

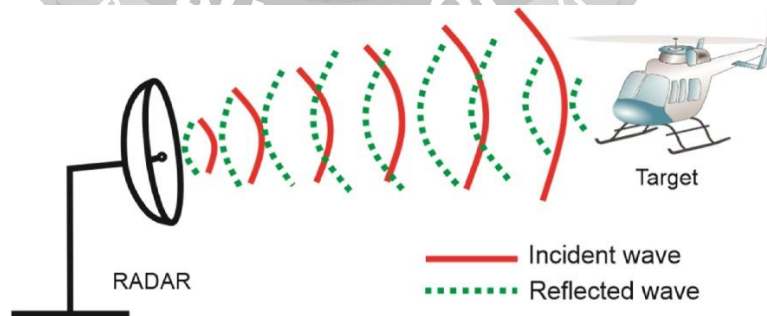
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Radar

Radio Detection and Ranging (RADAR) adalah sistem untuk mengukur dan mendeteksi jangkauan, sudut, koordinat, dan kecepatan target (De & Bazil Raj, 2023). Radar memiliki kemampuan transmisi dan penerima (*receiver*) aktif dalam rentang GHz gelombang mikro. Umumnya, sistem ini beroperasi dalam rentang gelombang 300 MHz – 40 GHz dari spektrum radio (DuCarme, 2019). Sistem radar menghasilkan gelombang elektromagnetik ke dalam area yang diinginkan dan menerima gelombang yang dipantulkan saat bertabrakan dengan suatu objek. Radar mengukur interval waktu antara pembangkitan gelombang elektromagnetik dan kembalinya gelombang yang dipantulkan ke radar setelah berbenturan dengan target (Perez *et al.*, 2021). Cara kerja sistem radar ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Radar

Sumber: Ruiz-Perez *et al.*, (2022)

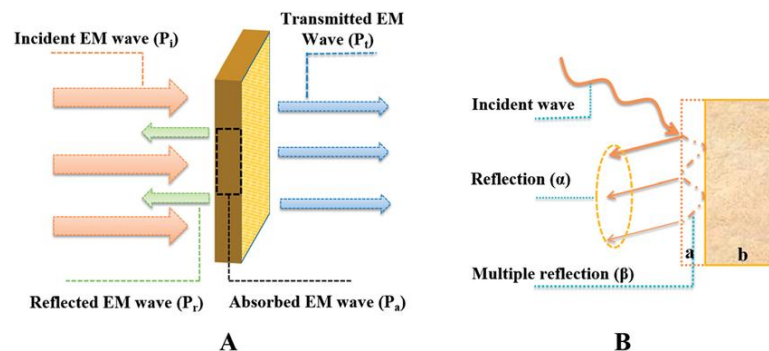
Radar diklasifikasikan menjadi radar primer dan radar sekunder. Radar primer terbagi menjadi dua jenis berdasarkan desainnya, yaitu radar monostatik dan radar bistatik. Radar monostatik terdiri dari satu set pemancar, penerima, dan antenna. Radar bistatik terdiri dari beberapa radar monostatik dengan frekuensi yang sama, sehingga memungkinkan area deteksi lebih luas dan sensitivitas lebih tinggi. Adapun radar sekunder, sebagian besar digunakan dalam aplikasi militer. Radar sekunder terdiri dari

transponder (alat yang merespons sinyal radar) terpasang pada pesawat kawan. Alat tersebut memberi respon radar primer untuk meneruskan informasi bahwa objek bukan target musuh. Berdasarkan jenis sinyal yang ditransmisikan, radar terbagi menjadi *pulsed radar* dan *continuous wave (CW) radar*. *Pulsed radar* umumnya digunakan untuk deteksi pesawat jarak jauh dengan memancarkan *pulse energy* pendek dan berkekuatan tinggi yang dipantulkan oleh objek. Sedangkan *CW radar* memancarkan sinyal gelombang kontinu yang dipantulkan terus menerus oleh objek (Ribeiro *et al.*, 2021).

2.1.2 Radar Absorbing Material (RAM)

Radar Absorbing Material (RAM) adalah material penyerap gelombang radar yang memiliki sifat magnetik tinggi dan penggunaan listrik yang relatif rendah. Sebagai metode pelapisan, RAM diterapkan untuk mereduksi energi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh radar menjadi energi panas dengan kemampuan magnetik dan/atau dielektriknya sehingga mengurangi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan. Proses ini melibatkan teori elektromagnetik yang kompleks, termasuk fenomena seperti perambatan, refleksi, pembiasan, dan penyerapan gelombang elektromagnetik (He *et al.*, 2023).

Konversi energi gelombang elektromagnetik dalam proses pergerakan dipol magnetik menjadi awal mekanisme penyerapan oleh material magnetik, sehingga timbul perputaran medan magnet pada material (Putri *et al.*, 2019). Pada material dengan ketebalan 2,6 mm dan *peak* penyerapan gelombang mikro 13 dB pada frekuensi 6,7 GHz terjadi penyerapan gelombang mikro yang efektif (Assyahidah & Zainuri, 2015). Jalur pergerakan gelombang elektromagnetik pada material diperlihatkan pada Gambar 2.2.



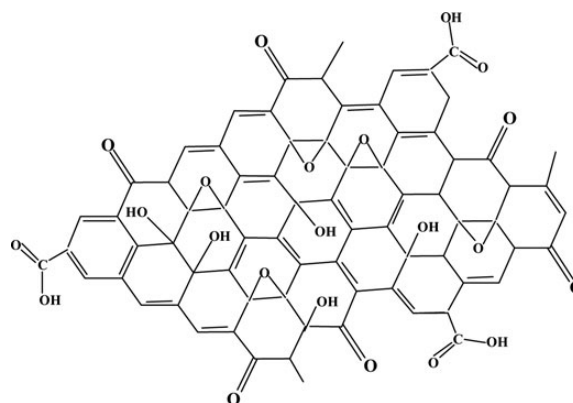
Gambar 2.2 Mekanisme Interaksi Gelombang EM dengan Material Penyerap: (A) Terbaginya gelombang EM oleh material; (B) Terbaginya pantulan gelombang EM

Sumber: T. Lin *et al.*, (2021)

2.1.3 Material Berbasis Karbon dari Bentuk Grafit

a. Graphite Oxide (GiO)

Graphite oxide (GiO) merupakan tumpukan lembaran *graphene* yang sebagian besar terdiri dari atom C, O, dan H yang melekat pada struktur. Oksida grafit umumnya disintesis dalam larutan H_2SO_4 dengan agen pengoksidasi kuat seperti HNO_3 dan $KMnO_4$ (Chauhan *et al.*, 2022). Proses oksidasi terjadi dalam lapisan grafit dimana interaksi gugus fungsi dengan atom karbon menyebabkan ekspansi di lapisan grafit (Eftekhari *et al.*, 2018). Karena lapisan-lapisan grafena telah diperluas dalam struktur GiO, gaya Van der Waals tidak cukup untuk mempertahankan susunan tersebut, sehingga lapisan-lapisan tersebut dapat dikelupas. Struktur GiO ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.

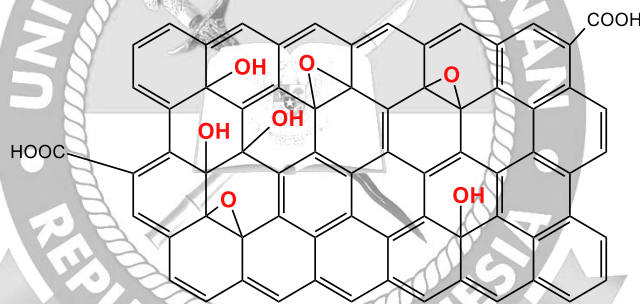


Gambar 2.3 Struktur GiO

Sumber: Shah *et al.*, (2015)

b. *Graphene Oxide* (GO)

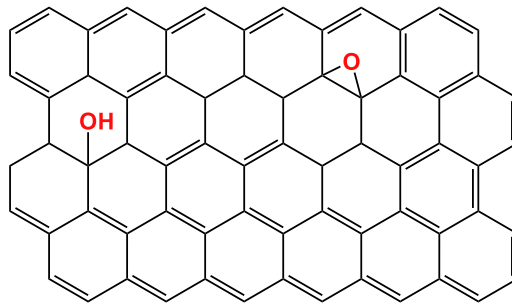
Graphene oxide (GO) memiliki struktur karbon berlapis dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen ($=O$, $-OH$, $-O-$, $-COOH$) yang melekat pada kedua sisi lapisan serta tepi struktur (Shin *et al.*, 2017). Beberapa metode dapat digunakan untuk memperoleh GO, diantaranya oksidasi kimia (Nishina & Eigler, 2020), elektrokimia (Lu *et al.*, 2015), dan mikroba dari berbagai bahan berbasis karbon (H. Yang *et al.*, 2019). Umumnya, metode yang digunakan dengan cara mengoksidasi grafit menjadi *graphite oxide* (GiO) dilanjutkan dengan pengelupasan GiO menjadi *graphene oxide* (GO). Struktur GO ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Struktur GO

c. *Reduced Graphene Oxide* (rGO)

rGO diperoleh dari *graphene oxide* (GO) yang diolah secara kimia ataupun termal. Transformasi GO menjadi rGO dapat dicapai melalui proses reduksi, dengan gugus-gugus oksigen pada GO dihilangkan, menghasilkan rGO dengan rasio karbon terhadap oksigen (C/O) sebesar 8:1 (Lee *et al.*, 2019). rGO memiliki luas permukaan dan hidrofobisitas yang lebih tinggi serta kandungan oksigen yang lebih rendah dibandingkan GO (X. Chen & Chen, 2015). Struktur rGO ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Struktur rGO

2.1.4 Magnetit (Fe_3O_4)

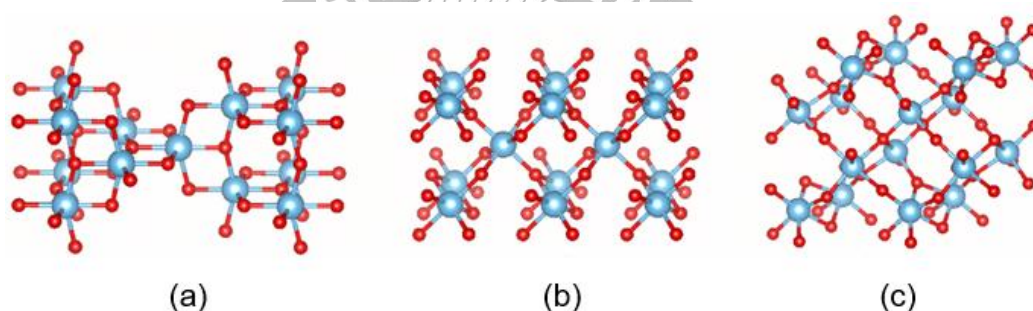
Magnetit merupakan salah satu jenis oksida besi dengan rumus kimia Fe_3O_4 atau sering ditulis dalam bentuk $(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$. Magnetit adalah bahan dengan sifat ferrimagnetik yang mengandung ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Diantara oksida-oksida besi seperti maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), magnetit menunjukkan kemagnetan paling kuat sehingga dapat dimanfaatkan di berbagai bidang dan banyak dikembangkan di bidang farmasi, biomedis, alutsista, dan lain-lain (Sunaryono *et al.*, 2015). Magnetit memiliki sifat permeabilitas magnetik yang baik dan permitivitas yang rendah (Ullly *et al.*, 2025). Magnetit dapat menjadi absorben dimana sifat ferrimagnetiknya mampu menyerap gelombang elektromagnetik melalui mekanisme kemagnetan khususnya terhadap atom-atom atau ion-ion logam yang bersifat paramagnetik (Sholihah, 2010).

2.1.5 Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida yang juga disebut dengan titanium (IV) oksida atau titania merupakan bentuk oksida dari titanium dengan rumus molekul TiO_2 (M. R. Usman, 2013). TiO_2 merupakan semikonduktor penting yang memiliki sifat dielektrik yang stabil secara lingkungan dan termal dengan konstanta dielektrik relatif tinggi (P. Singh *et al.*, 2017) sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan penyerap gelombang mikro (Wypych *et al.*, 2014).

TiO_2 memiliki tiga jenis struktur kristal, yaitu fasa anatase, rutil, dan brookite. Di antara ketiganya, fasa rutil dan anatase paling umum digunakan karena memiliki kestabilan yang lebih baik sebagai fotokatalis dibandingkan

fasa brookite. Perbedaan antara fasa anatase dan rutil ini menyebabkan perbedaan massa jenis, energi celah pita, dan struktur pita energi. Fasa kristal TiO_2 dapat diidentifikasi dari pola XRD karena setiap fasa menunjukkan puncak difraksi yang berbeda. Anatase menunjukkan puncak kuat di sekitar $25,27^\circ$ dan $48,01^\circ$, rutil menunjukkan puncak kuat di sekitar 27° , 36° , dan 55° , sedangkan brookite menunjukkan puncak sekitar $25,08^\circ$ dan $27,31^\circ$ pada 2θ (Theivasanthi & Alagar, 2013). Struktur kristal TiO_2 ditunjukkan pada Gambar 2.3.

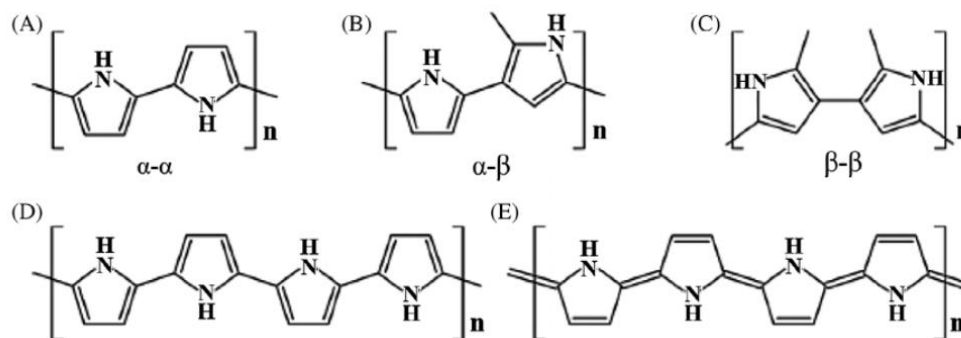


Gambar 2.6 Struktur Kristal TiO_2 (a) anatase, (b) rutile, dan (c) brookite

Sumber: Blazhynska *et al.*, (2020)

2.1.6 Polipirola (PPy)

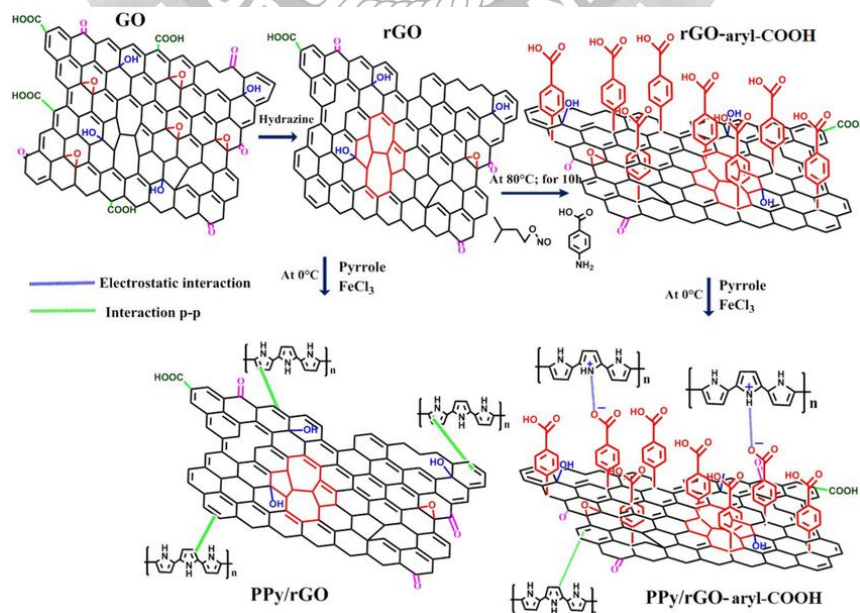
Polypyrrole (PPy) merupakan salah satu material polimer konduktif dengan konduktivitas listrik $1,55 \text{ S cm}^{-1}$ (Y. Li *et al.*, 2017). PPy mudah disintesis dalam suhu kamar dan memiliki keunggulan seperti stabilitas yang tinggi, konduktivitas tinggi, dan sifat redoks yang baik dibandingkan dengan jenis polimer konduktif lainnya. PPy dapat disintesis dengan berbagai metode, termasuk polimerisasi oksidatif kimia, yang memungkinkan pembentukan nanopartikel dan struktur nano (Lisyte & Popov, 2023). Struktur PPy ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Struktur Polypirrole (A-C) Netral dalam Bentuk Aromatik, (D) Benzenoid, dan (E) Bentuk Quinon

Sumber: Mahun *et al.*, (2020)

PPy yang ditambahkan dalam sistem komposit dapat mendukung dispersi partikel aktif secara merata. Kehadiran PPy dalam komposit dapat meningkatkan ikatan antar komponen melalui interaksi elektrostatis atau ikatan hidrogen. Penelitian Guettiche *et al.*, (2021) yang mensintesis GO-PPy memperoleh struktur dalam pembentukan komposit ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Pembentukan Komposit rGO/PPy

Sumber: Guettiche *et al.*, (2021)

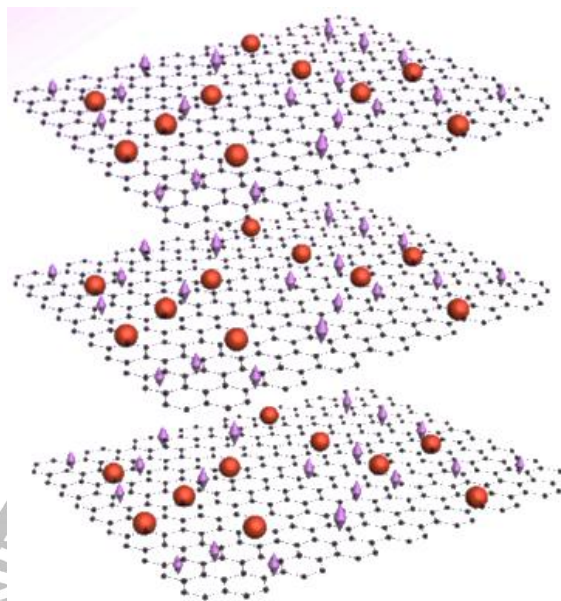
2.1.7 Metode Hummer Termodifikasi

Oksidasi grafit dapat dilakukan dengan metode Brodie, metode Staudenmaier, dan metode Hummers. Metode Brodie dan Staudenmaier memiliki pengendalian reaksi yang baik. Meski demikian, metode Brodie memerlukan waktu lebih lama, lebih rumit, dan lebih berbahaya dibandingkan metode Hummer termodifikasi (Muzyka *et al.*, 2021). Pada metode Hummer menghasilkan oksida grafit dengan kualitas yang lebih baik, tingkat toksisitas paling rendah, dan bahan-bahan yang mudah diperoleh dibandingkan metode Brodie dan metode Staudenmaier (J. Liu *et al.*, 2022). Menurut penelitian Lavin-Lopez *et al.*, (2016), metode Hummer memberikan alternatif untuk hasil sintesis yang lebih baik dibandingkan metode lainnya, serta lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan gas beracun selama proses pembuatan.

Metode Hummers dapat dimodifikasi untuk menghasilkan komposit dengan sifat yang berbeda. Beberapa modifikasi tidak menggunakan NaNO_3 sehingga dapat mengurangi produksi gas berbahaya. Penggunaan asam yang berbeda seperti campuran H_2SO_4 dan H_3PO_4 juga dapat menjadi modifikasi metode. Selain itu, kontrol suhu dan penambahan air secara bertahap dalam campuran reaksi dapat digunakan untuk mencegah oksidasi lebih lanjut (Chawla *et al.*, 2024).

2.1.8 Sintesis Komposit Metode *One-pot*

Metode *one-pot* merupakan metode sintesis sederhana dengan tahapan reaksi yang dilakukan dalam satu wadah tanpa membutuhkan proses pemurnian antar tahapan. Metode ini dapat mempercepat proses, meningkatkan efisiensi, dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode sintesis konvensional (X. Chen *et al.*, 2020). Metode konvensional seperti *ball milling* melalui pengadukan dengan bola *milling* dalam wadah tertutup yang mudah dilakukan, namun keterbatasan dalam metode ini yaitu pengurangan ukuran partikel yang terbatas, proses yang lambat, dan menimbulkan kebisingan (Dyana & Triwikantoro, 2017). Sintesis GiO/rGO dengan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ diilustrasikan pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Skema Komposit rGO/Fe₃O₄/TiO₂

Sumber: F. Zhang *et al.*, (2021)

Dalam sintesis komposit menggunakan metode *one-pot*, pencampuran seperti TiO_2 , rGO, Fe_3O_4 , dan TiO_2 dilakukan secara simultan dalam satu rangkaian proses, sehingga meningkatkan terbentuknya interaksi antarmuka yang lebih kuat pada komponennya. Hal ini sangat penting karena keterikatan antarkomponen memengaruhi konduktivitas listrik maupun kestabilan struktur komposit secara keseluruhan. Sintesis *one-pot* juga berkaitan dengan penyesuaian kondisi reaksi seperti suhu, pH, dan waktu reaksi secara terkontrol sehingga struktur dan ukuran partikel diperoleh lebih baik.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Dilakukan penelitian RAM pertama kali pada era 1930-an setelah penemuan sistem radar dan paten pertama keluar pada tahun 1936 di Belanda (Saville, 2005). Untuk membuat absorbernya dirancang dengan metode resonansi seperempat panjang gelombang. Bahan yang digunakan yaitu karbon hitam yang merupakan bahan *resistive lossy* dan titanium dioksida (TiO_2) dengan permitivitas tinggi yang dapat mengurangi ketebalan.

Tabel 2.1 Perbandingan Temuan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis

No.	Nama, Tahun	Judul	Hasil Penelitian	Relevansi
1.	Yang <i>et al.</i> , (2016)	Dielectric and microwave absorption properties of $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ coatings and improved microwave absorption by FSS incorporation	Sintesis $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada pelapisan keramik dengan teknik APS dan pada serapan frekuensi X-band diperoleh peningkatan >90% pada ketebalan 2,3 mm dan kandungan 17 wt% TiO_2 .	Penelitian ini menggunakan TiO_2 untuk meningkatkan konduktivitas material komposit, namun teknik yang digunakan untuk dilapiskan berbeda yaitu teknik APS.
2.	Emiru & Ayele, (2017)	Controlled synthesis, characterization and reduction of graphene oxide: A convenient method for large scale production	Sintesis <i>graphene oxide</i> dengan optimasi waktu, suhu, dan komposisi untuk proses oksidasi. Hasil yang diperoleh bahwa reaksi bubuk grafit dengan KMnO_4 pada 40°C selama 12 jam menghasilkan oksidasi paling baik.	Penelitian ini menggunakan metode Hummer termodifikasi dalam sintesis <i>graphene oxide</i> , namun dilakukan dengan variasi parameter untuk optimasi oksidasi.
3.	Wang <i>et al.</i> , (2018)	Fe_3O_4 nanoparticle/graphene aerogel composite with enhanced lithium storage performance	Komposit nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GA}$ dengan metode presipitasi fase cair tanpa perlakuan panas. Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GA}$ yang telah disiapkan dengan kandungan <i>graphene</i> sebesar 25% menunjukkan kinerja elektrokimia yang baik dan kapabilitas laju yang baik.	Penelitian ini relevan terhadap sintesis komposit dari Fe_3O_4 dengan <i>graphene</i> , namun metode sintesisnya berbeda.

4.	Singh <i>et al.</i> , (2019)	Impact of Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO and BaTiO_3 on the microwave absorption properties of exfoliated graphite/epoxy composites at X-band frequencies	Komposit bi-filler dari <i>exfoliated graphite</i> (EG) dan logam oksida dalam matriks epoxy. Salah satu RL yang diperoleh -43 dB (99.995% <i>absorption</i>), dengan <i>bandwidth</i> yang lebar berhasil diperoleh EG/epoxy yang mengandung 40 wt% Al_2O_3 , 30 wt% TiO_2 , 30 wt% BaTiO_3 , dan 20 wt% ZnO .	Penelitian ini sintesis komposit berbasis <i>graphite</i> dan logam oksida, namun jenis grafit dan polimer yang digunakan berbeda.
5.	Sheikholia Lavasani <i>et al.</i> , (2023)	Fabrication and characterization of the $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ -rGO nanocomposite: a catalyst for multi-component reactions	rGO dan nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ membentuk nanokomposit dengan struktur <i>core-shell</i> bulat dengan ukuran rata-rata 25 nm. Material yang diperoleh memiliki kualitas tinggi dan dapat menjadi kandidat yang baik sebagai katalis dalam reaksi multi komponen.	Penelitian ini relevan terhadap sintesis komposit dari Fe_3O_4 dan GO, namun dilakukan dengan metode yang berbeda yaitu metode sol-gel pada pelapisan SiO_2 ke Fe_3O_4 .

2.3 Kerangka Berpikir

2.3.1 Kerangka Berpikir 1

GiO dapat disintesis dengan metode yang umum digunakan yaitu metode Hummers karena mudah dan cepat dengan hasil yang optimal (Muhammad *et al.*, 2022). Hummers dan Offeman mensintesis *graphene* dari grafit oksida. Oksidasi grafit menggunakan prekursor kimia seperti H_2SO_4 dan KMnO_4 . Chen (2022) mengungkapkan bahwa oksidasi grafit menjadi GO dapat berlangsung cepat karena adanya reaksi antara KMnO_4 dan H_2SO_4 pada suhu rendah yang menghasilkan senyawa oksidator kuat.

Pola difraksi yang khas untuk GiO biasanya menunjukkan puncak sekitar 2θ pada 10° - 12° (And, 2013). Naebe *et al.*, (2014) memperoleh hasil penelitian bahwa puncak khas difraksi GiO pada 2θ sebesar $10,5^\circ$. Keberadaan Fe_3O_4 terdeteksi di puncak difraksi pada $2\theta = 29,94; 35,35; 45,14; 56,81$ dan $62,80^\circ$, sedangkan keberadaan anatase TiO_2 terdeteksi di puncak difraksi $2\theta = 25,14^\circ$ (Aziz, 2017). Aspek lainnya yaitu adanya puncak-puncak gugus fungsi dalam struktur GiO (Sujiono *et al.*, 2020). Karakterisasi FTIR GiO diukur antara 4000 - 400 cm^{-1} pada penelitian Kusriani *et al.*, (2019) diperoleh adanya karbonil C=O (1754 cm^{-1}), aromatik C=C (1573 cm^{-1}), karboksil C-O (1238 cm^{-1}), dan C-O (1065 cm^{-1}).

2.3.2 Kerangka Berpikir 2

$\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang dikompositkan dengan matriks PPy efektif untuk penyerap gelombang radar karena penggabungan sifat konduktif, magnetik, dan polarisasi dielektrik. Sifat magnetik Fe_3O_4 yang dikombinasikan dengan bahan karbon dapat memberikan alternatif untuk pemisahan efisien tanpa penyaringan bila digunakan sebagai adsorben (Farooq *et al.*, 2020). Berbagai metode telah dikembangkan untuk sintesis karbon/ Fe_3O_4 , yaitu kopresipitasi, metode *solvothetmal*, metode *hydrothermal*, *sol-gel*, pengendapan uap kimia (Saraswati *et al.*, 2019), dan *self-assembly*.

Penelitian yang dilakukan oleh Rajendran *et al.*, (2023) memperoleh spektrum FTIR yang terdeteksi adanya gugus fungsi hidroksil (O-H) dengan puncak sekitar 3400 cm^{-1} dan karbonil (C=O) dengan puncak sekitar 1720 cm^{-1} pada rGO yang berinteraksi dengan TiO_2 dan Fe_3O_4 . Puncak karakteristik Fe_3O_4 (Fe-O) kuat di sekitar 580 - 590 cm^{-1} dan pada TiO_2 (Ti-O) sekitar 400 - 500 cm^{-1} (Van & Thi, 2022). Puncak utama difraksi rGO pada 2θ berada sekitar 24 - 26° . Pada penelitian (F. Zhang *et al.*, 2021) pola difraksi menunjukkan puncak yang berbeda sesuai dengan fase kristal TiO_2 dan Fe_3O_4 yang menunjukkan keberhasilan sintesis komposit, yaitu pola kristal Fe_3O_4 pada $2\theta = 30,1^\circ, 35,5^\circ$, dan $57,2^\circ$. Sedangkan puncak TiO_2 pada $2\theta = 25,3^\circ, 37,8^\circ$, dan $48,1^\circ$. Penelitian Gurunathan *et al.*, (2015)

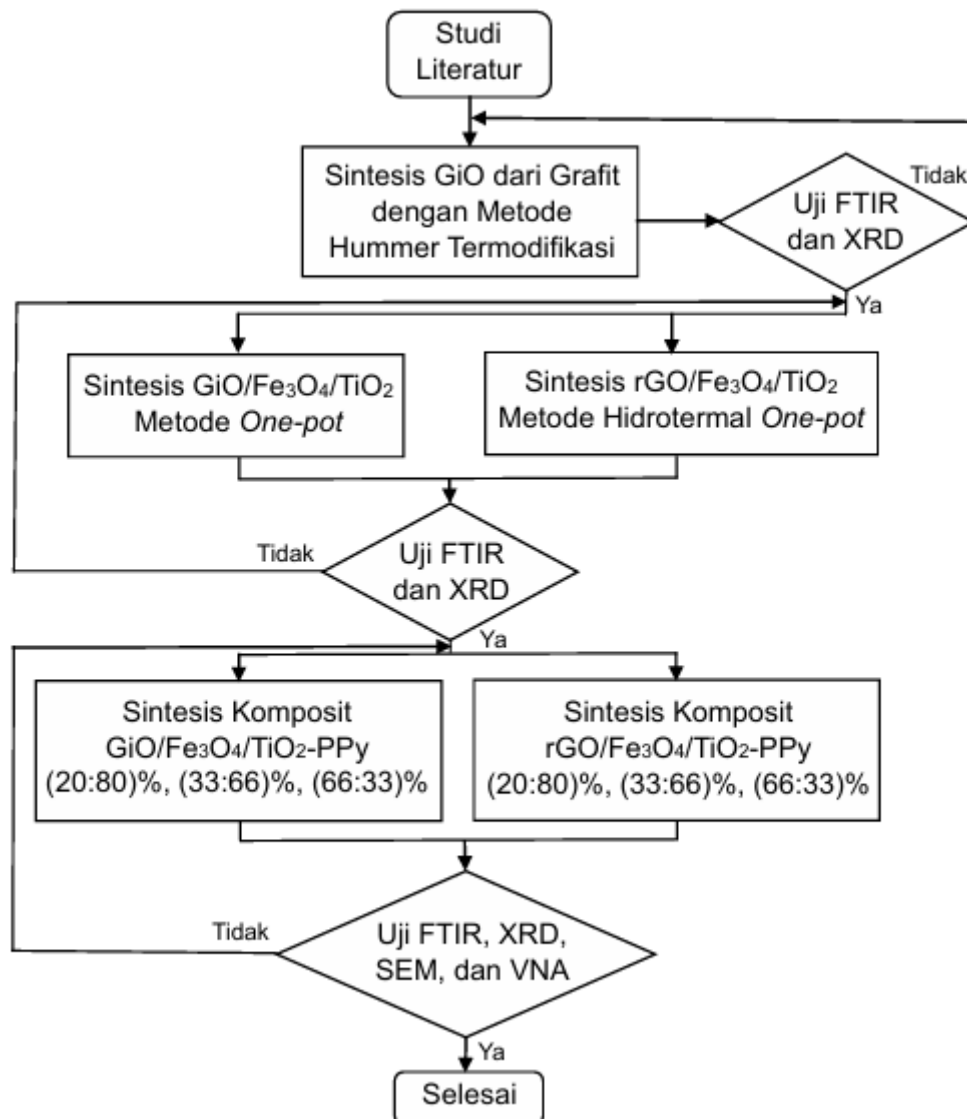
melaporkan puncak rGO yang berpusat pada $2\theta = 26,4^\circ$ dengan jarak antarlapisan 3.6 Å.

2.3.3 Kerangka Berpikir 3

Salah satu faktor yang mempengaruhi interaksi gelombang mikro dengan material adalah sifat dielektrik, dimana besarnya dapat ditunjukkan melalui nilai permitivitas. GiO/rGO memiliki sifat luas permukaan dan konduktivitas listrik yang tinggi, mobilitas elektron sangat tinggi, dan konduktivitas termal yang sangat baik (Vaghri *et al.*, 2018). Penggunaan GiO/rGO untuk kombinasi dengan bahan semikonduktor, seperti TiO_2 memiliki potensi besar dengan sifat magnetik dan dielektrik yang seimbang. TiO_2 merupakan bahan yang berguna untuk penyerapan gelombang elektromagnetik. Komposit polimer terdiri dari bahan karbon yang diisikan ke dalam matriks polimer. *Polypyrrole* (PPy) merupakan polimer konduktif listrik yang berpotensi sebagai material penyerap radar. Penambahan bahan konduktif dalam matriks dapat menstabilkan sifat-sifat material.

Penelitian sintesis $\text{GiO/Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dan $\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dilakukan dan diperoleh hasil menggunakan TEM, sehingga dapat diamati dengan jelas materialnya (Liang *et al.*, 2014). Berdasarkan hasil pengamatan, diperoleh bahwa kristal TiO_2 berhasil dilapiskan pada permukaan $\text{GO/Fe}_3\text{O}_4$ yang dimasukkan ke dalam komposit meningkat dari 20 nm menjadi 50 nm. Hal ini menunjukkan bahwa TiO_2 telah dilapiskan pada $\text{GO/Fe}_3\text{O}_4$. TiO_2 yang dilapiskan pada permukaan $\text{GO/Fe}_3\text{O}_4$ memberikan stabilitas struktural yang baik dan TiO_2 terdistribusi secara merata. Penelitian yang dilakukan oleh Fisli *et al.*, (2019) menunjukkan bahwa komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ pada rentang X-band dengan rasio 40% Fe- TiO_2 dengan ketebalan 1 mm mampu menghasilkan nilai RL sebesar -14 dB pada frekuensi 10,9 GHz dengan kemampuan material dalam menyerap gelombang elektromagnetik sebesar 80,04% pada frekuensi tersebut. Pada material $\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4$ dengan ketebalan 2 mm memiliki persentase absorpsi sekitar 80,72%, sedangkan Fe_3O_4 sebesar 38,73% dan 77,56% (A. A. Usman *et al.*, 2019). Penelitian terbaru dilakukan oleh L. Chen *et al.*, (2025), hasil pada material $\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4$

dengan ketebalan 1,5 mm pada rentang X-band memperoleh kinerja penyerapan gelombang sebesar 72,04%. Pada material GO/Fe₃O₄/PPy yang disintesis oleh Kaftelen-Odabaşı *et al.*, (2024) memberikan kinerja penyerapan gelombang elektromagnetik sebesar 66,72%.



Gambar 2.10 Kerangka Berpikir

2.4 Hipotesis

2.4.1 Hipotesis 1

Berdasarkan dasar pemikiran 1, jika komposit dari GiO berhasil disintesis dengan metode Hummer termodifikasi untuk sintesis GiO dan

dilanjutkan dengan *one-pot* maka hasil karakterisasi akan menunjukkan puncak difraksi khas GiO pada $2\theta = 10-12^\circ$, serta puncak difraksi Fe_3O_4 dan TiO_2 . Keberadaan berbagai gugus fungsi khas GiO seperti karbonil $\text{C}=\text{O}$, aromatik $\text{C}=\text{C}$, karboksil $\text{C}-\text{O}$ akan terdeteksi yang menunjukkan adanya oksidasi signifikan pada struktur grafit sehingga terbentuk GiO.

2.4.2 Hipotesis 2

Berdasarkan dasar pemikiran 2, jika komposit dari rGO berhasil disintesis dengan metode hidrotermal *one-pot* maka hasil karakterisasi akan menunjukkan gugus fungsi khas seperti $\text{O}-\text{H}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{Fe}-\text{O}$, dan $\text{Ti}-\text{O}$ serta pola difraksi untuk fase kristal penyusunnya. Puncak difraksi khas rGO pada $2\theta = 24-26^\circ$ dengan terdeteksinya gugus fungsi ikatan dengan oksigen seperti hidroksil, karboksil, alkohol, dan epoksi pada hasil FTIR.

2.4.3 Hipotesis 3

Berdasarkan dasar pemikiran 3, kombinasi komposit karbon/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dalam matriks PPy berpotensi menghasilkan material penyerap radar dengan sifat dielektrik dan magnetik yang seimbang berperan penting dalam meningkatkan interaksi dengan gelombang elektromagnetik dengan kemampuan penyerapan yang baik pada frekuensi X-band. Dengan mengacu pada nilai RL yang telah dicapai pada komposit serupa dalam penelitian lain, sekitar 65-80% kinerja penyerapan, maka diprediksi bahwa komposit yang disintesis dalam penelitian ini berpotensi memperoleh kinerja penyerapan dalam rentang atau lebih dari 80%, melalui kombinasi material dielektrik dari karbon dan TiO_2 dan sifat magnetik Fe_3O_4 dalam matriks konduktif PPy.