

**SINTESIS NANOKOMPOSIT NiO-rGO MENGGUNAKAN METODE
HIDROTHERMAL UNTUK APLIKASI ANODA BATERAI LITIUM**

JURNAL ILMIAH

HANISA AWALIYAH MUHIDIN

12318011



**FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI
INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
SEPTEMBER 2022**

**SINTESIS NANOKOMPOSIT NiO-rGO MENGGUNAKAN METODE
HIDROTERMAL UNTUK APLIKASI ANODA BATERAI LITIUM**

JURNAL ILMIAH

HANISA AWALIYAH MUHIDIN

12318011

Kota Deltamas, September 2022

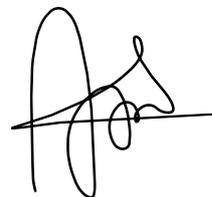
Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Pembimbing 1



Prof. Ir. Syoni Supriyanto, M.Sc., Ph.D
NIP. 195203181976031001

Pembimbing 2



Murni Handayani, Ph.D
NIP. 197906072005022001

SINTESIS NANOKOMPOSIT NiO-rGO MENGGUNAKAN METODE HIDROTHERMAL UNTUK APLIKASI ANODA BATERAI LITIUUM

Hanisa Awaliyah Muhidin¹, Syoni Supriyanto², Murni Handayani³

Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung, Kota Deltamas Lot-A1 CBD, Jl. Ganesha Boulevard, Pasirranji, Kec. Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530
email : awlyzainab@gmail.com

Abstrak

Kinerja NiO sangat baik sebagai pengganti anoda grafit pada baterai litium. Namun NiO memiliki kekurangan yaitu konduktivitas yang buruk sehingga menghambat pengangkutan ion litium dan elektron selama pemakaian dan pengisian. Dalam studi ditemukan bahwa bahan grafena yang memiliki luas permukaan spesifik yang besar, fleksibilitas yang tinggi, serta konduktivitas elektronik yang baik sehingga dapat melengkapi kekurangan anoda berbasis NiO. Sintesis nanokomposit NiO-rGO dapat dilakukan menggunakan metode hidrotermal dengan prekursor tertentu dimana NiO didapatkan dari hasil konversi NiSO₄ menjadi NiO serta oksida grafit (GO) disintesis dari serbuk grafit. Kedua bahan tersebut dilarutkan bersama dalam pelarut air dengan perbandingan 1:1 lalu diultrasonikasi menggunakan sonikator untuk menyeragamkan ukuran partikel. Kemudian di panaskan menggunakan autoklaf hidrotermal dengan bantuan gelombang mikro. Setelah itu padatan disaring dan dikeringkan. Pengujian yang dilakukan mencakup uji *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Spectrophotometer UV-Vis* (UV-Vis), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Cyclic Voltametry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi NiSO₄ menjadi NiO yang dilakukan dengan penambahan NH₄OH sebanyak 0,5 M meningkatkan kadar NiO menjadi 76%. NiO, GO dan NiO-rGO memiliki panjang gelombang di *range* gelombang sinar tampak (100-400 nm) serta nilai *bandgap* masing-masing 2,14 eV, 2,56 eV, 2,28 eV dengan ukuran kristalit GO>NiO-rGO>NiO dengan nilai masing-masing 3,19 nm, 5,53 nm, 3,40 nm. NiO memiliki nilai hambatan internal (Rs) sebesar 35,7 Ω dan NiO-rGO sebesar 25,313 Ω. Dapat disimpulkan bahwa nanokomposit NiO-rGO secara keseluruhan memiliki karakteristik dan performa elektrokimia yang lebih baik dibanding NiO.

Kata Kunci : Anoda LIB, sintesis hidrotermal, nanokomposit, oksida grafit , NiO

Abstract

NiO performs very well as a replacement for graphite anodes in lithium batteries. However, NiO has a drawback, namely poor conductivity, which hinders the transport of lithium ions and electrons during discharging and charging. In the study it was found that the graphene material has a large specific surface area, high flexibility, and good electronic conductivity so that it can complement the shortcomings of NiO-based anodes. The synthesis of NiO-rGO nanocomposites can be carried out using the hydrothermal method with certain precursors where NiO is obtained from the conversion of NiSO₄ to NiO and graphite oxide (GO) is synthesized from graphite powder. The two materials were dissolved together in a water solvent in a ratio of 1:1 and then ultrasonicated using a sonicator to homogenize the particle size. Then heated using a hydrothermal autoclave with the help of microwaves. After that the solids are filtered and dried. The tests carried out include X-Ray Fluorescence (XRF), UV-Vis Spectrophotometer (UV-Vis), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), Cyclic Voltametry (CV) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). The results showed that the conversion of NiSO₄ to NiO by adding 0.5 M of NH₄OH increased the NiO content to 76%. NiO, GO and NiO-rGO have wavelengths in the visible light range (100-400 nm) and bandgap values of 2.14 eV, 2.56 eV, 2.28 eV with crystallite sizes GO>NiO-rGO> NiO with values of 3.19 nm, 5.53 nm, 3.40 nm, respectively. NiO has an internal resistance value (Rs) of 35.7 and NiO-rGO of 25.313 . It can be concluded that NiO-rGO nanocomposite overall has better electrochemical characteristics and performance than NiO.

Keywords: LIB anode, hydrothermal synthesis, nanocomposite, graphite oxide, NiO

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada tahun 2020 Indonesia tercatat memiliki cadangan nikel sebanyak 72 juta ton atau sekitar 52% dari cadangan nikel dunia, 139,4 juta ton. Dengan arti lain Indonesia memiliki cadangan nikel terbesar di dunia. Di samping itu, kemajuan di bidang baterai mobil listrik terus dikembangkan dan baterai litium kini banyak digunakan pada perangkat penyimpanan energi seperti baterai. Nikel menjadi salah satu komponen inti pembuatan baterai dan komponen termahal yang sulit didapatkan. Namun ketersediannya di Indonesia begitu berlimpah sehingga Indonesia di harapkan bisa menjadi produsen atau pemasok utama baterai kendaraan listrik^[1].

Baterai litium merupakan salah satu jenis perangkat penyimpanan energi yang banyak digunakan sebagai sumber suplai energi utama pada perangkat elektronik lainnya dan juga pada kendaraan mobil listrik karena performanya yang baik seperti densitas energi yang tinggi dan stabilitas siklus yang baik. Material anoda yang umum digunakan adalah grafit, namun grafit memiliki keterbatasan dalam melaksanakan tugasnya untuk menyimpan ion litium selama pengisian (*charging*). Grafena kini telah disintesis dan dikembangkan sebagai material anoda baru untuk baterai litium. Keunggulan dari grafena ialah memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar dibanding grafit sehingga dapat lebih banyak menampung ion litium di dalam sel baterai^[3].

Komponen utama baterai secara umum ialah terdiri dari anoda, katoda dan elektrolit. Anoda berfungsi sebagai tempat penyimpanan ion litium saat pengisian daya (*charging*), ia mengalirkan elektron melalui kawat penghubung agar ion litium dapat tersimpan di anoda (*stored*). Katoda berfungsi sebagai tempat penyimpanan ion litium saat pengosongan/pemakaian (*discharging*) dan pada saat ini ion litium secara alami berinterkalasi menuju katoda tanpa perlu dihubungkan dengan listrik. Sementara elektrolit adalah media penghubung antara anoda dan katoda agar ion litium dapat berinterkalasi dengan baik. Anoda yang banyak digunakan saat ini adalah grafit yang memiliki nilai kapasitas spesifik 372 mAh.g⁻¹^[2].

Para peneliti sebelumnya telah melakukan studi mengenai oksida logam transisi (TMO) yang memiliki kinerja elektrokimia yang

sangat baik sebagai pengganti grafit/anoda. NiO terlihat lebih baik dari oksida lainnya karena memiliki kapasitas spesifik teoritis yang tinggi 718 mAh.g⁻¹ dan kepadatan energinya 4800 mAh.cm⁻³. Namun NiO memiliki keterbatasan jika berdiri sendiri sebagai anoda. Maka dari itu dalam penelitian kali ini dilakukan pencampuran grafena dengan NiO untuk memodifikasi struktur NiO itu sendiri guna meningkatkan kinerja elektrokimia anoda pada baterai. Dengan bahan material NiSO₄ yang akan dipreparasi lebih dulu untuk meningkatkan kadar NiO dan di *hybrid* dengan grafena oksida (GO) menggunakan metode sintesis hidrotermal. Selanjutnya akan dilakukan pengujian fisik (morfologi) serta sifat elektrokimianya untuk melihat bagaimana kinerja dari anoda komposit NiO/rGO tersebut.^[2]

Tujuan Penelitian

1. Meningkatkan kadar NiO dalam NiSO₄.6H₂O untuk aplikasi anoda NiO/rGO pada baterai litium.
2. Memahami metode sintesis hidrotermal yang digunakan untuk menggabungkan NiO dengan GO sebagai komposit NiO/rGO berstruktur nano.
3. Mempelajari morfologi serta sifat elektrokimia dari komposit NiO/rGO sebagai anoda pada baterai.
4. Menganalisis pengaruh penambahan GO terhadap NiO sebagai anoda pada baterai.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan :

1. Oven
2. Furnace
3. Ice bath
4. Ultrasonikasi
5. Microwave
6. Centrifuge
7. Autoclave hidrotermal
8. NiSO₄.6H₂O
9. Na₂CO_{3(s)}
10. NaOH_(s)
11. Ammonia (NH₄OH) 25 %
12. H₂SO₄ 95-97%
13. HCl 35-37%
14. NaNO_{3(s)}
15. Serbuk grafit
16. KMnO_{4(s)}
17. Akuades

Sintesis NiO

1. Metode kalsinasi langsung
NiSO₄ sebanyak 10 gram disiapkan dan dimasukkan ke dalam cawan porselin. Setting

furnace pada suhu 900°C lalu masukkan sampel ke dalam furnace dan ditunggu hingga suhu mencapai 900°C lalu dikalsinasi selama 1 jam.

2. Metode sol-gel menggunakan Na₂CO₃

Disiapkan NiSO₄ dan Na₂CO₃ masing-masing 10 gr (1:1). Kemudian dilarutkan dengan 100 ml akuades (1:10) di masing masing gelas beaker dan diaduk selama 1 jam. Setelah itu kedua larutan dicampurkan dan diaduk selama 1 jam. Kemudian larutan disaring dan endapan dikeringkan di dalam oven 110°C selama 1 jam. Dikalsinasi pada suhu 500°C selama 1 jam.

3. Pengendapan menggunakan NH₄OH

Disiapkan 10 gr NiSO₄. Dibuat larutan NH₄OH dengan variasi molar 0,5M, 1M, 2M masing-masing sebanyak 100 ml (1:10). Dicampurkan 10 gr NiSO₄ dengan 100 ml ammonia pada masing-masing konsentrasi di dalam beaker gelas 200 ml dan diaduk selama 30 menit. Larutan kemudian disaring dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 1 jam.

4. Metode sol-gel menggunakan NaOH

Disiapkan 10 gr NiSO₄ dan dilarutkan dengan 100 ml akuades lalu diaduk selama 1 jam. Disiapkan 50 gr NaOH dan dilarutkan dengan akuades di dalam labu takar 250 ml (NaOH 5M). larutan NiSO₄ ditetesi NaOH 5 ml. Dilakukan Langkah yang serupa pada NaOH 10,15,20 ml. setelah itu larutan disaring. Dikeringkan pada suhu 110°C selama 2-3 jam. Lalu dikalsinasi pada suhu 500°C selama 1 jam.

Sintesis GO (*Graphite Oxide*)

Graphite oxide disintesis berdasarkan metode *hummer*. Disiapkan NaNO₃ dan H₂SO₄ 95-97% masing-masing sebanyak 2 gr dan 93,2 ml. Disiapkan juga *ice bath* dengan beaker gelas 1L yang diletakkan di atas hot plate dengan suhu dijaga < 20°C. Dicampurkan NaNO₃ dan H₂SO₄ sambil diaduk hingga homogen menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah homogen, ditambahkan 2 gr serbuk grafit dan diaduk kembali hingga homogen. Disiapkan KMnO₄ sebanyak 10 gr dan ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran sambil suhu tetap dijaga < 20°C. campuran diaduk selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Sambil menunggu, disiapkan penangas berisi minyak dan di tempatkan di atas *hotplate* dengan suhu diatur ±43°C. Setelah 2 jam beaker gelas ditutup aluminium foil dan dipindahkan ke

dalam penangas berisi minyak lalu diaduk selama 20 jam. Setelah pengadukan 20 jam, campuran akan berubah warna dari hitam pekat menjadi cokelat kental. Akuades ditambahkan sebanyak 166,8 ml ke dalam campuran dan diaduk selama 30 menit dengan suhu ±40°C. H₂O₂ 30% ditambahkan sebanyak 13,2 ml tetes demi tetes dan larutan berubah warna menjadi kuning. Larutan diaduk hingga busanya menghilang. Ditambahkan 533,2 ml akuades ke dalam campuran, lalu campuran dibiarkan selama 14 jam agar mengendap. Setelah mengendap, campuran dicuci menggunakan HCl 2M di dalam *centrifuge* (10000 rpm, 5 menit) dan dilanjutkan dicuci menggunakan akuades hingga pH netral. Endapan kemudian dioven pada suhu 75°C sehabian hingga terbentuk serbuk *graphite oxide* berwarna hitam pekat.

Sintesis NiO-rGO

Disiapkan serbuk NiO dan GO(*graphite oxide*) masing-masing 0,5 gram (1:1). Lalu serbuk di masukkan ke dalam 250 ml air. Campuran diultrasonikasi selama 1 jam di temperatur kamar. Setelah itu campuran diaduk (300rpm) menggunakan *magnetic stirrer* selama 21 jam pada temperatur kamar. Campuran diletakkan di *autoclave* dan dipanaskan di dalam *microwave (high mode)* selama 20-30 menit. Setelah dipanaskan, campuran di dinginkan pada temperatur kamar. Campuran kemudian disaring dan endapan dikeringkan dalam oven suhu 80°C selama 3 jam. Endapan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dilakukan pengujian XRF, UV-Vis, XRD, SEM-EDX, CV, EIS pada beberapa sampel.

Pengaruh Metoda Konversi NiSO₄ > NiO pada Yield Ni

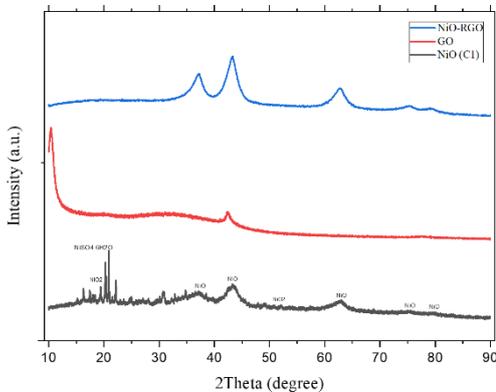
Dilakukan uji XRF untuk mengetahui kadar NiO dalam sampel yang telah ditampilkan dalam bentuk grafik pada **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 %Kadar NiO dalam Sampel

Bandgap atau celah pita berhubungan dengan konduktivitas listrik bahan dalam mengalirkan elektron. Bahan isolator memiliki nilai E_g yang tinggi sementara bahan semikonduktor memiliki nilai E_g yang cenderung kecil dan bahan konduktor memiliki nilai E_g yang sangat kecil dan hampir nol. Hal ini terjadi karena bahan konduktor akan membentuk pita yang kontinu dan hampir tidak memiliki *gap*. Elektron mengalir dari keadaan penuh (pita valensi) ke ruang yang lebih sedikit jumlah elektronnya (pita konduksi). Ketika elektron akan berpindah atau mengalir dari pita valensi ke pita konduksi maka dibutuhkan energi minimum untuk elektron tersebut dapat bertransisi. Energi tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan Planck. Nilai E_g dari masing-masing senyawa berbeda-beda namun terlihat ketiganya memiliki nilai *bandgap* yang hampir sama. NiO-RGO memiliki nilai $E_g = 2,28$ eV yang merupakan nilai energi semikonduktor pada umumnya.

Dilakukan analisis senyawa dengan karakterisasi XRD seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 3.5**



Gambar 3.5 Hasil Uji XRD

Proses pengubahan $NiSO_4 \cdot 6H_2O \rightarrow NiO$ menggunakan NH_4OH sebagai agent pengikat Ni memberikan persentase kadar NiO sebesar 76,2%. Adapun senyawa yang terkandung di dalamnya adalah NiO, NiO₂, NiSO₄·6H₂O. Hal ini menunjukkan masih terdapat NiSO₄ yang belum terdekomposisi menjadi NiO. Namun terdapat 5 peak NiO yang muncul dalam difraktogram dan memiliki nilai 2θ masing-masing; 37,203°, 43,230°, 62,869°, 75,338°, 79,390°. Hasil difraktogram NiO-RGO memiliki 5 puncak pada 2θ yang sama dengan NiO. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Li et al., 2018.

Sementara hasil GO menunjukkan 2 peak pada masing-masing 2θ ; 10,409°, 42,361° (Ain et al., 2019).

Pengubahan GO menjadi RGO bisa dilakukan dengan cara hidrotermal. Sintesis komposit GO-NiO sudah mereduksi GO menjadi rGO hal ini dapat terlihat pada peak 10,409° GO tidak lagi muncul pada sampel NiO-RGO. Senyawa NiO₂ dan NiSO₄ yang tampak dalam peak difraktogram juga ikut tereduksi menjadi NiO sebab proses pemanasan(hidrotermal) dapat mengubah NiO₂ dan NiSO₄ menjadi NiO.

Pengaruh Penambahan GO terhadap Karakter Butiran Sistem NiO-rGO

Dilakukan analisis menggunakan software qualx dan origin sehingga didapatkan nilai 2θ , intensitas, $d_{spacing}$, dan FWHM .

| Sampel | 2theta | intensitas | $d_{spacing}$ |
|---------|--------|------------|---------------|
| NiO | 37,203 | 542,81 | 2,408 |
| | 43,230 | 622,35 | 2,091 |
| | 62,869 | 439,70 | 1,477 |
| | 75,338 | 327,75 | 1,259 |
| | 79,390 | 313,02 | 1,206 |
| GO | 10,409 | 998,02 | 8,443 |
| | 42,361 | 266,79 | 2,129 |
| NiO-RGO | 37,247 | 794,51 | 2,412 |
| | 43,144 | 994,12 | 2,101 |
| | 82,821 | 637,04 | 1,479 |
| | 75,337 | 428,55 | 1,261 |
| | 79,067 | 404,16 | 1,210 |

Tabel 3.1 Data Hasil Uji XRD

Sementara untuk mengetahui ukuran kristalit, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan Debye-Scherrer. Persamaan ini menjelaskan hubungan ukuran kristal dengan lebar puncak pola difraksi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.1

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \dots \dots \dots (3.1)$$

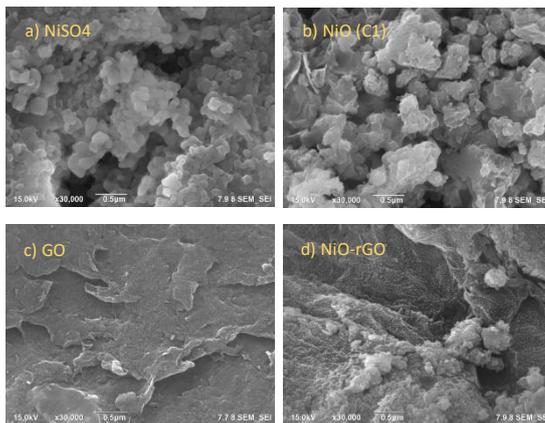
$K = 0,94$
 $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$
 $\beta = \text{FWHM}$
 $\theta = \text{sudut puncak peak}$

| | 2θ (°) | θ (°) | FWHM (rad) | D kristalin (Å) | D kristalin (nm) |
|---------|---------------|--------------|------------|-----------------|------------------|
| NiO | 43,23 | 21,615 | 2,627 | 31,86 | 3,19 |
| GO | 10,33 | 5,165 | 0,049 | 55,30 | 5,53 |
| NiO-RGO | 43,23 | 21,615 | 0,026 | 33,96 | 3,40 |

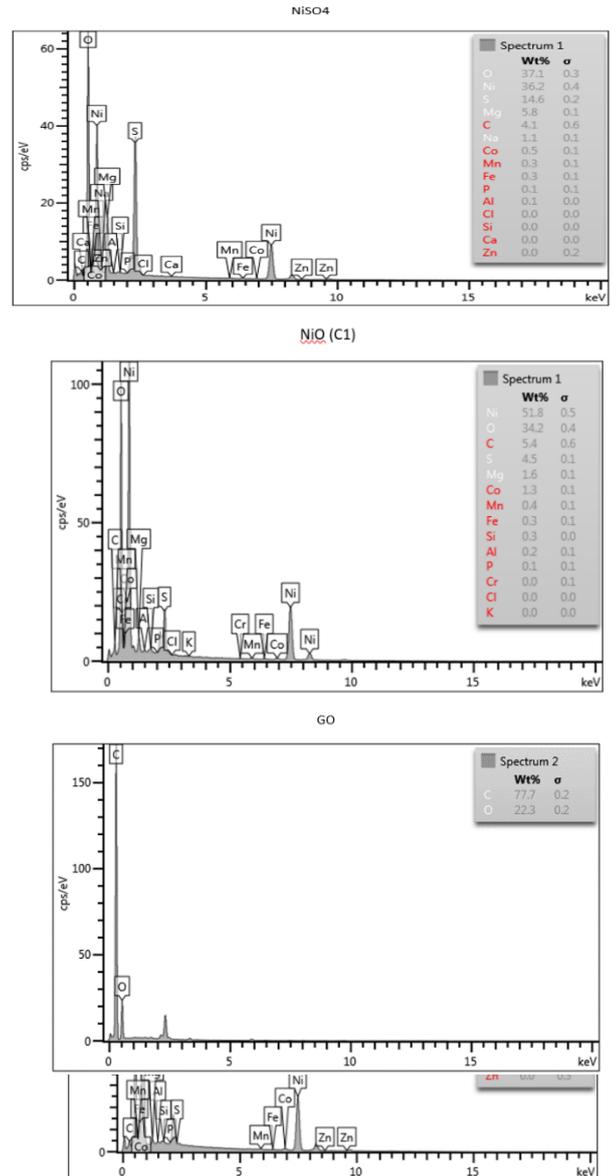
Tabel 3.2 Data Hasil Perhitungan Ukuran Kristalit

Terlihat pada **Tabel 3.2** bahwa penambahan GO memberikan ukuran kristal yang lebih besar pada komposit NiO-rGO. Sementara nilai FWHM berbanding terbalik dengan ukuran kristal nya. FWHM (*Full Width at Half Maximum*) merupakan lebar peak dari setengah tinggi puncak. Semakin tinggi intensitas maka nilai FWHM semakin kecil. Semakin kecil nilai FWHM maka ukuran kristal semakin besar. Puncak difraksi yang tinggi dan tajam (intensitas yang tinggi) menunjukkan kristalinitas yang baik. Kristalinitas merupakan tingkat keteraturan susunan atom-atom/ion-ion yang menyusun padatan kristal. Bila ukuran kristal semakin besar maka mobilitas ion semakin menurun dan mengakibatkan konduktivitas rendah^[4].

Sementara bentuk butiram ditunjukkan pada **Gambar 3.6** dan kadar unsur terlihat pada **Gambar 3.7**



Gambar 3.6 Morfologi (a) NiSO₄, (b) NiO C1, (c), (d) NiO-rGO



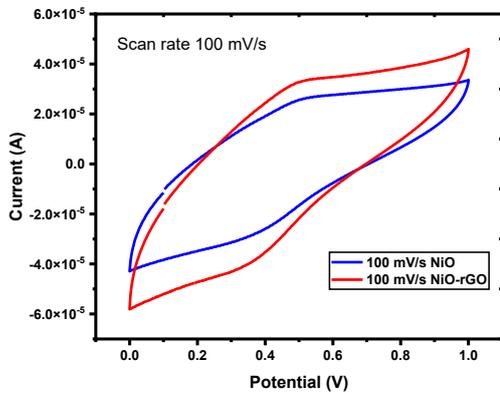
Gambar 3.7 Hasil Uji EDX

Sifat Elektrokimia Sistem NiO-rGO

Dilakukan uji CV dan EIS untuk mengetahui sifat elektrokimia dari nanokomposit NiO-rGO dibandingkan dengan oksida NiO.

Grafik CV terdiri dari 2 puncak pada nilai positif dan negatif. Kedua puncak tersebut merpresentasikan proses redoks atau reduksi dan oksidasi. Puncak pada nilai positif merupakan proses oksidasi sementara puncak pada nilai negatif merupakan proses reduksi. Interkalasi terjadi pada saat pemakaian (*discharging*) dimana ion bergerak dari anoda ke katoda atau disebut puncak reduksi. Sementara deinterkalasi terjadi pada saat pengisian (*charging*) dimana ion bergerak dari katoda ke anoda atau disebut puncak oksidasi.

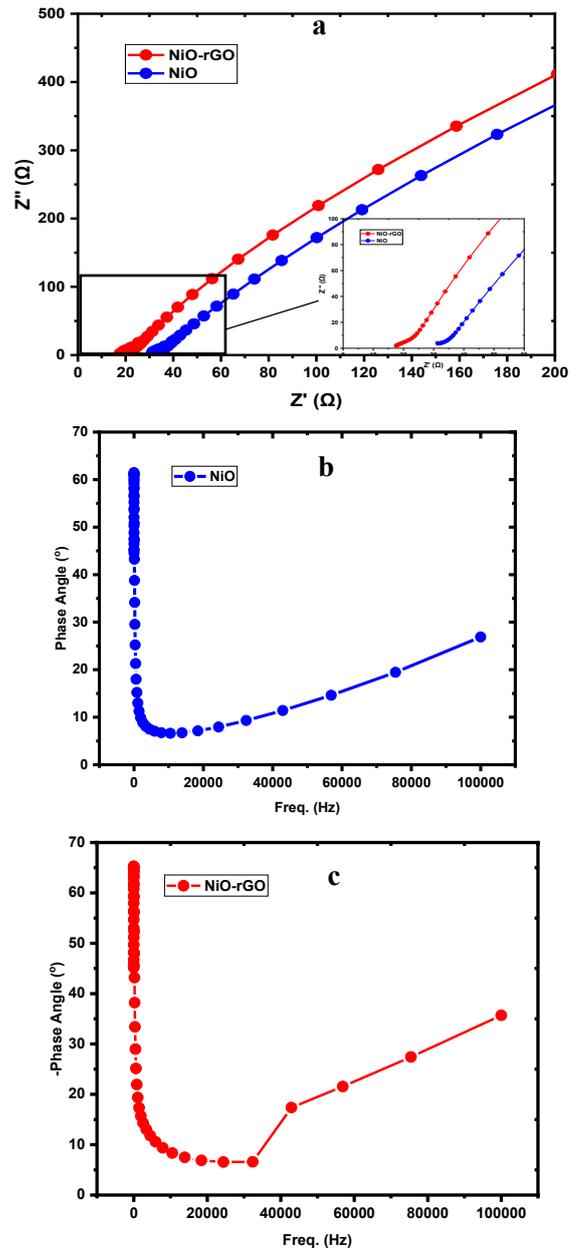
Selisih tegangan reduksi-oksidasi merupakan nilai tegangan polarisasi yang dimana merepresentasikan kemudahan ion dalam berinterkalasi. Semakin rendah nilai tegangan polarisasinya maka semakin reversible dan semakin tinggi nilai kapasitansinya. Dilihat dari grafiknya, kurva yang terbentuk cenderung *smooth* dan membentuk pola yang sama serta memiliki 2 puncak redoks, ini menjelaskan bahwa nilai impedansinya kecil, karena jika impedansinya besar kurva tidak akan terbentuk^[5].



Gambar 3.8 Hasil Uji CV

Pengujian EIS ditunjukkan pada Gambar 3.9. Bentuk *semicircle* terlihat hanya saja sangat kecil. *Semicircle* menunjukkan hambatan kontak permukaan dan transfer muatan, jika *semicircle* nya besar maka hambatannya pun besar dan sebaliknya. Sementara garis lurus keatas menunjukkan adanya difusi ion litium kedalam material elektroda yang disebut dengan *Warburg Impedance*. Semakin tegak garisnya maka nilai koefisien difusinya semakin besar dan ion dapat berdifusi dengan lebih baik^[6]. Pada gambar terlihat bentuk *semicircle* sangat kecil ini mengindikasikan

konduktivitas yang baik dari kedua bahan tersebut. Dan jika NiO-rGO dibandingkan dengan NiO maka komposit NiO-rGO memiliki konduktivitas yang lebih baik dibandingkan NiO karena terlihat kurva memiliki garis lurus yang lebih tegak sehingga nilai koefisien difusi lebih besar dan menghasilkan nilai hambatan yang lebih kecil. Dalam plot frekuensi vs sudut fasa, nilai sudut fasa 90° pada frekuensi rendah menunjukkan perilaku kapasitif ideal elektroda dan sudut fasa 0 menunjukkan perilaku resistansi murni^[7].



Gambar 3.9 Hasil Uji EIS (a) Nyquist plot, (b) phase angle vs frequency dari NiO, (c) phase angle vs frequency dari NiO-rGO.

IV. KESIMPULAN

1. Kadar NiO dalam NiSO₄ berhasil ditingkatkan sebesar 76,2 % dengan penambahan NH₄OH sebanyak 0,5 M.
2. NiO-rGO memiliki panjang gelombang sebesar 312nm dan energi *bandgap* sebesar 2,28 eV.
3. Ukuran Kristalit komposit NiO sebesar 3,19 nm dan GO 5,53nm sehingga menghasilkan ukuran komposit NiO-rGO yakni sebesar 3,40 nm.
4. NiO memiliki hambatan (Rs) sebesar 37,5 ohm sementara komposit NiO-rGO sebesar 25,313 ohm. Hal ini menunjukkan bahwa konduktivitas komposit lebih tinggi dari NiO.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesia Ministry of Energy and Mineral Resources. (2020). Peluang Investasi Nikel Indonesia. In *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia* (pp. 1–40).
- [2] Yuan, B., Li, J., Xia, M., Zhang, Y., Lei, R., Zhao, P., & Li, X. (2020). Investigation into electrochemical performance of NiO/graphene composite nanofibers synthesized by a simple method as anode materials for high-performance lithium ion batteries. *Materials Research Express*, 7(11), 0–13.
- [3] Luo, R. P., Lyu, W. Q., Wen, K. C., & He, W. D. (2018). Overview of graphene as anode in lithium-ion batteries. *Journal of Electronic Science and Technology*, 16(1), 57–68
- [4] Indriati, M., Nuryanto, R., & Suyati, L. (2013). Pengaruh Suhu Kalsinasi terhadap Konduktivitas dan Kristalinitas Elektrolit Padat NaMn_{2-x}MgxO₄. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 16(2), 46–49.
- [5] Romaida Samosir, L. (2019). *Analisis Sifat Elektrokimia Dan Karakteristik PvdF-Hfp/Libob Dan PvdF-Hfp/Litfsi Sebagai Elektrolit Padat Pada Baterai Litium Coin Cell*
- [6] Priyono, S., Aulia Dhika, M., Sebayang, K., Subhan, A., & Prihandoko, D. B. (2016). PEMBUATAN ANODA Li₄Ti₅O₁₂ DAN STUDI PENGARUH KETEBALAN ELEKTRODA TERHADAP PERFORMA ELEKTROKIMIA BATERAI ION LITHIUM. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(4), 146–152.
- [7] Chandel, M., Makkar, P., & Ghosh, N. N. (2019). Ag-Ni Nanoparticle Anchored Reduced Graphene Oxide Nanocomposite as Advanced Electrode Material for Supercapacitor Application. *ACS Applied Electronic Materials*, 1(7), 1215–1224.