

**SINTESIS MATERIAL KOMPOSIT ZnO-GRAFENA OKSIDA
TEREDUKSI (RGO) DARI TONGKOL JAGUNG (*Zea Mays Ssp*)
SEBAGAI KANDIDAT ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

*SYNTHESIS OF ZnO-REDUCED GRAPHENE OXIDE (RGO)
COMPOSITE MATERIAL FROM CORNCOB (*Zea Mays Ssp*) AS
CANDIDATE FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODES*

EKA ANGGRIANI ODJA

H012201008



**PROGRAM PASCASARJANA KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**SINTESIS MATERIAL KOMPOSIT ZnO-GRAFENA OKSIDA
TEREDUKSI (RGO) DARI TONGKOL JAGUNG (*Zea Mays Ssp*)
SEBAGAI KANDIDAT ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Kimia

Disusun dan diajukan oleh :

EKA ANGGRIANI ODJA
H012201008

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

**SINTESIS MATERIAL KOMPOSIT ZnO-GRAFENA OKSIDA
TEREDUKSI (RGO) DARI TONGKOL JAGUNG (*Zea Mays Ssp*)
SEBAGAI KANDIDAT ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

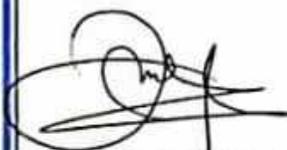
EKA ANGGRIANI ODJA

NIM: H012201008

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Magister Kimia Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal 8 Mei 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

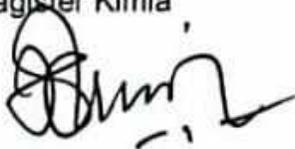


Prof. Dr. Indah Raya, M.Si
NIP. 196411251990022001

Pembimbing Pendamping



Dr. Maming, M.Si
NIP. 196312311989031001

Ketua Program Studi
Magister Kimia

Prof. Dr. Hasnah Natsir, M.Si
NIP. 196203201987112001

Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Amiruddin, M.St
NIP. 197205151997021002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Eka Anggriani Odja

NIM : H012201008

Program Studi : Magister Kimia

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul "Sintesis Material Komposit ZnO-Grafena Oksida Tereduksi (RGO) dari Tongkol Jagung (*Zea Mays Ssp*) sebagai Kandidat Elektroda Superkapasitor" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Indah Raya, M.Si sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Maming, M.Si sebagai Pembimbing Pertama). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di *Communication in Science and Technology (CST)* sebagai artikel dengan judul "*Characterization and Electrochemical Properties Analysis of Reduced Graphene Oxide from Corn Cob Carbon as an Electrode Candidate: Synthesized using Modified Hummers Method*".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 8 Mei 2024



Eka Anggriani Odja
NIM H012201008

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Tuhan yang senantiasa telah melimpahkan rahmat dan rezeki, serta ilmu pengetahuan yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Ibu Prof. Dr. Indah Raya, M.Si dan Bapak Dr. Maming, M.Si selaku pembimbing utama dan pertama.

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Ibu Prof. Dr. Hasnah Natsir, M.Si selaku Ketua Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Hasanuddin, kepada Bapak Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si, Bapak Dr. Abdul Karim, M.Si dan Bapak Dr. Djabal Nur Basir, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu dan saran serta masukan dalam penyusunan proposal hingga tesis penulis. Kepada Ibu Tini, Pak Iqbal, Kak Fibi, Kak Anti, dan Kak Linda saya mengucapkan terima kasih atas kesempatan untuk menggunakan fasilitas dan peralatan laboratorium selama proses penelitian.

Akhirnya, kepada kedua orang tua saya Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah memberikan dukungan moril dan materil serta doa tulus yang mengiringi perjalanan penulis dalam menuntut ilmu. Adikku yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan mendoakan penulis selama studi, serta seluruh keluarga, terimakasih banyak atas dukungan dan doanya kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Penghargaan yang sebesar juga saya sampaikan kepada pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan do'a kepada penulis.

Penulis,

Eka Anggriani Odja

ABSTRAK

EKA ANGGRIANI ODJA. **“Sintesis Material Komposit ZnO-Grafena Oksida Tereduksi (RGO) dari Tongkol Jagung (*Zea Mays Ssp*) sebagai Kandidat Elektroda Superkapasitor”** (dibimbing oleh Indah Raya dan Maming).

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi material RGO dan komposit ZnO-RGO, sebagai bahan elektroda untuk aplikasi superkapasitor. Material RGO disintesis dari tongkol jagung melalui beberapa tahapan yaitu karbonisasi, oksidasi, dan reduksi. Sintesis RGO menggunakan metode modifikasi hummer's, dan direduksi menggunakan agen pereduksi asam askorbat. Komposit ZnO-RGO disintesis dengan menggunakan metode sederhana dengan bantuan ultrasonik. RGO dan komposit ZnO-RGO kemudian dikarakterisasi dengan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Pengukuran kapasitansi spesifik menggunakan metode siklik voltametri, elektroda RGO dan komposit ZnO-RGO menunjukkan kapasitansi spesifik sebesar 28,4673 F/g dan 214,1189 F/g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan ZnO yang tersebar secara homogen pada permukaan RGO menunjukkan peningkatan kapasitansi spesifik.

Kata kunci: grafena oksida tereduksi (RGO), komposit ZnO-RGO, superkapasitor

ABSTRACT

EKA ANGGRIANI ODJA. **Synthesis of ZnO-Reduced Graphene Oxide (RGO) Composite Material from Corncob (Zea Mays Ssp) as Candidate for Supercapacitor Electrode** (supervised by Indah Raya and Maming).

This study aims to synthesize and characterize of RGO materials and ZnO-RGO composites, as electrode materials for supercapacitor applications. RGO material is synthesized from corncob through several stages, namely carbonization, oxidation and reduction. Synthesis of RGO uses the modified Hummer's method, and is reduced using the reducing agent ascorbic acid. The ZnO-RGO composite was synthesized using a simple method with ultrasonic assistance. RGO and ZnO-RGO composites were then characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Specific capacitance measurements using the cyclic voltammetry method, RGO electrodes and ZnO-RGO composites showed specific capacitances of 28.4673 F/g and 214.1189 F/g. The research results show that the presence of ZnO distributed homogeneously on the RGO surface shows an increase in specific capacitance.

Keywords: reduced graphene oxide (RGO), ZnO-RGO composite, supercapacitor

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Superkapasitor	5
2.2 Grafena.....	7
2.3 Grafena Oksida Tereduksi	10
2.4 Seng Oksida	11
2.5 Komposit	12
2.6 Tongkol Jagung	13

2.7 Karakterisasi	14
2.7.1 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	14
2.7.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	16
2.7.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	19
2.8 Siklik Voltametri	20
2.9 Kerangka Pikir	21
2.10 Hipotesis	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.2.1 Alat	24
3.2.2 Bahan	24
3.3 Prosedur Kerja Penelitian	25
3.3.1 Preparasi Sampel	25
3.3.2 Proses Karbonisasi	25
3.3.3 Sintesis GO	25
3.3.4 Sintesis RGO	26
3.3.5 Sintesis Komposit ZnO-RGO	26
3.3.6 Pembuatan Elektroda	26
3.3.7 Pengukuran Elektrokimia	27
3.4 Teknik Analisis Data	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Sintesis GO	28
4.2 Sintesis RGO	29
4.3 Sintesis Komposit ZnO-RGO	30

4.4 Karakterisasi	31
4.4.1 Karakterisasi menggunakan FTIR	31
4.4.2 Karakterisasi menggunakan XRD	33
4.4.3 Karakterisasi menggunakan SEM EDS	36
4.5 Pengukuran Kapasitansi Spesifik	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

1. Karakteristik ZnO	12
2. Klasifikasi Tanaman Jagung	13
3. Hasil analisis FTIR karbon, GO, RGO, ZnO-RGO, ZnO	33
4. Hasil analisis EDS karbon, GO, RGO, dan ZnO-RGO	39
5. Hasil analisis Kapasitansi Spesifik	42

DAFTAR GAMBAR

1. Plot <i>Ragone</i> berbagai Perangkat Penyimpanan Energi	5
2. Skema Penyimpanan Energi pada Supercapacitor	6
3. Struktur Grafena	8
4. Struktur Grafena Oksida	9
5. Proses oksidasi grafit menjadi RGO	11
6. Limbah Tongkol Jagung	14
7. Spektrum FTIR pada grafit, GO, dan RGO	15
8. Spektrum FTIR komposit ZnO-RGO	16
9. Difraktogram XRD grafit, GO, dan RGO	17
10. Difraktogram XRD komposit ZnO-rGO	18
11. Morfologi material grafit, GO, RGO dan ZnO-RGO	19
12. Kerangka Pikir Penelitian	22
13. Proses Oksidasi	29
14. Proses reduksi GO menjadi RGO	29
15. Komposit ZnO-RGO	30
16. Spektrum FTIR (a) karbon, (b) GO, dan (c) RGO	31
17. Spektrum FTIR (a) komposit ZnO-RGO dan (b) ZnO	32
18. Difraktogram (a) karbon, dan (b) RGO	34
19. Difraktogram (a) komposit ZnO-RGO dan (b) ZnO	35
20. Hasil SEM (a) karbon, (b) GO, dan (c) RGO	36
21. Hasil SEM (a) ZnO dan (b) ZnO-RGO	37
22. Hasil Mapping EDS (a) karbon, (b) GO, (c) RGO dan (d) ZnO-RGO.....	38
23. Hasil Pengukuran Siklik Voltametri	41

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Preparasi Sampel	55
2. Proses Karbonisasi	55
3. Sintesis GO	56
4. Sintesis RGO	57
5. Komposit ZnO-RGO	57
6. Pembuatan Elektroda	58
7. Pengukuran Elektrokimia	58
8. Dokumentasi Penelitian	59
9. Perhitungan Jarak Lapisan RGO	63
10. Penentuan Kapasitansi Spesifik.....	64
11. Penentuan Energi Spesifik.....	66
12. Penentuan Daya Spesifik	68
13. Hasil Analisis FTIR.....	71
14. Hasil Analisis XRD	76
15. Hasil Analisis SEM.....	80
16. Hasil Analisis EDS	82

DAFTAR SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
GO	Grafena Oksida
RGO	Grafena Oksida Tereduksi
FTIR	<i>Fourier Transfor Infra Red</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
EDS	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan penting untuk menunjang kehidupan manusia terutama dalam penggunaan alat-alat elektronik. Pada era digital saat ini, berbagai elektronik menggunakan baterai sebagai komponen utama penyimpan energi listrik. Namun, baterai memiliki kelemahan seperti kapasitas penyimpanan energi yang rendah, kecepatan pengisian (*charging*) yang lama dan densitas daya yang kecil sehingga menyebabkan baterai kurang efisien digunakan dalam jangka waktu yang lama. Upaya pengembangan teknologi penyimpanan energi yang berkembang dapat dilakukan untuk melengkapi berbagai kelemahan baterai tersebut yaitu dengan menggunakan teknologi superkapasitor.

Superkapasitor telah menarik perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini karena potensinya sebagai salah satu kandidat material dalam aplikasi perangkat penyimpanan energi (Otun dkk., 2022). Perangkat superkapasitor adalah salah satu perangkat penyimpanan energi listrik yang memiliki kapasitansi spesifiknya yang tinggi, waktu pengisian daya yang relatif cepat, dan *lifetime* yang lebih lama dibandingkan dengan kapasitor dan baterai (Jayachandiran dkk., 2018). Umumnya pada pembuatan elektroda superkapasitor dibuat dengan menggunakan bahan berbasis karbon seperti karbon aktif, tabung nano karbon, dan material grafena (Rattanaveeranon dan Jiamwattanapong, 2020).

Grafena merupakan material yang terdiri atas karbon hibridisasi sp^2 dan tersusun secara heksagonal dalam struktur dua dimensi (Ding, dkk., 2018). Struktur heksagonal pada grafena menyebabkan material ini memiliki karakteristik stabilitas termal yang baik, fleksibilitas, dan konduktivitas yang sangat baik (Osman, dkk., 2021). Beberapa material yang termasuk turunan grafena antara lain grafena oksida (GO), dan grafena oksida tereduksi (RGO) (Chauhan, dkk., 2020).

RGO merupakan hasil reduksi dengan mengurangi kandungan oksigen pada GO (Nurdiansah, dkk., 2019), sehingga diperoleh RGO yang memiliki sifat konduktivitas yang mendekati grafena murni. Material RGO dapat dibuat dari limbah biomassa yang mengandung komponen utama berbasis karbon seperti batang padi (Rahayu, dkk., 2017), bambu betung (Amaliyah, dkk., 2018), pelepah sawit (Thebora, dkk., 2019), tempurung kelapa (Honorisal, dkk., 2020) dan tongkol jagung.

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal, dan masih terdapat potensi yang sangat besar, sehingga perlu adanya solusi untuk memanfaatkan dan meningkatkan nilai ekonomis tongkol jagung (Christica & Julia 2018). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) produksi jagung di Indonesia mencapai 20 juta ton/tahun (Badan Pusat Statistik, 2023). Tongkol jagung memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi, yaitu selulosa (44%), hemiselulosa (32%) dan lignin (19%) (Shao, dkk., 2020) yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan pembuat RGO.

Sifat konduktivitas dari RGO dapat ditingkatkan dengan mengkompositkan dengan bahan lain seperti logam oksida (Ishaq, dkk., 2019). Beberapa oksida logam transisi lainnya nikel oksida (NiO), mangan oksida (MnO_2), tembaga oksida (CuO), dan seng oksida (ZnO), telah dikompositkan dengan bahan berbasis karbon sebagai elektroda prospektif untuk aplikasi superkapasitor (Majeed, dkk., 2015). Rutenium oksida (RuO_2) adalah salah satu bahan elektroda, yang banyak digunakan sebagai bahan elektroda aktif untuk superkapasitor karena menunjukkan kapasitansi spesifik yang tinggi (Han, dkk., 2017), namun RuO_2 memiliki kelemahan seperti toksisitas dan biaya tinggi yang membatasi penerapannya pada elektroda superkapasitor komersial (Wang, dkk., 2017).

ZnO merupakan oksida logam dengan celah pita yang lebar, kepadatan energi spesifik, konduktivitas ionik yang baik, serta daya dan kapasitansi yang relatif tinggi (Luo, dkk., 2017). Selain itu, ZnO merupakan bahan elektroda yang cukup menjanjikan karena kepadatan energi yang tinggi, dan aktivitas elektrokimia yang baik (Otun dkk., 2022; Alver dkk., 2016), biayanya yang rendah, tidak beracun, dan ramah lingkungan (Aryanto, dkk., 2020). Hal ini menjadikan ZnO berpotensi menjadi bahan superkapasitor pengganti RuO_2 . Hasil yang diperoleh menyatakan nilai kapasitansi meningkat dengan adanya penambahan oksida logam (Sugianto dkk.,

2023). ZnO dapat digunakan pada berbagai aplikasi diantaranya sebagai sensor (Shetti, dkk., 2019), fotokatalis (Krey, dkk., 2021), sel surya (Mahmood, dkk., 2018) dan superkapasitor (Wang, dkk., 2018).

Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan komposit ZnO-RGO memiliki karakteristik yang baik sebagai elektroda superkapasitor. Penelitian yang dilakukan oleh Sreejesh dkk., (2017), menguraikan nilai kapasitansi spesifik besar 635 F/g untuk nanokomposit ZnO-RGO. Jayachandiran dkk., (2018) juga mengkompositkan ZnO-RGO untuk aplikasinya pada superkapasitor dan memiliki kapasitansi spesifik sebesar 312 F/g. Hal serupa juga dilakukan Chaudhary dkk., (2019), dengan mengkompositkan ZnO-RGO menghasilkan kapasitansi spesifik, rapat energi, dan rapat daya nanokomposit masing-masing adalah 472 F/g, 2,62 Wh/kg, dan 32,24 F/g.

Berdasarkan uraian diatas, maka telah dilakukan penelitian mengenai sintesis RGO dari karbon tongkol jagung dan dikompositkan dengan logam oksida ZnO, yang selanjutnya diaplikasikan sebagai elektroda superkapasitor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana karakteristik RGO hasil sintesis dari karbon tongkol jagung (*Zea mays ssp*)?
2. bagaimana karakteristik komposit ZnO-RGO?
3. berapa kapasitansi RGO dari karbon tongkol jagung (*Zea mays ssp*)?
4. berapa kapasitansi komposit ZnO-RGO sebagai kandidat superkapasitor?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dengan permasalahan di atas, maka yang menjadi tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. mengetahui karakteristik RGO dari karbon tongkol jagung (*Zea mays ssp*),
2. mengetahui karakteristik komposit ZnO-RGO,

3. menentukan kapasitansi RGO dari karbon tongkol jagung (*Zea mays ssp*),
4. menentukan kapasitansi komposit ZnO-RGO sebagai kandidat superkapasitor.

1.4 Manfaat Penelitian

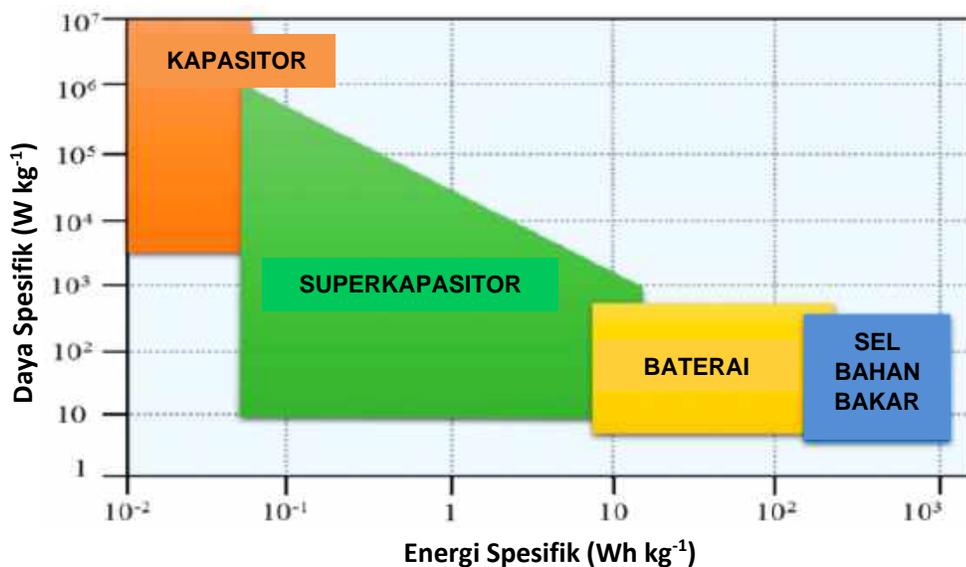
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang karbon dari tongkol jagung yang berpotensi dijadikan material RGO dan untuk mengetahui karakteristik RGO, serta untuk mengetahui hasil komposit antar ZnO dengan RGO yang nantinya dapat dijadikan sebagai elektroda pada superkapasitor, sehingga diharapkan dapat menjadi bahan rujukan bagi peneliti selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Superkapasitor

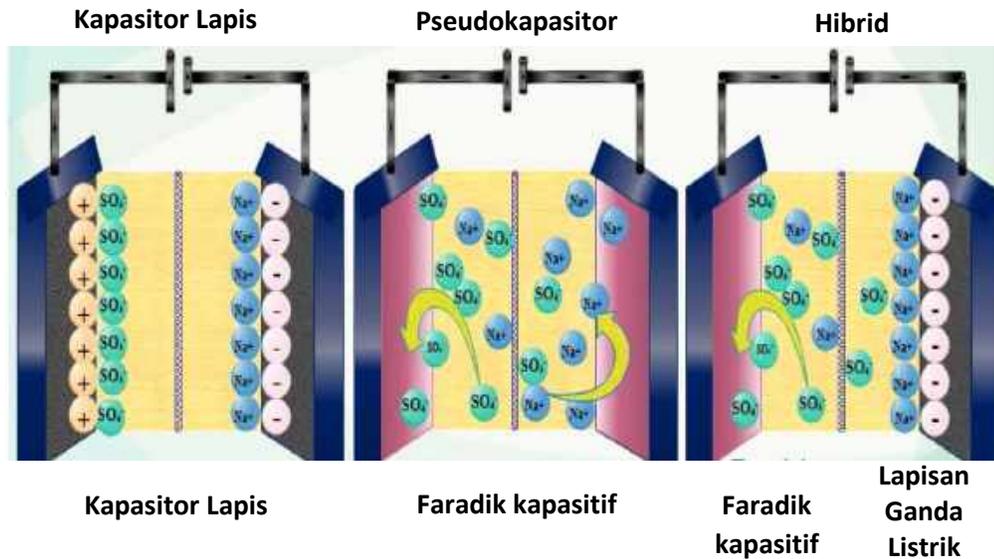
Superkapasitor adalah perangkat penyimpanan energi listrik dengan kerapatan daya yang tinggi dan tahan lama. Perangkat tersebut memanfaatkan permukaan elektroda untuk menyimpan muatan listrik dan untuk mengadsorpsi ion elektrolit sehingga dapat menyimpan daya listrik (Pandolfo & Hollenkamp, 2006).



Gambar 1. Plot *Ragone* berbagai perangkat penyimpanan energi (Kulandaivalu, S., 2019)

Perbandingan densitas daya dan energi spesifik dari beberapa perangkat penyimpanan energi dapat dilihat pada Gambar 1. Sel bahan bakar memiliki kerapatan energi yang tinggi namun memiliki densitas daya yang rendah. Baterai memiliki kerapatan energi yang lebih rendah dibandingkan dengan sel bahan bakar tetapi memiliki densitas daya sedikit lebih tinggi dari sel bahan bakar. Superkapasitor memiliki densitas daya spesifik tinggi dibandingkan dengan sel bahan bakar dan

baterai (Ghorbanzadeh, dkk., 2019). Mekanisme penyimpanan energi pada superkapasitor dibagi menjadi 3 jenis yaitu: Kapasitor lapisan ganda elektrokimia (EDLC), pseudokapasitor, dan hibrid superkapasitor. Skema penyimpanan energi pada superkapasitor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema penyimpanan energi pada superkapasitor (Priya, dkk., 2023).

EDLC dapat menyimpan muatan secara elektrostatis atau melalui cara non Faradik tanpa transfer muatan. EDLC dibuat menggunakan dua bahan berbasis karbon untuk elektroda, elektrolit dan pemisah. Perangkat EDLC memanfaatkan permukaan elektroda dan mengadsorpsi ion elektrolit untuk menyimpan muatan listrik (Zhang & Zhao, 2009). EDLC memiliki nilai kapasitansi yang dipengaruhi oleh luas permukaan elektroda, karena tidak ada reaksi kimia yang terjadi pada proses pengisian dan pelepasan ion. Keunggulan dari EDLC memiliki densitas daya yang lebih tinggi dan stabilitas siklus yang baik namun nilai kapasitansi lebih rendah dibanding pseudokapasitor (Zhai, dkk., 2022).

Berbeda dengan EDLC, Pseudokapasitor menyimpan energi bukan dengan mekanisme elektrostatis, melainkan penyimpanan energi terjadi melalui proses Faradik yang melibatkan transfer muatan secara elektro-statis antara elektroda dan elektrolit (Augustyn, dkk., 2014; Shao, dkk., 2018). Proses ini melibatkan perjalanan muatan melintasi lapisan ganda, menghasilkan arus faradik yang melewati sel

superkapasitor. Proses Faradik ini menyebabkan pseudokapasitor memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi dari pada EDLC. Namun pseudokapasitor mengalami degradasi material elektroda yang disebabkan oleh reaksi faradik, yang memperpendek siklus hidupnya. Bahan yang paling umum digunakan pada pseudokapasitor adalah oksida logam dan polimer karena reaksi faradiknya yang cepat, dan memiliki siklus hidup yang relatif panjang (Gupta, dkk., 2020).

Superkapasitor asimetrik atau hibrid superkapasitor merupakan kapasitor yang menggabungkan pseudokapasitor dan EDLC. Hibrid superkapasitor diharapkan dapat meningkatkan tegangan sel dengan kombinasi elektroda yang lebih baik dan dapat meningkatkan kepadatan energi dan daya terhadap superkapasitor (Gupta, dkk., 2020). Jenis superkapasitor ini yang terdiri atas elektroda seperti oksida logam, karbon, dan polimer penghantar (Li, dkk., 2016). Sifat dan kinerja sistem penyimpanan energi, dapat ditingkatkan dengan mengkombinasikan bahan konduktif listrik dan elektroaktif. Komposit elektroda hibrida dari karbon konduktif dan oksida elektroaktif telah digunakan dalam baterai Li-ion yang dapat diisi ulang (Ait Salah, 2006). Kinerja keseluruhan dari superkapasitor ditentukan oleh elektroda dan bahan elektrolit. Larutan elektrolit sebagai salah satu komponen penting dari superkapasitor karena tegangan dan hambatan dari perangkat superkapasitor bergantung pada elektrolit (Pandia, dkk., 2021).

2.2 Grafena

Grafena merupakan suatu alotrop karbon yang secara eksperimental ditemukan pada tahun 2004 oleh Andre Geim dan Kostya Novoselov peneliti dari manchester university. Material grafena adalah lembaran dari satu lapisan atom karbon hibridisasi sp^2 , yang tersusun secara heksagonal dalam struktur 2D. Lembaran grafena diikat oleh ikatan van der waals dengan jarak antar lembarnya 0,335 nm (Kamel, dkk., 2019). Struktur kimia grafena dapat dilihat pada Gambar 3.

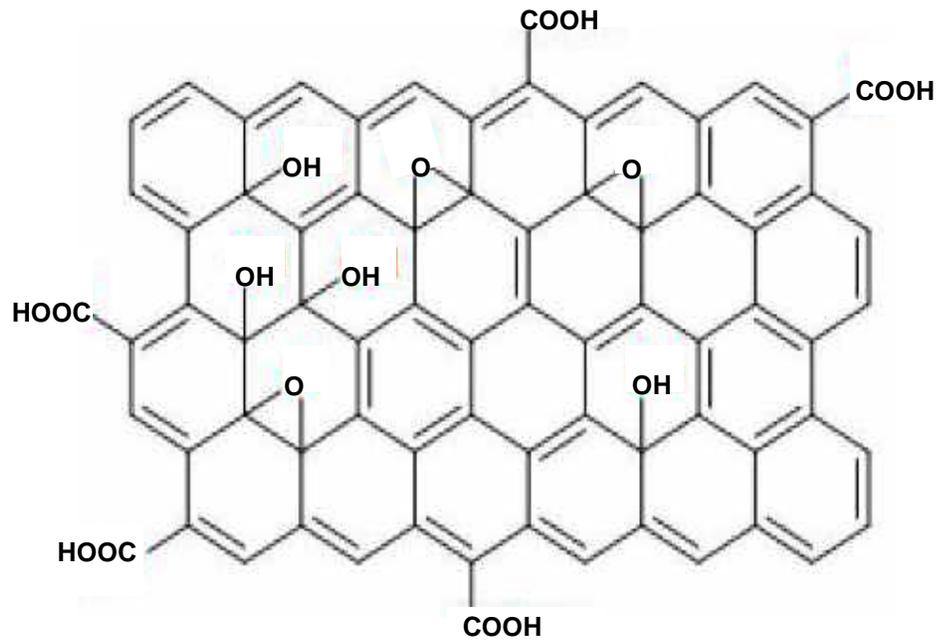
Grafena telah menarik minat yang kuat dalam banyak bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Hingga saat ini, grafena telah banyak diaplikasikan secara meluas pada berbagai bidang, seperti baterai, sensor, superkapasitor, dan sejumlah aplikasi lainnya (Tiwari, dkk., 2020). Hal ini dipengaruhi oleh sifat-sifat luar

biasa yang dimiliki oleh grafena seperti memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi (3.000 W/m.K), memiliki ketebalan super tipis dan struktur yang fleksibel, stabil secara kimia dan termal, memiliki tingkat kekerasan yang tinggi (130 GPa) (Al Hassan, dkk., 2019). Namun grafena memiliki beberapa kelemahan salah satunya adalah proses sintesis grafena murni yang cukup sulit untuk mengontrol ukuran partikel selama proses sintesis (Oliveira, dkk., 2018), dan juga cukup sulit untuk membuat komposit lembaran grafena dengan polimer konduktif atau oksida logam (Chasanah, dkk., 2022). Upaya untuk mengatasi kelemahan dari sintesis grafena murni dilakukan sintesis turunan dari grafena yaitu grafena oksida (GO) dan grafena oksida tereduksi (RGO).



Gambar 3. Struktur Grafena (Naraprawatphong, dkk., 2023)

Material GO merupakan lembaran grafena dan memiliki struktur yang mirip dengan grafena yang terikat dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen dan merupakan bagian dari turunan material karbon (Thangavel & Venugopal, 2014). GO secara sederhana diasumsikan memiliki cincin heksagonal berbasis karbon dengan hibridisasi atom karbon sp^2 dan sp^3 yang mengandung gugus fungsi adalah epoksi, karbonil, hidroksil dan karboksil (Grace & Malar, 2020). Struktur kimia GO dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Grafena Oksida (Cahyana, dkk., 2019)

Sintesis GO dilakukan dengan beberapa metode diantaranya deposisi uap kimia (CVD) sebagai salah satu teknik efektif untuk pembuatan grafena dengan memperkuat area monolayer atau lapisan grafena yang luas. Namun, teknik CVD memerlukan waktu lebih lama, menggunakan gas dengan kemurnian tinggi dalam jumlah besar, dan memerlukan energi yang tinggi (Chasanah, dkk., 2022), sehingga GO disintesis menggunakan teknik eksfoliasi secara kimia. Teknik ini menggabungkan oksidasi grafit yang diikuti dengan proses reduksi untuk menghasilkan lembaran grafena (Alshamkhani, dkk., 2021). Metode oksidasi grafit lainnya telah dilaporkan oleh Staudenmaier (1898), dengan tetap menekankan penggunaan asam sulfat (H_2SO_4) dan kalium klorat ($KClO_4$) dalam jumlah tinggi. Sementara itu, Hummers dan Offeman (1958), telah mengusulkan penggunaan kalium permanganat ($KMnO_4$) dan asam sulfat sebagai reagen. H_2SO_4 bertindak sebagai zat interkalasi yang menstabilkan oksidan dan pelarut untuk mengangkut oksidan ke dalam lapisan grafit (Zhu, dkk., 2022).

Proses sonikasi pada GO merupakan salah satu proses yang penting karena pada tahap ini terjadi pelupasan beberapa lembaran dari grafit oksida sehingga

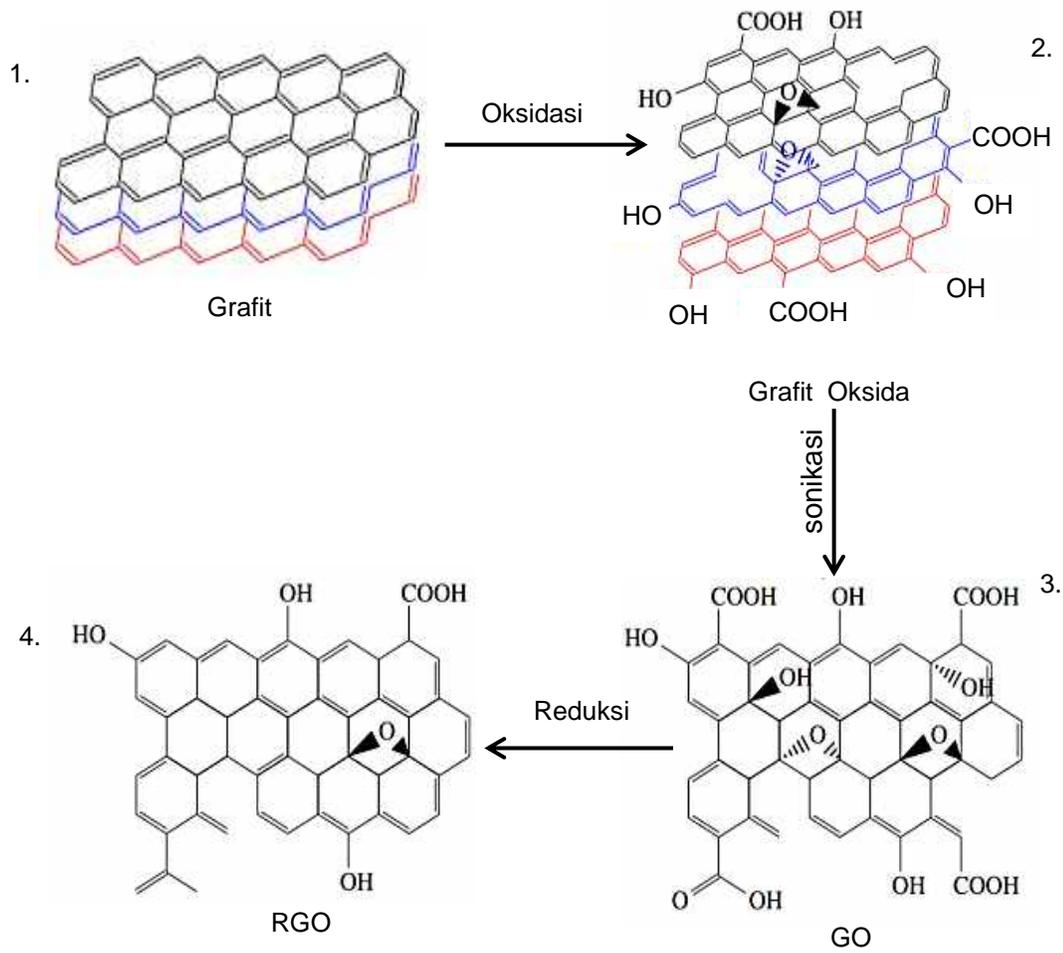
menjadi lebih tipis dan berkurang jumlah lembarannya dan menghasilkan GO. Menurut Ling, dkk., (2017) proses ultrasonikasi mempengaruhi jumlah lembaran yang dihasilkan menjadi semakin tipis sehingga proses exfoliasinya lebih efektif. Pada penelitian Baig, dkk (2018) menambahkan bahwa proses ultrasonikasi dapat membuat molekul satu dengan molekul lain terdapat gaya gesek yang menyebabkan permukaan semakin tipis.

2.3 Grafena Oksida Tereduksi

Grafena oksida tereduksi merupakan hasil reduksi dari GO, reduksi idealnya menyebabkan semua gugus fungsi dihilangkan dan sepenuhnya mengembalikan struktur grafena heksagonal, yang hanya mengandung ikatan karbon-karbon hibridisasi sp^2 , proses oksidasi grafit menjadi RGO dapat dilihat pada Gambar 5 (Cronqvist, 2019). Material RGO memiliki sifat yang mendekati sifat asli dari grafena, ketika berkurangnya gugus yang mengandung oksigen dengan metode reduksi kimia, elektrokimia atau termal, sehingga diperoleh RGO yang memiliki konduktivitas termal yang baik (Shahdeoa, dkk., 2020). Beberapa cara untuk mereduksi GO diantaranya reduksi termal (Syed, dkk., 2017), reduksi kimia (Fernandez-Merino, dkk., 2010), reduksi solvotermal (Fan, dkk., 2008), iradiasi gelombang mikro (William, dkk., 2008), dan reduksi hidrotermal (Shen, dkk., 2011). Setiap teknik reduksi mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Dua cara paling umum untuk mereduksi GO adalah reduksi kimia dan termal (Nam, dkk., 2017). Reduksi termal seringkali memerlukan suhu tinggi dan RGO yang dihasilkan dapat menjadi material yang rapuh (Su, dkk., 2014).

Reduksi kimia melibatkan zat pereduksi diantaranya hidrogen sulfida (H_2S) yang merupakan zat pereduksi pertama yang diperkenalkan pada tahun 1934 untuk mereduksi GO. Hidrazin ($N_2H_4.H_2O$) juga merupakan reduktor paling terkenal untuk mereduksi GO, setelah direduksi material RGO memberikan sifat konduktivitas yang baik dan struktur yang lebih baik menyerupai grafena murni (Chasanah, dkk., 2022). Namun, zat pereduksi ini beracun dan mudah meledak sehingga dikembangkan penelitian lebih lanjut untuk memilih agen pereduksi lain (Pei & Cheng, 2012). Oleh karena itu, banyak agen pereduksi GO lainnya telah diselidiki dalam penelitian terbaru, diantaranya adalah mereduksi dengan asam askorbat (AA) (Go, dkk., 2018),

dan asam oksalat (Song, dkk., 2012). Keuntungan reduksi kimia dibandingkan reduksi termal adalah reduksi dapat dilakukan pada suhu ruang (Cronqvist, 2019).



Gambar 5. Proses oksidasi grafit hingga menjadi RGO (Cronqvist, 2019)

2.4 Seng Oksida

Seng oksida (ZnO) merupakan bahan semikonduktor mempunyai struktur kristal wurtzite heksagonal dengan lebar celah pita (band gap) 3,37 eV (Alver, dkk., 2016). Karakteristik senyawa ZnO lainnya dapat dilihat pada Tabel 1.

ZnO sering digunakan sebagai elektroda pada baterai dan juga dapat menghasilkan kerapatan energi yang tinggi yaitu 650 Wh/Kg (Wang, dkk., 2011).

Penggunaan logam oksida ZnO dalam penelitian ini memiliki karakteristik pseudokapasitif, sifat semikonduktor yang baik, ekonomis dan ramah lingkungan (Yurestira, dkk., 2021). Kelebihan tersebut membuat ZnO ini memiliki potensi dalam berbagai bidang teknologi seperti piranti optoelektronik, sensor gas, LED serta memiliki sifat elektrokimia yang lebih baik menjadikannya pilihan yang cocok untuk bahan elektroda superkapasitor (Jayachandiran, dkk., 2018).

Tabel 1. Karakteristik ZnO (Yunita, dkk., 2020)

Karakteristik	
Rumus molekul	ZnO
Massa molar	81,408 g/mol
Tampilan	Padatan putih
Massa jenis	5,606 g/cm ³
Titik lebur	1975° C
Titik didih	2360° C
Kelarutan dalam air	0,16 mg/100 mL

2.5 Komposit

Komposit adalah material yang dihasilkan dari penggabungan dua atau lebih material yang memiliki sifat yang berbeda, baik sifat fisik maupun kimianya. Tujuan pembuatan material komposit ini adalah untuk mengkombinasikan material yang sama atau berbeda guna mengembangkan sifat-sifat spesifik yang diinginkan, seperti sifat mekanik yang kuat, ketahanan suhu, bobot yang ringan, ataupun sifat elektrik yang unggul (Sari, 2018).

Jenis teknologi komposit yang lain yang sedang berkembang saat ini adalah teknologi nanokomposit yang memanfaatkan penggunaan komposit dari bahan yang memiliki skala nano. Nanokomposit sebagai bagian dari nanoteknologi memiliki kelebihan dibanding komposit konvensional, berupa sifat-sifat mekanik yang lebih baik dengan konsentrasi yang lebih rendah, dengan teknologi ini dapat dikembangkan berbagai material yang memiliki sifat-sifat yang luar biasa dibanding dengan material pada umumnya. Salah satu material yang paling banyak dimanfaatkan untuk nanokomposit adalah material berbasis RGO (Rouf & Kokini, 2016). Komposit berbasis grafena yang terdiri dari grafena yang digabungkan dengan material aktif lainnya seperti dengan oksida logam menunjukkan sifat redoks dapat sepenuhnya memanfaatkan kedua sifat EDLC dan pseudokapasitansi. Selain

itu, kombinasi dua material ini dapat meningkatkan kinerja superkapasitif karena efek sinergis yang diberikan oleh RGO dan oksida logam.

2.6 Tongkol Jagung

Tongkol pada jagung adalah bagian dalam organ betina tempat bulir duduk menempel. Istilah ini juga dipakai untuk menyebut seluruh bagian jagung betina (buah jagung). Tongkol terbungkus oleh kelobot (kulit "buah jagung"). Tongkol jagung merupakan salah satu limbah lignoselulosik. Limbah lignoselulosik adalah limbah pertanian yang mengandung lignin, hemiselulosa, dan selulosa (Mas'udah, 2022). Klasifikasi tanaman jagung dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasiifikasi Tanaman Jagung (Paeru & Dewi, 2017)

Klasifikasi	
Kingdom	Plantae
Subkingdom	<i>Tracheobionta</i>
Sub Divisio	<i>Angiospermae</i>
Divisi	<i>Spermatophyta</i>
Kelas	<i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	<i>Graminae</i>
Famili	<i>Graminaceae</i>
Genus	<i>Zea</i>
Spesies	<i>Zea mays. L</i>

Tongkol jagung adalah tempat pembentukan dan penyimpanan makanan untuk pertumbuhan biji. Jagung mengandung kurang lebih 30 % tongkol jagung sedangkan sisanya adalah kulit dan biji, berikut limbah tongkol jagung disajikan pada Gambar 7. Limbah pertanian (termasuk tongkol jagung), mengandung selulosa (40-60%), hemiselulosa (20-30%) dan lignin (15-30%) (Mas'udah, 2022) selain itu juga tongkol jagung memiliki kandungan kadar abu yang rendah yaitu 0,91% (Meilianti, 2020). Komposisi kimia tersebut membuat tongkol jagung dapat digunakan sebagai sumber energi, bahan pakan ternak dan berpotensi sebagai bahan pembuat karbon aktif. Dampak dari banyaknya jagung yang dikonsumsi menyebabkan bertambahnya limbah tongkol jagung yang berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk mengurangi limbah tongkol jagung dengan menggunakannya sebagai pupuk, bahan baku karbon aktif, dan biohidrogen.



Gambar 6. Limbah Tongkol Jagung (*Zea Mays Ssp*)

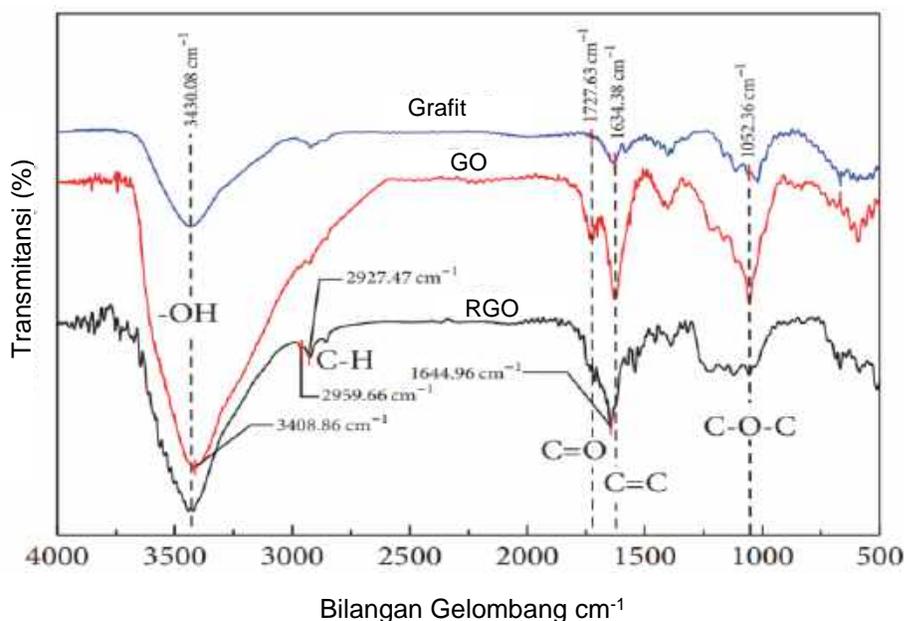
Material grafena dan turunannya bisa muncul dan diproduksi pada bahan yang mengandung komponen utama berbasis karbon seperti halnya tongkol jagung. Limbah biomassa yang dihasilkan dari aktivitas produksi pertanian yang jumlahnya sangat besar, khususnya di Indonesia. Sumber energi terbarukan yang berasal dari komoditas jagung di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagian besar limbah tongkol jagung tidak termanfaatkan, hanya dibuang dan dibakar sehingga dapat menimbulkan masalah polusi dan efek rumah kaca dan pemanasan global. Oleh karena itu, pemanfaatan tongkol jagung agar lebih bermanfaat dan bernilai ekonomi bagi kehidupan manusia perlu dikembangkan.

2.7 Karakterisasi

2.7.1 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Spektrofotometri inframerah sangat penting dalam kimia modern terutama dalam bidang organik. Spektrofotometri IR merupakan alat rutin dalam penemuan gugus fungsional, pengenalan senyawa dan analisa campuran (Day & Underwood, 1988). Spektrofotometri *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, khususnya senyawa

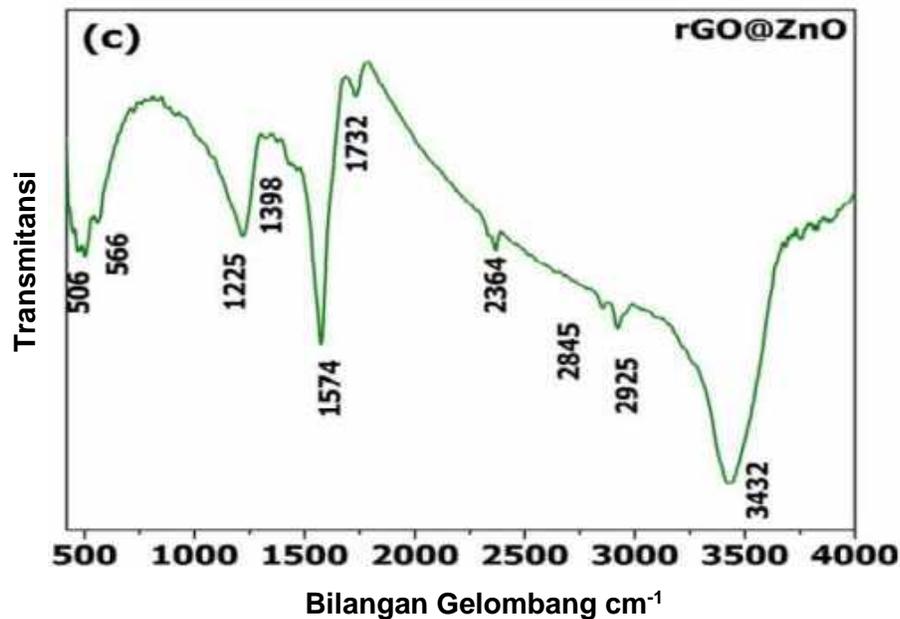
organik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Sedangkan analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa standar yang dibuat spektrumnya pada berbagai variasi konsentrasi (Siti, 2020). Spektrofotometri FTIR, dibagi kedalam tiga jenis radiasi, yaitu: inframerah dekat (bilangan gelombang 1280-4000 cm^{-1}), inframerah pertengahan (bilangan gelombang 4000-200 cm^{-1}), dan inframerah jauh (bilangan gelombang 200-10 cm^{-1}) (Adijuwana, 1989).



Gambar 7. Spektrum FTIR pada grafit, GO, dan RGO (Kanta, dkk., 2017)

Spektrum FTIR grafit, GO, dan RGO (Gambar 7). Pada sampel grafit memiliki gugus fungsi OH dan C=C pada puncak serapan 3430 cm^{-1} dan 1635 cm^{-1} . Setelah disintesis dengan metode Hummer yang dimodifikasi, muncul puncak baru pada 1050 cm^{-1} dan 1720 cm^{-1} . Puncak-puncak ini masing-masing dapat dianggap berasal dari adanya ikatan C-O dan C=O. Perubahan di atas disertai dengan semakin kuatnya intensitas pita serapan yang berkisar pada 3400 cm^{-1} yang mewakili OH. Perubahan spektra ini menunjukkan adanya gugus karbonil, dan hidroksil setelah grafit mengalami oksidasi, yang yang mengindikasikan bahwa GO telah diperoleh. Setelah GO direduksi menggunakan asam askorbat (vitamin C), mengalami penurunan intensitas puncak pada gugus OH (3400 cm^{-1}) dan C=O

(1720 cm^{-1}) dan C-O (1050 cm^{-1}). Hal ini menunjukkan bahwa GO telah tereduksi menjadi RGO (Kanta, dkk., 2017).



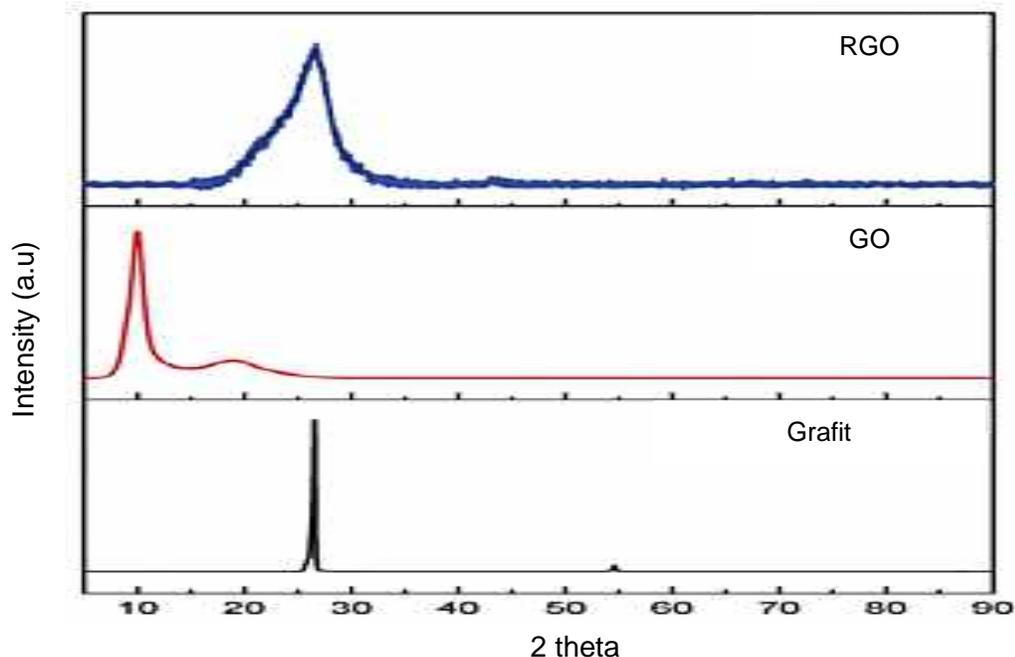
Gambar 8. Spektrum FTIR komposit ZnO-RGO (Manjunatha, dkk., 2020)

Data hasil analisis FTIR komposit ZnO-RGO ditunjukkan pada Gambar 8 (Manjunatha, dkk., 2020). Puncak tajam pada serapan antara 400 dan 500 cm^{-1} dinyatakan sebagai peregangan ZnO (Ezeigwe, dkk., 2015). Puncak pada 3432 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan vibrasi ulur hidroksil O-H. Serapan di sekitar puncak 1621 cm^{-1} berhubungan dengan getaran O-H dari gugus epoksida dan getaran kerangka cincin aromatik (Luo, dkk., 2012). Pita serapan pada 2925 dan 2845 cm^{-1} diduga berasal dari getaran C-H. Puncak kuat pada 1574 cm^{-1} disebabkan oleh getaran C=C. Terlihat jelas bahwa, intensitas puncak gugus fungsi C=O dan C-O (epoksi) 1732 cm^{-1} , 1398 cm^{-1} , dan 1225 cm^{-1} kurang intens, menunjukkan ciri khas RGO (Ding, dkk., 2015).

2.7.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Proses analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan salah satu karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan

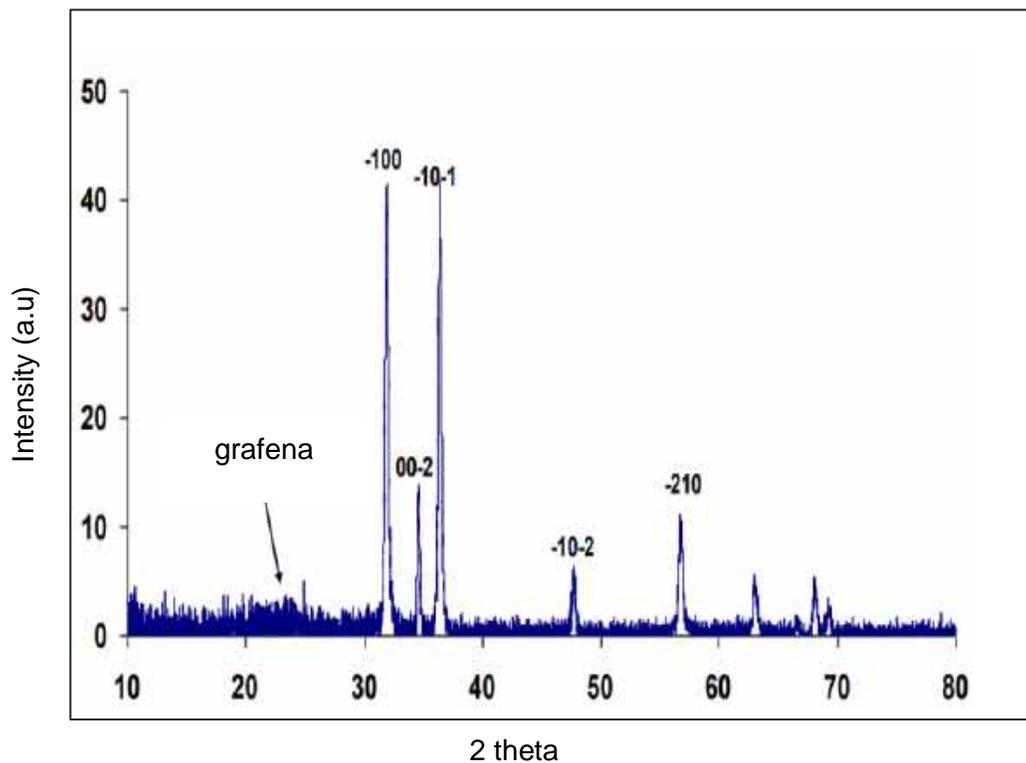
cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Callister, 2009). Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 5-10 nm, berfrekuensi 10¹⁷-10²⁰ Hz dan memiliki energi 10³-10⁶ eV (Callister, 2009). XRD digunakan untuk analisis komposisi fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi struktur kristal dari suatu material seperti GO dan RGO. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0.5-2.5 Angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD (Callister, 2009).



Gambar 9. Difraktogram grafit, GO, dan RGO (Buldu-Aktruk, dkk., 2022)

Hasil karakterisasi XRD grafit, GO, dan RGO pada Gambar 9. Grafit memiliki puncak tajam sekitar 26,5° sesuai dengan puncak refleksi bidang (002). GO

menunjukkan puncak yang luas sekitar $2\theta = 11^\circ$ menunjukkan puncak difraksi (001). Peningkatan jarak antar bidang disebabkan oleh pembentukan gugus fungsi yang mengandung oksigen antara lapisan karbon. Pada RGO menunjukkan difraktogram puncak yang lebar dengan intensitas rendah pada kisaran $17-24^\circ$. Reduksi dengan asam askorbat menyebabkan puncak pada 11° menghilang dan puncak lemah yang lebar pada 24° menunjukkan struktur grafit yang terdistorsi dan karenanya menunjukkan pembentukan lembaran grafena (Buldu-Aktruk, dkk., 2022).

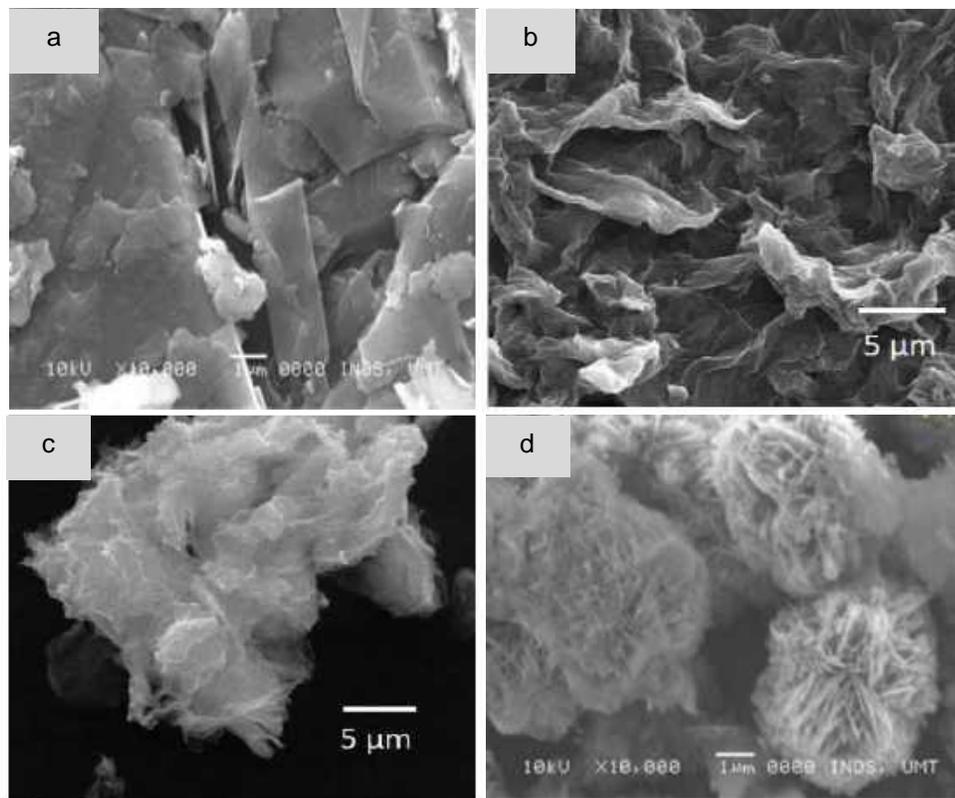


Gambar 10. Difraktogram komposit ZnO-RGO (Ramadan & Abdel-Aal, 2021)

Pada pola XRD komposit ZnO-RGO dan ZnO menunjukkan puncak tajam dan lebar yang terlihat pada Gambar 10. Puncak difraksi RGO yang biasanya diamati pada $2\theta = 24^\circ$ (002) biasanya lemah dan sangat luas karena kurangnya kristalinitas RGO. Pada pola XRD dari RGO (002) biasanya tidak muncul karena puncak difraksi nanokristal ZnO jauh lebih kuat dari RGO dan ditandai dengan panah pada Gambar 10 (Ramadan & Abdel-Aal, 2021).

2.7.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Analisis SEM digunakan untuk mengetahui morfologi, topografi, komposisi, dan informasi kristalografi dari suatu material seperti RGO. Topografi menjelaskan permukaan dan tekstur material, morfologi menjelaskan bentuk dan ukuran partikel material, dan komposisi menjelaskan sifat kimia dari material penyusunnya (Girao, dkk., 2017).



Gambar 11. Morfologi material (a) grafit, (b) GO, (c) RGO dan (d) komposit ZnO- RGO (Wahyuningsih, dkk., 2020,; Yusoff, dkk., 2018)

Morfologi grafit, GO, RGO dan ZnO-RGO pada Gambar 11, dikarakterisasi secara fisik dengan analisis SEM. Hasil analisis SEM grafit murni memiliki bentuk berupa serpihan kasar yang menyebar dengan ukuran yang bervariasi dan tidak beraturan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 a. Setelah grafit mengalami oksidasi dan sonikasi, analisis SEM pada GO menunjukkan perubahan morfologi,

atau memiliki tampilan berupa lembaran-lembaran berlapis, keriput dengan banyak lipatan. Ketebalan pada morfologi GO dikarenakan adanya gugus fungsional oksigen yang terikat di dalamnya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa grafit telah terkelupas selama proses oksidasi. Sedangkan morfologi RGO ditunjukkan pada Gambar 11 c yang memperlihatkan bahwa RGO memiliki morfologi lembaran yang tipis apabila dibandingkan dengan GO dan terlihat jarak antar lapisannya yang menurun (Yusoff, dkk., 2018; Wahyuningsih, dkk., 2020). Terbentuknya ZnO pada permukaan lapisan RGO ditunjukkan pada Gambar 11 d, setelah GO mengalami reduksi. Komposit ZnO ditumpuk secara horizontal dan acak pada lapisan RGO, dengan kata lain lembaran RGO tergabung secara homogen dalam matriks ZnO yang ditunjukkan dengan jelas pada Gambar 11 d (Yusoff, dkk., 2018).

2.8 Siklik Voltametri

Siklik voltametri adalah metode yang secara luas digunakan di bidang elektrokimia untuk mengkarakterisasi kinerja berbagai perangkat penyimpanan energi listrik seperti kapasitor elektrokimia, baterai dan sel bahan bakar. Dalam aplikasi ini, elektroda bermuatan biasanya direndam dalam larutan elektrolit. Lapisan ganda listrik terbentuk pada antarmuka elektroda/elektrolit yang dapat diakses dengan adanya ion dalam elektrolit. Pada voltametri dilakukan pengukuran arus dengan cara scan potensial, hasil yang didapatkan disebut voltamogram (Wang, 2006). Voltametri merupakan salah satu teknik elektroanalitik dengan prinsip dasar elektrolisis. Elektroanalisis merupakan suatu teknik yang berfokus pada hubungan antara besaran listrik dengan reaksi kimia, yaitu menentukan satuan-satuan listrik seperti arus, potensial, atau tegangan, dan hubungannya dengan parameter-parameter kimia. Dalam teknik voltametri, potensial yang diberikan dapat diatur sesuai keperluan. Kelebihan dari teknik ini adalah sensitifitasnya yang tinggi, limit deteksi yang rendah dan memiliki daerah linier yang lebar. Selama proses pengukuran, konsentrasi analit praktis tidak berubah karena hanya sebagian kecil analit yang dielektrolisis. Potensial elektroda kerja diubah selama pengukuran, dan arus yang dihasilkan dialurkan terhadap potensial yang diberikan pada elektroda

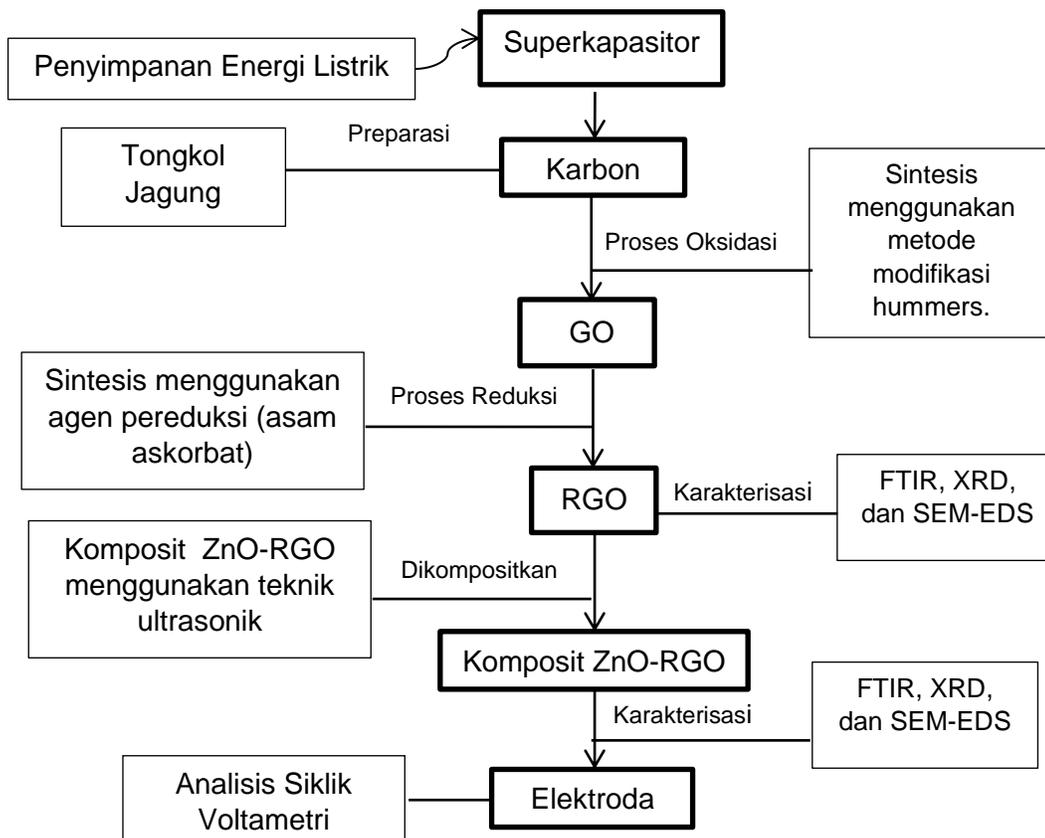
kerja. Arus yang diukur pada analisis voltametri terjadi akibat adanya reaksi redoks pada permukaan elektroda (Mulyani, dkk., 2012).

Sel voltametri terdiri atas tiga elektroda, yaitu elektroda kerja, elektroda pembanding, dan elektroda pembantu. Elektroda kerja berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi redoks dari analit yang bergantung pada potensial yang diberikan. Elektroda pembanding merupakan elektroda yang nilai potensialnya dibuat tetap selama pengukuran dan nilainya tidak bergantung pada jenis dan komposisi larutan yang digunakan. Elektroda pembantu berperan dalam melengkapi sirkuit dengan mengalirkan arus pada elektroda ini. Potensial luar diberikan antara elektroda kerja dan elektroda pembanding. Bila terjadi reaksi oksidasi maupun reduksi pada elektroda kerja, arus yang dihasilkan dilewatkan ke elektroda pembantu, sehingga reaksi yang terjadi pada elektroda pembantu akan berlawanan dengan reaksi yang terjadi pada elektroda kerja (Skoog, 2013).

2.9 Kerangka Pikir Penelitian

Superkapasitor merupakan perangkat penyimpanan energi listrik karena memiliki densitas daya yang lebih besar dibandingkan baterai dan juga memiliki densitas energi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor konvensional. RGO dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor karena memiliki konduktivitas listrik dan luas permukaan spesifik yang tinggi. Tongkol jagung menjadi salah satu limbah pertanian namun pemanfaatan tongkol jagung sebagai bahan baku masih belum optimal dan potensinya masih sangat besar, sehingga diperlukan solusi untuk memanfaatkan dan meningkatkan nilai ekonomis tongkol jagung. Hasil analisis tongkol jagung memiliki kandungan senyawa karbon yang cukup tinggi, yaitu selulosa (44%), hemiselulosa (32%) dan lignin (19%) (Shao, dkk., 2020), serta memiliki kandungan kadar abu yang rendah yaitu 0,91% (Meilianti, 2020), sehingga tongkol jagung dapat dijadikan karbon sebagai bahan utama untuk mensintesis RGO. Sintesis RGO dimulai dengan tahap sintesis GO dengan cara mengoksidasi karbon dari tongkol jagung menggunakan metode modifikasi hummer's dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDS, kemudian dilanjutkan pada tahap sintesis RGO dengan mereduksi GO dan dilakukan karakterisasi

menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDS. RGO hasil sintesis dikompositkan dengan ZnO selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai elektroda superkapasitor. Untuk mengukur nilai kapasitansi dari elektroda RGO, dan komposit ZnO-RGO digunakan metode siklik voltametri menggunakan potensiostat.



Gambar 12. Kerangka Pikir Penelitian

2.10 Hipotesis

1. material RGO dari karbon tongkol jagung memiliki karakteristik material yang menunjukkan fasa amorf dan memiliki morfologi berbentuk lembaran-lembaran yang lebih tipis,
2. komposit ZnO-RGO memiliki karakteristik yang menunjukkan ZnO tersebar secara homogen pada permukaan lembaran RGO,

3. material RGO hasil sintesis dari karbon tongkol jagung memiliki nilai kapasitansi yang baik,
4. komposit ZnO-RGO meningkatkan nilai kapasitansi sehingga berpotensi sebagai elektroda superkapasitor.