitansi spesifik elektroda superkapasitor didapatkan melalui pengujian CV. Lapisan tipis PANi/GO yang telah disintesis menggunakan metode elektrodeposisi dengan scan rate 100 mV/s didapatkan data mengenai karakteristik PANi/GO menggunakan uji voltametri siklik. Uji voltametri siklik dilakukan dengan menggunakan rentang potensial -1,0 V hingga 0,1 V yang dapat memicu terjadinya proses elektropolimerisasi PANi/GO pada permukaan substrat stainless steel ditunjukkan dengan adanya puncak oksidasi dan reduksi. Berikut adalah grafik hasil pengujian voltametri siklik:



Gambar 5. Grafik *Cyclic Voltammetry* komposit PANi/GO dengan variasi massa GO

Gambar 5 menunjukkan grafik *Cyclic Voltammetry* hubungan antara potensial dan arus dari komposit PANi/GO. Pengujian CV menyebabkan terjadinya proses oksidasi dan reduksi. Proses oksidasi ditandai dengan naiknya grafik dari arus negatif menuju arus maksimum yang terletak pada sumbu y positif, sedangkan proses reduksi ditandai dengan turunnya grafik dari potensial oksidasi maksimum kembali ke potensial oksidasi minimum dengan arus yang bernilai negatif. **Gambar 5** menunjukkan bahwa proses oksidasi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan proses reduksi karena reaksi kimia yang terjadi secara cepat, sehingga menghambat proses reduksi (Pirvu, et al. 2008). Berdasarkan data hasil pengujian CV, didapatkan nilai arus pengisian (I_c) dan arus pengosongan (I_d) pada sampel yang kemudian dapat dihitung besar nilai kapasitansi spesifik.

Tabel 4 Kapasitansi spesifik elektroda komposit PANi/GO

Sampel	I_c (A)	I_d (A)	C_{sp} (F/g)
PANi/GO 1	0,0389	0,00215	61,250
PANi/GO 2	0,0389	0,00328	44,525
PANi/GO 3	0,0374	0,01000	27,400
PANi/GO 4	0,0481	0,01619	26,591
PANi/GO 5	0,0471	0,03050	11,857

Tabel 4 menunjukkan hasil kapasitansi spesifik elektroda komposit PANi/GO menggunakan *scan rate* 100 mV/s. Pengaruh penambahan GO pada komposit PANi/GO dapat mempengaruhi sifat listrik, khususnya kapasitansi spesifik. Dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan massa GO, menghasilkan nilai kapasitansi spesifik semakin kecil yang sesuai dengan teori bahwa kapasitansi spesifik yang telah didapatkan, berbanding terbalik dengan penambahan massa. Hal ini didukung oleh penelitian (Ma, et al. 2019) dimana massa dapat mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik, yaitu semakin besar massa elektroda maka nilai kapasitansi spesifik semakin rendah, begitu pula sebaliknya. Selain massa, kurva I_c dan I_d juga mempengaruhi

besarnya kapasitansi spesifik, dimana semakin besar kurva $I_c - I_d$, maka kapasitansi spesifik elektroda semakin besar (Novitra, Taer and Aziz 2022).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Karakteristik komposit PANi/GO sebagai elektroda superkapasitor dapat dilihat melalui nilai konduktivitas listrik dan nilai kapasitansi spesifiknya. Nilai konduktivitas yang dihasilkan berada pada rentang $3,22 \times 10^{-2}$ hingga $11,11 \times 10^{-2}$ S/cm dan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan berada pada rentang 61,250 hingga 11,857 F/g. Variasi massa GO yang digunakan memiliki pengaruh terhadap kapasitansi elektrokimia komposit PANi/GO sebagai elektroda superkapasitor. Dengan adanya penambahan massa GO dapat mengakibatkan turunnya nilai kapasitansi spesifik dari elektroda superkapasitor.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan memvariasi variabel yang lain selain massa GO untuk menghasilkan kapasitansi spesifik yang lebih tinggi. Selain itu, dapat melakukan uji menggunakan *scan rate* yang bervariasi untuk melihat performa elektroda superkapasitor lebih detail. Untuk mengetahui umur pakai dan kemampuan dalam menyimpan muatan, disarankan untuk melakukan pengujian *Charge-Discharge (DC)*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chethan, B., V. Prasad, Seena Mathew, and Husna Jan. "Polyaniline/Graphene Oxide Composite as an Ultra-Sensitive Humidity Sensor." *Inorganic Chemistry Communications*, 2024.
- Dirgantari, Frisellya, and Nugrahani Primary Putri. "Karakteristik Elektrokimia Lapisan Tipis PANi dengan Variasi Scan Rate Elektrodeposisi." *Inovasi Fisika Indonesia*, 2023: 103-108.
- Iro, Zaharaddeen S., C. Subramani, and S.S. Dash. "A Brief Review on Electrode Materials for Supercapacitor." *International Journal of Electrochemical Science*, 2016: 10628-10643.
- Khalid, Mohd., et al. "Polyaniline Nanofibers-Graphene Oxide Nanoplatelets Composite Thin Film Electrodes for Electrochemical Capacitors." *Royal Society of Chemistry*, 2014: 34168-34178.
- Wibowo, Silvi Rahmawati, and Nugrahani Primary Putri. "Fabrikasi Komposit PANi/MgO Sebagai Bahan Dasar Sensor Gas Liquefied Petroleum Gas (LPG)." *Sains dan Matematika*, 2022: 26-32.
- Xu, Bin, et al. "What Is The Choice for Supercapacitors: Graphene or Graphene Oxide?" *Energy & Environmental Science*, 2011: 2826-2830.
- Zhang, Qingqing, Yu Li, Yiyu Feng, and Wei Feng. "Electropolymerization of Graphene Oxide/Polyaniline Composite for High-Performance Supercapacitor." *Electrochimica Acta*, 2012: 95-100.