

Sintesis dan Karakterisasi Komposit Grafena Oksida Tereduksi (rGO)/Polianilin (PANI) Sebagai Elektrolit Padat Pada Baterai

Siska Riska Karisma^{1,*}, Lela Mukmilah Yuningsih¹, Devi Indah Anwar¹

¹ Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi
Jl. R. Syamsudin, S.H. No. 50, Sukabumi, 43113, Jawa Barat, Indonesia

*E-mail: siskariskak@gmail.com

Abstrak

rGO merupakan turunan grafena yang telah mengalami reduksi gugus oksigennya. Sintesis dan karakterisasi komposit rGO/Polianilin sebagai elektrolit padat dalam baterai untuk mengkaji kemampuannya menyimpan arus dan tegangan listrik. rGO disintesis dengan metode *Hummers* termodifikasi dan direduksi dengan reduktor Zn. Grafit oksida pertama kali disintesis dengan mengoksidasi grafit menggunakan H_2SO_4 dan KMnO_4 . Grafit oksida dieksfoliasi secara ultrasonik pada pancaran gelombang 50/60 Hz dan diolah dengan Zn untuk menghasilkan rGO dalam bentuk serbuk. Polianilin (PANI) disintesis menggunakan metode polimerisasi *in-situ*. rGO dan PANI dikompositkan dengan tujuan agar dapat meningkatkan nilai konduktivitasnya sehingga terjadi kenaikan pada nilai arus dan tegangannya. Komposit rGO/PANI dikarakterisasi menggunakan Spektroskopi Inframerah *Transformasi Fourier* (FTIR), Mikroskop Elektron Pemindaian (SEM), raman spektroskopi, LCR-Meter, dan multimeter *digital*. Pada FTIR muncul puncak serapan yang diidentifikasi sebagai rGO pada bilangan gelombang 1643 cm^{-1} (C=O), $1483,26\text{ cm}^{-1}$ (C-H *stretch*), 1292 dan 1238 cm^{-1} (C-O *stretch*). Sedangkan pita khas PANI muncul pada bilangan gelombang 684 cm^{-1} dan 785 cm^{-1} (C-H *bending*), 1568 cm^{-1} (C=C *stretching*), serta $3460,65\text{ cm}^{-1}$ (N-H). Dihasilkan rasio I_D/I_G pada raman spektroskopi sebesar 0,83. Komposit rGO/PANI diidentifikasi memiliki nilai konduktivitas $0,230739696\text{ S/cm}$, tegangan 1,17 V dengan arus 3,22 mA. Perolehan nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan hasil pengukuran rGO yang dianalisis secara tunggal.

Kata kunci: rGO, Polianilin, Komposit rGO/PANI, Elektrolit, Konduktivitas

1. Pendahuluan

Krisis energi adalah salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dunia saat ini. Dalam beberapa dekade terakhir, permintaan energi telah meningkat secara dramatis karena pertumbuhan populasi global, perkembangan industri, dan peningkatan standar hidup (Logayah dkk., 2023). Keadaan tersebut mendorong munculnya pengembangan energi alternatif dan perangkat penyimpanan energi terbaru. Salah satu perangkat penyimpanan energi yang menjadi fokus pengembangan adalah baterai. Elektrolit merupakan salah satu bagian penting dalam perancangan baterai dan berhasil menarik perhatian karena dapat meningkatkan stabilitas dan keamanan

elektrokimia dari baterai. Akan tetapi konduktivitas yang rendah menjadikan elektrolit polimer padat memiliki kekurangan yang belum terselesaikan (Banitaba dkk., 2019; Mushaddaq 2023).

Polianilin (PANI) merupakan polimer yang bersifat konduktif yang memiliki sifat elektrokimia, listrik, dan optis yang unik serta memiliki stabilitas termal yang baik sehingga polianilin telah banyak dikembangkan dan diaplikasikan saat ini. Yuningsih dkk., (2018) telah melakukan sintesis PANI dengan variasi konsentrasi doping HCl dengan nilai konduktivitas listrik PANI yang terbaik sebesar $1,4\text{ S/cm}$ (dopan HCl 1,5 M). Maka dari itu, untuk meningkatkan konduktivitasnya, banyak peneliti yang melakukan modifikasi

terhadap elektrolit padat, salah satunya dengan dilakukan pengompositan karbon aktif (Yuningsih dkk., 2018).

rGO (Reduced Graphene Oxide) merupakan karbon aktif turunan dari grafit yang mengalami proses oksidasi (GO) dan diproses dengan oksidasi reduksi untuk menghilangkan gugus fungsional yaitu oksigen pada bidang grafit oksida. Selain itu, rGO termasuk ke dalam semikonduktor yang memiliki sifat elektronik yang baik dengan gap terendah, konduktivitas yang menengah, rapat daya lebih tinggi, memiliki luas permukaan besar dengan sifat mekanik yang kuat (mendekati 1TPa), dan mobilitas elektron yang mencapai $15.000 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ (Safitri dan Diah, 2020). Dari banyaknya kelebihan rGO tersebut, rGO memiliki konduktivitas listrik yang rendah. Yuningsih dkk., (2025) telah berhasil mensintesis rGO dengan metode Hummer yang menghasilkan nilai konduktivitas listrik rGO sebesar $3,57 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$. Untuk dapat meningkatkan nilai konduktivitas pada kedua material ini, maka dilakukan pengompositan rGO dengan PANI agar dapat meningkatkan konduktivitasnya sehingga dapat diaplikasikan sebagai elektroda padat pada baterai.

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis dan karakterisasi komposit rGO/PANI sebagai elektrolit padat pada baterai. rGO disintesis dengan metode sintesis grafena oksida (GO) secara kimia menggunakan bubuk grafit yang dioksidasi dengan asam kuat yang disebut dengan metode Hummer termodifikasi dengan menggantikan NaNO_3 dengan H_3PO_4 untuk menghindari pembentukan gas beracun. Tahapan sintesis rGO yaitu dari grafit dioksidasi menggunakan asam dan oksidator kuat yaitu H_2SO_4 dan KMnO_4 menghasilkan grafit oksida kemudian dilakukan pengelupasan dengan cara ultrasonikasi dengan kekuatan 50/60 Hz sehingga dihasilkan grafena oksida (GO) dimana

hasil grafena oksida direduksi menggunakan reduktor (Zn) sehingga akan diperoleh serbuk rGO (Taufantari dkk., 2016). Kemudian dilakukan sintesis PANI dengan mencampurkan monomer anilin dalam larutan aqua hingga terbentuk PANI. Serbuk rGO yang telah dihasilkan lalu dikompositkan dengan PANI (Umar dkk., 2024). Dimana komposit rGO/PANI akan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, Raman Spektroskopi, diukur nilai konduktivitas dan tegangannya serta arus berturut-turut menggunakan LCR-meter dan multimeter digital.

Pendahuluan ditulis dengan font Times New Roman 12 *regular* dan paragraph nya harus *justify*. Isi dari latar belakang adalah topik yang dibahas, pengertian umum istilah yang menjadi subjek penelitian, hasil penelitian relevan yang sudah pernah ada, tujuan penelitian, dan mengungkapkan originalitas dari tulisan yang dibahas. Panjang naskah bagian pendahuluan minimal 1 halaman penuh.

Paragraf baru dalam penulisan menggunakan 1 kali *enter* dengan format pada *Line and Paragraph Spacing > Line Spacing Options > Spacing After = 6 pt* (dengan *Line Spacing Single*). Kalimat pertama sejajar dengan margin (tidak masuk ke dalam).

Penulisan referensi mengikuti sistem Harvard, dimulai dengan nama keluarga penulis pertama kemudian diikuti dengan dkk jika penulis lebih dari dua orang dan diikuti dengan tahun publikasi referensi (Utami dkk., 2018).

Syarat pemilihan referensi harus mengikuti ketentuan atau kaedah jurnal terakreditasi yaitu: Pustaka rujukan harus bersumber dari pustaka primer berupa jurnal dengan komposisi >80%. Selanjutnya seluruh referensi yang digunakan merupakan publikasi dalam 10 tahun terakhir.

Penulisan nomor dalam menjelaskan hal-hal yang dianggap perlu, adalah :

1. Penggunaan 1 kali *enter* dengan format pada *Line and Paragraph Spacing > Line Spacing Options > Spacing After = 0 pt* (dengan *Line Spacing Single*)
2. Dengan menggunakan 1 kali *enter* dengan format pada *Line and Paragraph Spacing > Remove space after paragraph* dan *justify*.

Penulisan formula atau rumus perhitungan menggunakan fasilitas *insert equation* dari *Microsoft Word*. Tidak boleh hanya *copy-paste* atau menampilkan hasil *screenshot* dalam format gambar (.jpg, png, dll). *Layout* penulisan rumus format *justify* dengan huruf awal sejajar margin kiri dan diikuti nomor urutan rumus dalam kurung (...). Setiap simbol yang terdapat pada formula wajib diberi keterangan sebagaimana contoh berikut:

$$\square (\%) = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$sd (\%) = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

ε (%) : porositas membran
 S_d (%) : derajat pengembangan
 m_1 : jumlah volume membran basah
 m_2 : jumlah volume membran kering

Rumus diketik rata kiri, bukan center, dan nomor rumus diketik rata kanan. Keterangan formula/rumus ditulis dengan font Times New Roman 10 regular.

2. Metodologi

Bahan yang diperlukan di antaranya grafit, asam sulfat (H_2SO_4), kalium permanganat ($KMnO_4$), asam fosfat (H_3PO_4) hidrogen peroksida (H_2O_2), asam klorida (HCl), serbuk seng (Zn), kertas saring wathman, DI water, akuades (H_2O), baterai, monomer anilin, kertas lakmus, toluena, dan ammonium persulfate (APS).

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu neraca analitik, cawan porselin, corong, labu ukur, pipet volume, gelas ukur, spatula, *hot plate*, oven, Instrumen X-

ray Diffraction (XRD), Raman Spektrofotometer, *Fourier Transform Infrared* (FTIR), LCR meter, pH meter, erlenmeyer, *ice bath*, *ultrasonic cleaner*, *beaker glass*, wadah *stainless*, *thermometer digital*, dan *stopwatch*.

2.1. Sintesis rGO

Metode Hummer digunakan untuk sintesis grafit oksida. Disiapkan campuran antara 67,5 mL H_2SO_4 98% dan 7,5 mL H_3PO_4 85% (9:1) di dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan 3 g bubuk grafit dan diaduk selama 30 menit. Lalu ditambahkan 9 g $KMnO_4$ secara perlahan pada suhu kisaran 20 – 0 °C dalam penangas es karena senyawa $KMnO_4$ memiliki sifat eksplosif terhadap suhu tinggi dan pengadukan dilanjutkan selama 3 jam (larutan berwarna hijau tua). Kemudian dilanjutkan pengadukan selama 1 jam pada suhu 35 °C tanpa penangas es dan ditambahkan DI *water* pada larutan sebanyak 50 mL dan diaduk selama 1 jam. Dilakukan pengenceran pada larutan dengan menambahkan 100 mL DI *water* dan diaduk selama 1 jam. Lalu ditambahkan H_2O_2 30 % sebanyak 5 mL secara perlahan dan didiamkan selama 30 menit (larutan berubah warna dari hijau tua menjadi coklat tua). Setelah itu larutan disaring dan dicuci dengan DI *water* sampai pH mendekati 7, setelah itu endapan dipanaskan dalam oven pada suhu 60 °C selama 12 jam untuk menghasilkan grafit oksida (Putri dkk., 2023; Anwar dkk., 2024).

0,4 g grafit oksida dicampur dengan 40 mL akuades dan diaduk selama 1 jam agar didapatkan larutan yang homogen, kemudian dilakukan ultrasonikasi pada pancaran gelombang ultrasonik 50/60 Hz selama 90 menit untuk memecah grafit oksida menjadi grafena oksida. Kemudian ditambahkan 0,8 g Zn dan 10 mL HCl 35% lalu diaduk selama 1 jam, 10 mL HCl 35 % ditambahkan lagi ke dalam larutan dan kembali dilakukan pengadukan selama 30

menit. Setelah itu, larutan dicuci dengan akuades hingga pH menjadi netral. Hasil pencucian dimasukan ke dalam wadah stainless kecil dan dipanaskan dalam oven pada suhu 200 °C selama 18 jam untuk menghasilkan rGO (Taufantari dkk., 2016; Yuningsih dkk., 2025).

2.2. Sintesis Polianilin

0,46 mL monomer anilin kemudian dibuat menjadi 2 M lalu dilarutkan dalam 1 mL toluena. Kemudian dilarutkan (NH)₄S₂O₈ sebanyak 1,14 gr dalam 100 mL larutan HCl 3 M. Dalam sintesisnya setelah masing-masing fasa dibuat, campuran antara anilin dan toluena ditambahkan setetes demi setetes selama 24 jam hingga terbentuk endapan biru. Endapan tersebut kemudian dicuci dengan HCl 0,1 M dan akuades secara bertahap dan dihasilkan endapan berwarna hijau. Hasil filtrasi kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60 °C sehingga dihasilkan serbuk dengan bentuk dan warna yang khas PANI dalam bentuk garam *emeraldine* (ES) berwarna hijau (Aras dan Irwan, 2024).

2.3. Sintesis Komposit rGO/PANI

Pengompositan dimulai dengan mencampurkan 20 mg bubuk rGO dengan 50 mL DI *water* yang diikuti dengan pengadukan selama 30 menit dan diultrasonikasi selama 20 menit. Disamping itu, dibuat campuran yang terdiri dari PANI 5% dengan 20 mL DI *water* dan diaduk selama 20 menit. Kedua larutan kemudian dicampur dengan pengadukan konstan selama 1 jam pada suhu 80 °C. Campuran yang dihasilkan lalu disonikasi selama 20 menit untuk menghilangkan dispersi dan memfasilitasi interaksi antara rGO dan PANI. Komposit yang dihasilkan kemudian dicuci dengan DI *water* dan dikeringkan dalam oven vakum. Komposit rGO/PANI menjalani proses pengeringan selama 24 jam pada suhu 50 °C dalam oven vakum untuk

menghilangkan sisa kelembapan sehingga dapat dihasilkan komposit rGO/PANI yang baik (Umar dkk., 2024).

2.4. Karakterisasi Komposit rGO/PANI

Karakterisasi komposit rGO/PANI meliputi karakterisasi gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR, karakterisasi pola difraksi serta derajat kristalinitas menggunakan XRD, raman spektroskopi, dan pengukuran besaran listrik menggunakan multimeter digital.

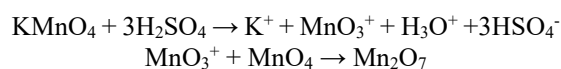
2.5. Pengukuran Besaran Listrik Komposit rGO/PANI

Menyiapkan baterai yang sudah tidak digunakan, lalu dikeluarkan isi dari baterai tersebut. Kemudian dimasukan komposit rGO/PANI ke dalam baterai dan dipadatkan isinya sampai terisi penuh lalu ditutup rapat. Kemudian baterai tersebut diukur tegangan dan arusnya menggunakan multimeter digital (Yuningsih dkk., 2025).

3. Hasil dan pembahasan

3.1. rGO Hasil Sintesis

Grafit oksida disintesis menggunakan metode Hummers yang dimodifikasi, dengan mengoksidasi grafit melalui penambahan H₂SO₄ dan KMnO₄ sebagai reagen utama. KMnO₄ berfungsi sebagai oksidator kuat dalam lingkungan asam dan berperan krusial dalam proses eksfoliasi grafit. Penambahan KMnO₄ dilakukan pada suhu 10°C untuk mencegah reaksi eksotermik, mengingat reaksi antara H₂SO₄ dan KMnO₄ dapat menghasilkan ledakan pada suhu di atas 50°C. Interaksi antara KMnO₄ dan asam kuat mengubah warna larutan menjadi hitam kehijauan akibat terbentuknya senyawa Mn₂O₇.



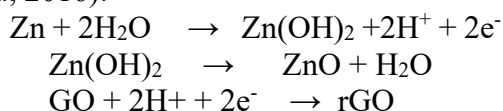
Proses oksidasi dihentikan dengan penambahan larutan H₂O₂. Tanda selesainya oksidasi dtunjukkan oleh

munculnya gelembung-gelembung kecil dan perubahan warna larutan menjadi kuning kecoklatan dengan reaksi:

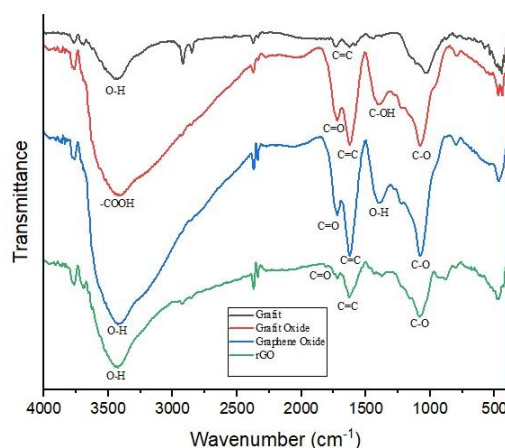


Pada titik ini, grafit oksida diperoleh dalam larutan. Untuk mengisolasi grafit oksida dari pelarut, kertas saring digunakan, yang berulang kali dibilas dengan DI *water* sampai pH mendekati netralitas. Endapan oksida grafit yang diperoleh dari proses filtrasi kemudian mengalami perlakuan termal pada suhu 60° C dalam oven selama dua belas jam, menghasilkan bentuk padat oksida grafit (Anwar dkk., 2024).

GO yang diperoleh dari grafit oksida menunjukkan kelarutan baik dalam air dan membentuk larutan homogen setelah perlakuan ultrasonikasi, yang efektif memisahkan lembaran grafena oksida menjadi partikel lebih kecil dan halus dengan memutus ikatan *Van der Waals*. GO dilakukan dengan Zn dan HCl 35%, di mana Zn berperan sebagai agen pereduksi yang memperbaiki cacat struktural kisi karbon serta menghilangkan gugus oksigen, sementara reaksi Zn dengan HCl mengubah gugus epoksi menjadi gugus hidroksi (Taufantari dkk., 2016). Penambahan Zn secara perlahan ke dalam larutan HCl menimbulkan gelembung gas sebagai indikasi reaksi reduksi berlangsung. Proses ini efektif mengurangi gugus oksigen yang tidak tereduksi sempurna. Hasil dari reaksi reduksi dapat dilihat pada persamaan reaksi (Taufatari dkk., 2016):



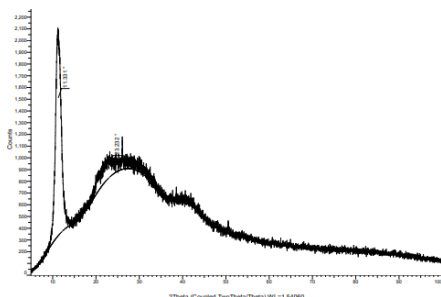
Karakterisasi FTIR dilakukan pada sampel sehingga dihasilkan puncak serapan grafit, grafit oxide, graphene oxide, dan rGO ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektum FTIR puncak serapan grafit, grafit oxide, graphene oxide, dan rGO.

Berdasarkan spektrum di atas, sampel grafit menghasilkan spectrum serapan O-H pada 3429 cm⁻¹ dan C=C pada 1627 cm⁻¹. Hasil ini telah sesuai dengan yang dilaporkan (Kanta dkk., 2017). Kemudian spektrum grafit oxide menunjukkan adanya serapan -COOH pada 3410 cm⁻¹, C=C pada 1624 cm⁻¹, dan pita intens baru C=O pada 1722 cm⁻¹, C-OH pada 1404 cm⁻¹, dan C-O pada 1080 cm⁻¹. Hasil ini menunjukkan keberhasilan sintesis grafit oxide melalui pembentukan gugus fungsi seperti -COOH, C=O, C=C, C-OH, dan C-O (Yuningsih dkk., 2025). Grafit oxide menjadi graphene oxide memanfaatkan proses pengelupasan untuk mengubah grafit oxide menjadi graphene oxide (Taufantari dkk., 2016).

Spektrum FTIR reduksi GO menjadi rGO menunjukkan pengurangan signifikan gugus oksigen terutama hidroksil (O-H). Hilangnya pita C-OH pada rGO menandakan proses reduksi dan eksfoliasi lapisan oxide berhasil, yang menghasilkan struktur karbon lebih murni dan kurang teroksidasi dibanding graphene oxide. Beberapa puncak khas yang masuk ada yakni O-H pada 3429,43 cm⁻¹, C=O pada 1718,58 cm⁻¹, C=C pada 1629,85 cm⁻¹, dan C-O pada 1083,99 cm⁻¹ sesuai data Kanta dkk., (2017) yang mencatat O-H pada 3400 cm⁻¹, C=O pada 1720 cm⁻¹, C=C pada 1644 cm⁻¹, dan C-O pada 1050 cm⁻¹.



Gambar 2. Hasil analisis XRD rGO

Pola XRD dari rGO ditampilkan pada Gambar 2. Difraktogram menunjukkan dua puncak utama, yaitu puncak tajam pada sudut 2θ sekitar $23,232^\circ$ dengan ukuran kristal sebesar 79,83 nm. Munculnya puncak ini mengindikasikan keberadaan rGO, serta puncak pada $2\theta = 11,331^\circ$ dengan ukuran kristal 81,10 nm yang mengarah pada keberadaan graphene oxide (GO). Berdasarkan literatur, puncak difraksi GO umumnya muncul pada rentang $2\theta = 8-18^\circ$, dan dalam penelitian sebelumnya, GO terdeteksi pada $2\theta = 10,781^\circ$. Oleh karena itu, kemunculan puncak pada $11,331^\circ$ pada sampel rGO ini dapat dikonfirmasi sebagai sisa fasa GO (Safira dkk., 2022).

Hal ini mengindikasikan bahwa proses reduksi GO belum berlangsung secara sempurna. Ketidaktersempurnaan ini kemungkinan disebabkan oleh reduktor yang digunakan telah disimpan dalam waktu yang lama dan memungkinkan penurunan kalitas dari reduktor tersebut, sehingga gugus-gugus oksigen belum sepenuhnya tereduksi (Safitri dan Diah, 2020). Selain itu, keberadaan puncak GO pada sampel rGO juga menunjukkan bahwa proses reduksi berlangsung secara tidak merata. Dengan demikian, rGO yang dihasilkan belum sepenuhnya murni, dan masih mengandung sebagian GO.

3.2. PANI Hasil Sintesis

Polianilin (PANI) disintesis menggunakan metode *interfasial* dengan mencampurkan monomer anilin dalam dua fase, yaitu fase organik dan fase air. Anilin dilarutkan

dalam toluena yang bersifat non-polar untuk membentuk fase organik. Sementara itu, ammonium persulfat (APS) digunakan sebagai oksidator sekaligus inisiator, dan dilarutkan dalam larutan HCl yang berfungsi sebagai katalis guna meningkatkan konduktivitas PANI. Campuran ini disebut sebagai fase air (*aqueous*).

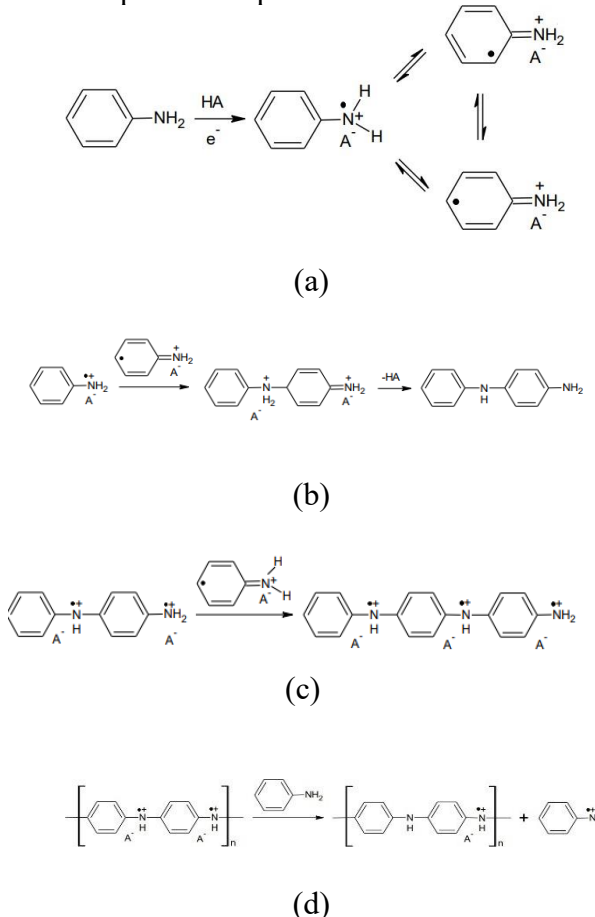
Dalam proses sintesisnya, setelah kedua fase disiapkan, larutan anilin dalam toluena ditambahkan secara perlahan (tetes demi tetes) ke dalam fase air. Hal ini dilakukan untuk menjaga kestabilan batas antarmuka (*interfase*) agar tidak bergeser selama reaksi berlangsung.

Perbedaan polaritas antara kedua larutan menyebabkan terjadinya pemisahan fase. Fase organik berada di bagian atas, sedangkan fase air berada di bawah. Proses polimerisasi ditandai dengan masuknya PANI ke dalam fase air, karena PANI bersifat hidrofilik dan mudah berinteraksi dengan air. Polimerisasi berlangsung pada batas antara kedua fase. Awalnya, inisiator mengoksidasi monomer, membentuk radikal kation yang mengalami proses kopling dan rearomatisasi (Aras dan Irwan, 2024).

Pada tahap kopling radikal, terjadi penggabungan antara ujung kepala dan ekor monomer pada posisi nitrogen (N) dan para-radikal kation, membentuk dimer kation. Selanjutnya, dalam tahap rearomatisasi, dimer tersebut mengalami penataan ulang struktur menjadi polimer netral berupa p-aminodifenilamin, yang menyebabkan larutan berubah warna menjadi merah muda.

Kemudian pada tahap propagasi, rantai polimer terus memanjang membentuk struktur biru gelap yang dikenal sebagai pernigranilin terprotonasi. Tahap terakhir, yaitu terminasi, terjadi ketika oksidator habis terpakai selama proses propagasi. Garam pernigranilin kemudian tereduksi oleh anilin yang tersisa, membentuk garam emeraldin yang

berwarna hijau. Skema reaksi polimerisasi anilin dapat dilihat pada Gambar 3.

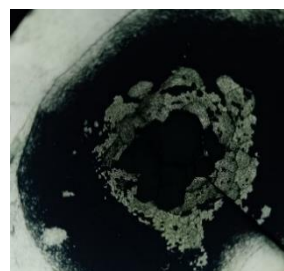


Gambar 3. Skema reaksi polimerisasi anilin (a) tahap inisiasi, (b) tahap radikal dan rearomatisasi, (c) tahap propagasi, dan (d) tahap terminasi (Yuningsih *dkk.*, 2018).

Proses polimerisasi berlangsung selama 24 jam. Selama proses ini berlangsung, rantai PANI akan semakin panjang dan teroksidasi. Produk hasil polimerisasi berupa garam Emeraldine (*Emeraldine Salt/ES*) yang ditandai dengan warna hijau gelap. Endapan yang terbentuk kemudian dimurnikan melalui pencucian bertahap menggunakan larutan HCl 0,1 M, etanol teknis, dan akuades. HCl tidak hanya berfungsi sebagai agen protonasi untuk menghasilkan struktur polimer yang lebih seragam melalui interaksi dengan ion klorida, tetapi juga membantu menghilangkan sisa monomer dan oksidator yang tidak bereaksi selama proses polimerisasi. Pencucian tambahan

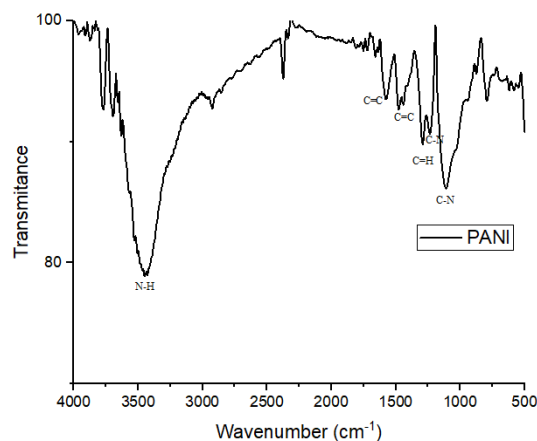
menggunakan aseton dilakukan untuk menghilangkan senyawa antara (*intermediate*) berupa oligomer organik (Aras dan Irwan, 2024).

Filtrat yang diperoleh kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam untuk menguapkan sisa pelarut dan air, menghasilkan serbuk PANI dalam bentuk garam Emeraldine. Warna hijau gelap dari serbuk tersebut merupakan karakteristik khas dari bentuk ES. Selama proses pengeringan, suhu dijaga tetap rendah untuk mencegah hilangnya dopan dan menghindari degradasi struktur polimer. Gambar 4 menunjukkan PANI yang telah terbentuk



Gambar 4. PANI yang terbentuk

PANI kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk melihat gugus fungsi yang terdapat pada sampel yang telah disintesis. Spektrum FTIR ditunjukkan pada Gambar 5.



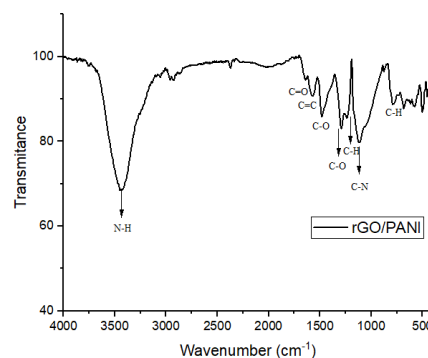
Gambar 5. Spektrum FTIR PANI

Gambar 5 menyajikan spektrum serapan FTIR dari PANI pada rentang bilangan

gelombang $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan hasil analisis, puncak transmitansi pada $3450,65 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi regangan (*stretching*) gugus N-H, yang merupakan ciri khas dari struktur polianilin hasil sintesis. Puncak pada $792,74 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya vibrasi tekukan (*bending*) dari gugus C-H, sedangkan puncak pada $1111,00 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus C-N *bending*. Sementara itu, sinyal pada $1236,37 \text{ cm}^{-1}$ terkait dengan regangan C-N, $1290,38 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan C-H, $1477,74 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C=C benzoid, dan $1571,99 \text{ cm}^{-1}$ menandakan kehadiran gugus C=C kuinoid. Hasil ini sesuai dengan penelitian Richard dan Didik, (2014) yang melaporkan vibrasi N-H *stretching* pada $344,15 \text{ cm}^{-1}$ dan $3221,25 \text{ cm}^{-1}$, C-N *bending* pada $1140,70 \text{ cm}^{-1}$, C-N *Stretching* pada $1291,5 \text{ cm}^{-1}$, dan C=C kuinoid pada $1563,13 \text{ cm}^{-1}$.

3.3. Komposit rGO/PANI Hasil Sintesis

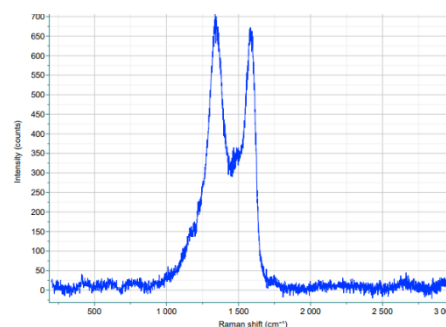
Pengompositan dilakukan dengan pencampuran larutan rGO dengan PANI. Pengompositan rGO dan PANI (PANI) dilakukan dengan pengadukan konstan pada suhu 80°C untuk menjaga homogenitas campuran dan mencegah aglomerasi rGO (Umar dkk., 2024). Suhu tersebut mempercepat polimerisasi anilin dan proses doping, serta meningkatkan interaksi antarmuka antara rGO dan PANI seperti ikatan $\pi-\pi$ dan ikatan hidrogen, sehingga diperoleh komposit yang konduktif dan stabil. Kemudian diultrasonikasi untuk menghilangkan PANI yang tidak terikat dan pengotor (Restiana dan Nugrahani, 2018). Komposit yang terbentuk dicuci dan dikeringkan selama 24 jam pada suhu 50°C untuk menghilangkan sisa kelembapan sehingga dihasilkan komposit rGO/PANI yang baik. Komposit tersebut kemudian dilakukan pengujian menggunakan FTIR. Gambar 6 memperlihatkan spektrum yang muncul pada komposit rGO/PANI.



Gambar 6. Spektrum FTIR rGO/PANI

Komposit rGO/PANI berhasil disintesis, yang ditunjukkan dengan adanya karakteristik pita serapan khas dari PANI pada spektrum FTIR. Beberapa puncak penting yang teridentifikasi meliputi ikatan C-H *bending* pada bilangan gelombang 684 cm^{-1} dan 785 cm^{-1} , ikatan C=C *stretching* dari cincin kuinoid pada 1568 cm^{-1} , ikatan C-N pada 1116 cm^{-1} , serta gugus N-H pada $3460,65 \text{ cm}^{-1}$. Pola ini menunjukkan kemiripan dengan hasil dari penelitian sebelumnya, yang mengonfirmasi keberadaan struktur PANI dalam komposit.

Sementara itu, keberadaan gugus fungsi dari rGO pada komposit terlihat. Hal ini ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang 1643 cm^{-1} (C=O karbonil/karboksil), $1483,26 \text{ cm}^{-1}$, cm^{-1} (C-H *stretch*), serta 1292 dan 1238 cm^{-1} (C-O *stretch*). Gugus-gugus fungsi tersebut konsisten dengan karakteristik khas dari rGO yang telah dilaporkan dalam berbagai literatur sebelumnya (Restiana dan Nugrahani, 2018).

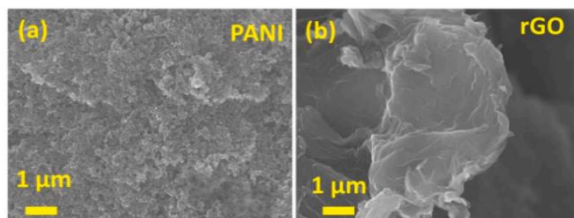


Gambar 7. Hasil uji Raman Spektroskopi komposit rGO/PANI

Pengujian Raman dilakukan untuk mengetahui rasio I_D/I_G yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kemurnian dan jumlah cacat (*defect*) pada suatu material karbon. Pada penelitian ini, komposit rGO/PANI menunjukkan dua puncak utama, yaitu puncak D pada $1333,39\text{ cm}^{-1}$ dan puncak G pada $1592,87\text{ cm}^{-1}$, dengan nilai rasio I_D/I_G sebesar 1,04. Penambahan PANI ke dalam struktur rGO menyebabkan penurunan nilai rasio I_D/I_G , yang mengindikasikan penurunan jumlah cacat (*defect*) pada rGO. Hal ini disebabkan oleh kemampuan PANI untuk menyisip ke dalam struktur cacat yang terdapat pada permukaan atau lembaran rGO. Fenomena ini sejalan dengan hasil yang dilaporkan oleh Restiana dan Nugrahani, (2018) yang menunjukkan bahwa pengompositan dengan PANI dapat memperbaiki struktur rGO yang cacat dan meningkatkan keteraturan struktur karbon.



Gambar 8. Mikrogram SEM dari komposit rGO/PANI



Gambar 9. Mikrogram SEM (a) PANI dan (b) rGO (Umar *et.al*, 2024)

Morfologi permukaan komposit rGO/PANI dikarakterisasi menggunakan SEM yang diperoleh dari pengamatan SEM pada tegangan 20.0 kV dengan perbesaran 25.000x. Struktur lembaran tipis terlihat jelas di tengah gambar, yang kemungkinan besar merupakan lembaran rGO. Sekelilingnya tampak struktur granular atau nodular yang tidak beraturan

dan saling menumpuk, menandakan keberadaan partikel PANI yang menyelimuti atau berinterkalasi dengan lembaran rGO. Hal ini sesuai dengan Umar dkk., (2024) yang melaporkan keberadaan rGO dan PANI.

Morfologi ini mencerminkan interaksi antara permukaan konduktif rGO dengan rantai polimer PANI, yang membentuk jaringan komposit dengan permukaan kasar dan area kontak luas. Ukuran dan bentuk permukaan yang tidak seragam dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan muatan (Putri dkk., 2023).

3.4. Pengukuran Besaran Listrik Hasil Komposit rGO/PANI

Pengukuran sifat listrik dari material dilakukan menggunakan multimeter digital untuk mengetahui performa konduktivitas dari masing-masing sampel, yaitu PANI, rGO, dan komposit rGO/PANI. Parameter yang diukur meliputi tegangan (Volt) dan arus (mA) untuk masing-masing sampel yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran Menggunakan Multimeter Digital

Sampel	Nilai Tegangan (Volt)	Arus (mA)
PANI	0,64	2,20
rGO	1,05	2,85
Komposit rGO/PANI	1,17	3,22

Berdasarkan hasil pengukuran, sampel komposit rGO/PANI menunjukkan nilai tegangan tertinggi sebesar 1,17 V dan arus sebesar 3,22 mA. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan PANI murni (0,64 V; 2,20 mA) dan rGO murni (1,05 V; 2,85 mA). Hal ini menunjukkan bahwa penggabungan antara rGO dan PANI mampu meningkatkan konduktivitas listrik, yang disebabkan oleh sifat konduktif rGO sebagai penghantar elektron yang efisien serta PANI sebagai konduktor tipe polimer.

Pengukuran konduktivitas komposit rGO/PANI menggunakan LCR-meter yaitu

alat yang digunakan untuk mengukur komponen listrik dalam sirkuit elektronik. Berdasarkan hasil pengukuran nilai konduktivitas listrik komposit rGO/PANI didapatkan hasil sebesar 0,230739696 S/cm. Hasil ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan rGO murni. Berdasarkan hasil pengukuran nilai konduktivitas rGO yang telah dilakukan oleh Yuningsih dkk., (2025), didapatkan nilai $3,57005 \times 10^{-4}$ S/cm. Peningkatan konduktivitas ini disebabkan oleh adanya efek sinergis antara rGO dan PANI, di mana rGO menyediakan jalur konduksi elektron yang cepat melalui struktur karbon sp^2 , sedangkan PANI dalam bentuk *emeraldine salt* berperan sebagai jembatan konduktif yang menghubungkan antar lembaran rGO. Proses polimerisasi *in-situ* menghasilkan lapisan PANI yang merata pada permukaan rGO, menciptakan antarmuka konduktif yang luas, memperpendek jalur transportasi elektron, menurunkan nilai *defect* (cacat) serta mengurangi hambatan listrik internal. Dengan demikian, integrasi struktural ini secara signifikan meningkatkan efisiensi transportasi muatan pada komposit rGO/PANI dibandingkan masing-masing material tunggalnya (Umar dkk., 2024; Mitra dkk., 2015).

4. Kesimpulan

Sintesis komposit rGO/PANI telah berhasil dilakukan, dimana hasil karakterisasi FTIR dihasilkan pola keberadaan polianilin C–H bending pada bilangan gelombang 684 cm^{-1} dan 785 cm^{-1} , ikatan C=C stretching dari cincin kuinoid pada 1568 cm^{-1} , ikatan C–N pada 1116 cm^{-1} , serta gugus N–H pada 3460,65 cm^{-1} . Sedangkan keberadaan gugus fungsi dari rGO pada komposit ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang 1643 cm^{-1} (C=O karbonil/karboksil), 1483,26 cm^{-1} , cm^{-1} (C–H stretch), serta 1292 dan 1238 cm^{-1} (C–O stretch). Karakterisasi komposit rGO/PANI menggunakan raman spektroskopi menunjukkan dua puncak

utama, yaitu puncak D pada 1333,39 cm^{-1} dan puncak G pada 1592,87 cm^{-1} , dengan nilai rasio ID/IG sebesar 0,83. Serta nilai konduktivitas komposit rGO/PANI dihasilkan sebesar 0,230739696 S/cm, besaran listrik didapatkan hasil untuk tegangan 1.17 Volt dan arus 3.22 mA. Kesimpulan mengungkapkan hal-hal penting yang diperoleh dari penelitian. Hendaknya terkandung penarikan kesimpulan yang memiliki kebaruan konsep atau metode, pencetusan teori dan prinsip yang baru tidak hanya sekedar kesimpulan yang bersifat dangkal. Saran dimungkinkan ada jika akan terdapat penelitian lanjutan untuk menjawab hal-hal yang belum dapat diselesaikan pada penelitian yang telah dikerjakan.

Daftar pustaka

- Anwar, D.I., Lela, L.K., & Eri, R.H. (2024) Sintesis Grafena Oksida Tereduksi Berbahan Dasar Cangkang Biji Karet dan Sekam Padi Serta Komposisinya Dengan Metode Hummer Termodifikasi. *Cakra Kimia*, 12 (1), 8 – 16.
- Aras, N.R.M., & Irwan, M. (2024) Sintesis Polianilin (PANI) dengan Metode Polimerisasi Interfasial Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Sensor Gas Amonia (NH_3). *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 19 (1), 33 - 41.
- Banitaba, S.N., Dariush, S., Elahe, H.S., Behzad, R., & Ali, A.E. (2019) Effect of Titanium Dioxide and Zinc Oxide Fillers on Morphology, Electrochemical and Mechanical Properties of the PEO-based Nanofibers, Applicable as an Electrolyte for Lithium-Ion Batteries. *IOP Conference Series: Materials Research Express*. IOP Publishing, 1 – 11.
- Kanta, U., Varonuch, T., Weredesh, S., Nutthapon, W., & Jatuphorn, W. (2017) Preparations, Characterizations, and a Comparative Study on Photovoltaic Performance of Two Different Type of

- Graphene/TiO₂ Nanocomposite Photoelectrodes. *Journal of Nanomaterials*, 1 – 13.
- Logayah, D.S., Bella, R.M., Diane, Z.H., & Regina, P.R. (2023) Krisis Energi Uni Eropa: Tantangan dan Peluang dalam Menghadapi Pasokan Energi yang Terbatas. *Hassanudin Journal of International Affairs*, 3 (2), 103 – 110.
- Mushaddaq, R.F., Akhmad, A.B., Ramlan., & Titik L. (2023) Elektrolit Polimer Padat dari Pencampuran PVDF-HFP dan PEO serta Modifikasi Filler Sebagai Bahan Dasar Baterai Lithium-Ion. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 12 (1), 219 – 228.
- Putri, N.A., & Zainul, A.I.S. (2023) Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide (GO) Dari Bahan Alam Tempurung Kelapa. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 12 (2), 47 – 55.
- Safira, V.R.N., Muhammad, B.P., Fitrilawati., & Norman, S. (2022) Perbandingan Pendekatan Fungsi Gauss dan Fungsi Lorentz Pada Dekomposisi Pola XRD Oksida Grafena dan Oksida Grafena Tereduksi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 12 (01), 34 - 43.
- Safitri, R.F., & Diah, H.K. (2020) Review: Aplikasi Bahan Komposit Berbasis Reduced Graphene Oxide (rGO). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 9 (2), 93 – 104.
- Taufantari, Y., Irdawati., Raka, L.A., & Asih, A. (2016) Synthesis and Characterization of Graphene with Graphite Oxide Reduction Method Using Zn Reducer. *Journal of Chemistry Valence*, 2 (1), 17 – 23.
- Umar, A., Ahmed, F., Ullah, N., Ansari, S.A., Hussain, S., Ibrahim, A.A., Qasem, H., Kumar, S.A., Alhamami, M.A., Almhbad, N., Algadi, H., Almas, T., Selim, A.F., & Baskoutas, S. (2024) Exploring the Potential of Reduced Graphene Oxide/Polyaniline (rGO@PNI) Nano Composites for High-Performance Supercapacitor Application. *Electrochimica Acta* 479, 1 – 10.
- Yuningsih, L.M., Dikdik, M., & Yusri, M.F. (2018) Sintesis Komposit Polianilin – Karbon Aktif dari Tongkol Jagung sebagai Elektrolit Padat Pada Baterai. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 4 (2), 119 – 123.
- Yuningsih, L.M., Devi, I.A., & Eva, F. (2025) Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide (rGO) As a Solid-State Electrolyte In Batteries. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5 (1), 124 – 132.