

PENGARUH PENAMBAHAN REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) DALAM KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG RADAR DALAM RENTANG X-BAND

¹⁾Triya Susila Dewi, ²⁾Diah Hari Kusumawati, ³⁾Fitriana, ⁴⁾Yana Taryana

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: triyasusila.21001@mh.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: diahkusumawati@unesa.ac.id

³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: fitrianafitriana@unesa.ac.id

⁴⁾ Pusat Penelitian Telekomunikasi, BRIN Bandung, Indonesia, email: yana004@brin.go.id

Abstrak

Radar berfungsi untuk mendeteksi dan melacak objek, namun keberhasilan deteksi tersebut juga menghadirkan resiko sehingga diperlukan material penyerap gelombang radar (Radar Absorbing Material/RAM) yang efektif guna meningkatkan kemampuan siluman (stealth). Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$, yang mengkombinasikan sifat magnetik dan dielektrik, memiliki potensi besar sebagai RAM. Pada penelitian ini, Fe_3O_4 disintesis dari pasir besi menggunakan metode kopresipitasi, sedangkan arang tempurung kelapa diolah menjadi reduced graphene oxide (rGO) melalui metode Hummers termodifikasi. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi massa rGO sebesar 0,07 gram hingga 0,11 gram dalam komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ pada rentang frekuensi X-band. Hasil karakterisasi Raman pada rGO menunjukkan rasio I_D/I_G sebesar 0,99, menandakan keberhasilan reduksi. Analisis XRD mengonfirmasi bahwa struktur fasa rGO, Fe_3O_4 , serta komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ menunjukkan bahwa hasil puncak-puncak kristal tersebut sesuai dengan bidang kristal dari sampel rGO, Fe_3O_4 , serta komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$. Uji penyerapan gelombang radar menunjukkan bahwa penambahan rGO berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan penyerapannya. Reflection loss (RL) meningkat dari -8,98 dB hingga -11,07 dB seiring penambahan rGO, dengan nilai optimum diperoleh pada penambahan 0,10g rGO pada frekuensi 10,3 GHz dengan persentase absorpsi sebesar 92,17% ($\text{RL} < -10$ dB). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan rGO dalam komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ mampu memperbaiki performa material sebagai RAM pada rentang frekuensi X-band.

Kata Kunci: rGO, Fe_3O_4 , reflection loss, persentase absorpsi.

Abstract

Radar functions to detect and track objects; however, successful detection also poses risks, making it necessary to develop effective radar absorbing materials (RAM) to enhance stealth capabilities. The $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ composite, which combines magnetic and dielectric properties, has great potential as a RAM. In this study, Fe_3O_4 was synthesized from iron sand using the coprecipitation method, while coconut shell charcoal was processed into reduced graphene oxide (rGO) through a modified Hummers method. This research evaluates the effect of varying rGO mass from 0.07 to 0.11 grams in the $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ composite within the X-band frequency range. Raman characterization of rGO showed an I_D/I_G ratio of 0.99, indicating successful reduction. XRD analysis confirmed that the crystal phase structures of rGO, Fe_3O_4 , and the $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ composite corresponded well to the crystalline planes of the respective samples. Radar wave absorption testing demonstrated that the addition of rGO influenced an increase in absorption capability. Reflection loss (RL) improved from -8.98 dB to -11.07 dB with increasing rGO content, with the optimum value obtained at 0.10 g rGO at 10.3 GHz frequency exhibiting an absorption percentage of 92.17% ($\text{RL} < -10$ dB). These results indicate that increasing the rGO content in the $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ composite can enhance the material's performance as a RAM in the X-band frequency range.

Keywords: rGO, Fe_3O_4 , reflection loss, absorption percentage

I. PENDAHULUAN

Radar (Radio Detection and Ranging) adalah sistem yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi, mengukur jarak, dan menentukan posisi objek seperti pesawat, kapal, dan rudal (Wisudawan & Yuwono, 2024). Dalam pertahanan negara, radar memegang peranan penting untuk memantau dan melacak ancaman di udara, darat, maupun laut, bahkan dalam kondisi cuaca buruk dan waktu gelap, serta efektif mendeteksi objek yang bergerak cepat sehingga memberikan keunggulan strategis. Salah satu frekuensi yang banyak digunakan dalam aplikasi pertahanan adalah X-band (8–12 GHz) karena kemampuannya mendeteksi objek udara dan melakukan pemantauan saat cuaca ekstrem (Akhlak dkk., 2019). Namun, di balik manfaatnya, radar juga menghadirkan tantangan. Ketika objek militer, seperti pesawat tempur atau kapal perang, terdeteksi oleh radar lawan, posisi dan pergerakannya dapat dilacak serta diserang, sehingga kerahasiaan operasi militer bisa terancam. Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan material penyerap gelombang radar (Radar Absorbing Material/RAM) yang mampu mengurangi pantulan gelombang radar, sehingga objek yang dilapisi RAM menjadi lebih sulit terdeteksi. RAM kini banyak digunakan sebagai pelapis pada alat utama sistem senjata (Alutsista) guna meningkatkan kemampuan siluman (stealth), sekaligus melindungi infrastruktur militer dari serangan berbasis gelombang radar (Putri dkk., 2024). Sejalan dengan itu, pengembangan RAM terus berfokus pada pencapaian karakteristik ideal, seperti nilai rugi refleksi maksimum (RL_{maks}) ≤ -10 dB, bobot yang ringan, bentuk yang tipis, biaya produksi yang rendah, kemudahan desain, daya tahan yang tinggi, stabilitas lingkungan, serta kemampuan menyerap gelombang pada rentang frekuensi yang luas (Peymanfar dkk., 2023).

Gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus dan merambat bersama. Untuk menyerap gelombang ini secara efektif, diperlukan material yang dapat berinteraksi baik dengan medan listrik maupun medan magnet. Material dielektrik mampu menyerap komponen listrik, sedangkan material magnetik efektif dalam menyerap komponen magnetik. Oleh karena itu, kombinasi material magnetik dan dielektrik dalam Radar Absorbing Material (RAM) dapat meningkatkan efektivitas penyerapan gelombang radar. Berbagai material telah dikembangkan sebagai penyerap gelombang radar, termasuk material berbasis karbon, ferit, dan material komposit (Shinde dkk., 2022).

Sejak pertama kali dikembangkan pada tahun 1930-an, material penyerap gelombang radar (RAM) telah mengalami kemajuan pesat, dengan berbagai inovasi jenis material yang dibuat semakin tipis namun tetap efisien dalam menyerap gelombang radar. RAM pertama yang dikenal sebagai Wesch dibuat dari campuran serbuk carbonyl iron dan lembaran karet dengan ketebalan 7,62 mm. Material ini mampu meredam gelombang hingga frekuensi 3 GHz dan awalnya digunakan untuk melapisi kapal selam Jerman agar lebih sulit terdeteksi radar (Kim dkk., 2023). Perkembangan selanjutnya memperkenalkan penggunaan material magnetik, salah satunya adalah nanopartikel Fe_3O_4 (magnetit). Fe_3O_4 banyak dipilih berkat sifat ferrimagnetiknya, kemampuan polarisasi spin yang kuat pada suhu kamar, serta kompatibilitas tinggi dengan berbagai matriks. Keunggulan lain adalah dukungan mekanisme kehilangan magnetik, luas permukaan besar, dan distribusi nanopartikel yang seragam, sehingga efektivitas penyerapannya tinggi. Misalnya, Fe_3O_4 yang disintesis dari batuan besi laterit mampu memberikan nilai rugi refleksi maksimum -14,4 dB pada frekuensi 8 GHz dengan ketebalan 4 mm (Silvia dkk., 2021). Selain material magnetik, perkembangan RAM juga banyak memanfaatkan material berbasis karbon, seperti graphene, carbon nanotube, dan carbon fiber, karena karakteristiknya yang ringan serta efisiensi penyerapan gelombang yang baik. Salah satu material berbasis karbon yang banyak mendapat perhatian adalah reduced graphene oxide (rGO). rGO berfungsi sebagai bahan dielektrik yang efektif, mampu mendukung polarisasi serta interaksi optimal dengan gelombang elektromagnetik berkat luas permukaannya yang besar dan kesesuaian impedansi yang baik (Mashuri dkk., 2023).

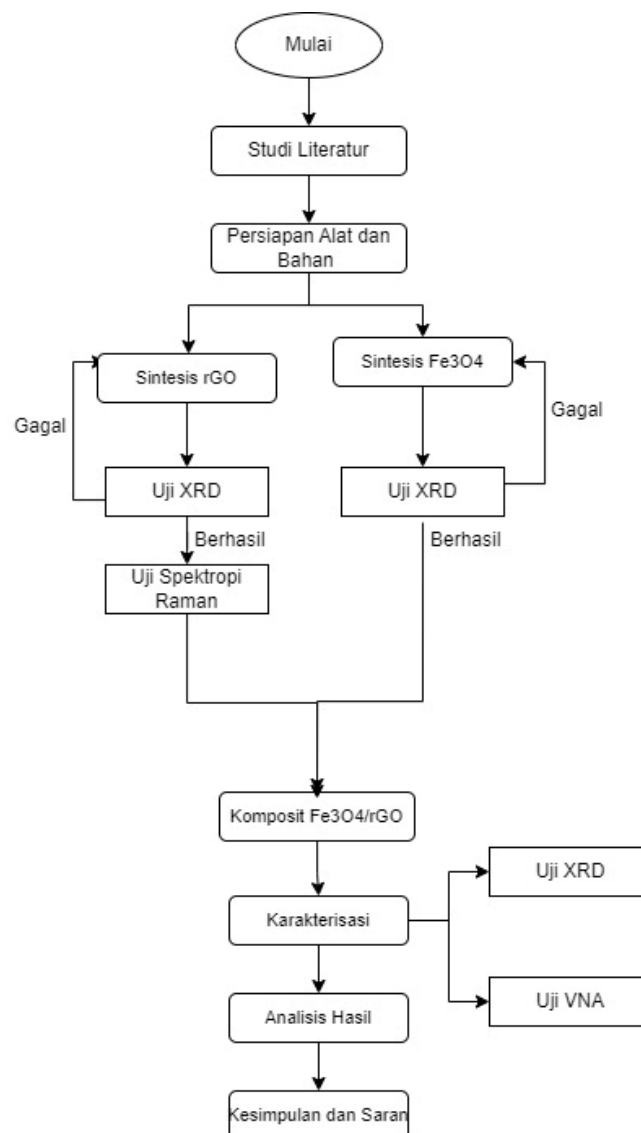
Kombinasi antara rGO dan Fe_3O_4 dalam bentuk komposit semakin memperkuat kinerja RAM, karena gabungan material ini mampu menyerap gelombang radar pada berbagai frekuensi. Oleh karena itu,

komposit rGO/Fe₃O₄ sangat menjanjikan untuk aplikasi stealth maupun perlindungan infrastruktur sensitif dari deteksi radar. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Zhu dkk., 2016), maka pada penelitian ini dikembangkan paduan berbasis Fe₃O₄ dengan menggunakan rGO sebagai bahan yang ditambahkan ke dalam Fe₃O₄. Pada sampel, diberikan variasi penambahan rGO terhadap paduan Fe₃O₄/rGO untuk mengetahui pengaruh rGO pada karakteristik penyerap gelombang radar. Oleh karenanya peneliti ini menggunakan judul “PENGARUH PENAMBAHAN REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) DALAM KOMPOSIT Fe₃O₄/rGO SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG RADAR DALAM RENTANG X-BAND”

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini adalah jenis penelitian eksperimen, dilaksanakan di Laboratorium Material Fisika, Universitas Negeri Surabaya. Pada penelitian mencakup beberapa tahapan sesuai dengan gambar 1, tahap pertama yaitu studi literatur dengan mencari referensi yang sesuai, sintesis rGO dari arang tempurung kelapa dengan metode hummers termodifikasi yang mengacu pada penelitian (Pratama dkk., 2021), sintesis Fe₃O₄ dari pasir besi dengan metode kopresipitasi yang mengacu pada penelitian (Citra & Aini, 2024), pencampuran rGO dan Fe₃O₄ sehingga menghasilkan komposit Fe₃O₄/rGO, karakterisasi sampel Fe₃O₄, rGO dan komposit Fe₃O₄/rGO dan pengujian aplikasi sebagai penyerap gelombang radar menggunakan *vector network analyzer*.



Gambar 1. Rancangan Penelitian

B. Variabel Operasional Penelitian

Dalam penelitian ini variabel yang digunakan meliputi variabel manipulasi, variabel kontrol dan hasilnya berupa variabel respon. Untuk variabel manipulasi yang digunakan yaitu penambahan berat rGO sebesar 0,07g; 0,08g; 0,09g; 0,10g dan 0,11g. Variabel kontrol yaitu massa dari Fe_3O_4 dan ketebalan sampel yang diuji sebagai material penyerap gelombang radar yang ditetapkan sebesar 1,5mm. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini atau variabel respon yaitu nilai penyerapan gelombang radar pada sampel.

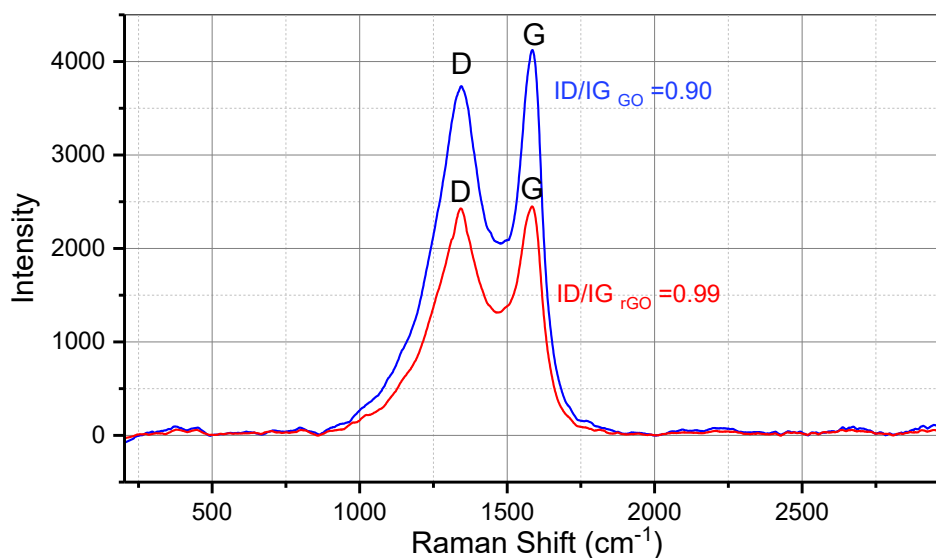
C. Teknik Pengumpulan Data

Serbuk GO dan rGO yang berhasil disintesis, diuji menggunakan Raman Spectroscopy yang bertujuan untuk mendeteksi adanya puncak D dan G untuk mengetahui struktur kristal dan sifat unggulan atau multilayer serta sifat GO dan rGO, data yang diperoleh dari pengukuran tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Origin. Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui fasa rGO, Fe_3O_4 dan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ data yang diperoleh diolah kembali menggunakan software Match dan software Origin. Selanjutnya dilakukan uji *vector network analyzer* untuk mengetahui efektivitas penyerapan gelombang radar dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Raman Spectroscopy

Hasil Spektroskopi Raman sampel GO dan rGO dapat dilihat pada gambar 2.

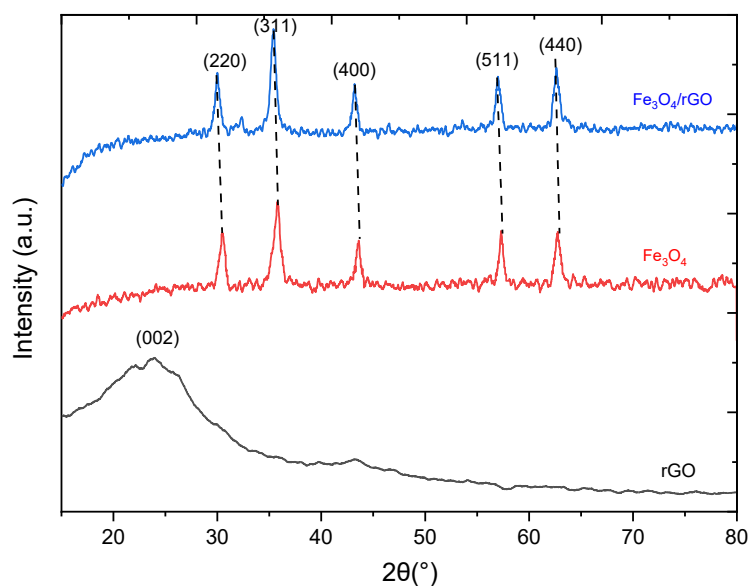


Gambar 2. Hasil Uji Raman Spectroscopy

Hasil uji Raman pada sampel graphene oxide (GO) memperlihatkan pita D pada posisi $1345,99 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 3734,59 counts dan pita G pada $1586,18 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas 4123,66 counts. Rasio intensitas I_D/I_G sebesar 0,90 mengindikasikan adanya cacat dalam struktur graphene oxide, meskipun domain sp^2 yang teratur masih cukup dominan (Muzyka dkk., 2021). Penelitian oleh Sujiono dkk. (2020) juga mengonfirmasi nilai I_D/I_G GO sebesar 0,89. Nilai ini menandakan bahwa material tersebut adalah graphene oxide, karena pada GO intensitas puncak D dan G hampir sama besar sehingga rasio I_D/I_G mendekati 1 (Sujiono dkk., 2020). Sampel rGO menunjukkan pergeseran pita D ke $1342,80 \text{ cm}^{-1}$ dan pita G ke $1584,59 \text{ cm}^{-1}$, dengan intensitas masing-masing 2426,57 dan 2446,94 counts. Rasio I_D/I_G meningkat menjadi 0,99, yang menandakan peningkatan cacat struktural akibat proses reduksi. Reduksi GO bertujuan menghilangkan gugus oksigen dan mengembalikan struktur sp^2 graphene, namun proses ini juga dapat menghasilkan kekosongan atau cacat baru di jaringan karbon, sehingga intensitas pita D meningkat (Honoris dkk., 2020). Rasio $I_D/I_G \approx 1$ merupakan ciri khas rGO dan telah digunakan sebagai identifikasi bahwa sampel tersebut adalah reduced graphene oxide yang diperkuat oleh penelitian (Asaningsih Affandi, 2023).

B. X-Ray Power Diffraction (XRD)

Pada penelitian ini, analisis terhadap struktur kristal dan komposisi fasa pada sampel dilakukan menggunakan teknik X-ray Diffraction (XRD), yang merupakan metode yang sangat efektif untuk mengidentifikasi dan mempelajari fasa kristalin dalam material. Hasil uji XRD dari sampel rGO, Fe_3O_4 dan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji X-Ray Power Diffraction

Berdasarkan hasil uji XRD sampel rGO menunjukkan dua puncak utama pada sudut 2θ sebesar $23,98^\circ$ dan 43.14° , yang masing-masing dikaitkan dengan bidang (002) dan (100). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Hidayat dkk., (2019) dan Agustina & Putri, (2018), yang juga berhasil mensintesis rGO dari tempurung kelapa dan melaporkan kemunculan pita XRD pada sudut sekitar $2\theta = 24^\circ$ dan 43° , dengan pola puncak yang melebar sebagai tanda bahwa material telah mengalami reduksi dan memiliki struktur yang semi-kristal. Sedangkan hasil karakterisasi X-ray Diffraction (XRD) untuk sampel Fe_3O_4 menunjukkan puncak-puncak difraksi intens pada sudut $2\theta = 30.06^\circ$, 35.43° , 43.17° , 57.10° , dan 62.761° . Pola ini sesuai temuan (Kusumawati & Mufida, 2021) yang mensintesis Fe_3O_4 dan menunjukkan puncak utama pada sudut 2θ : $30,20^\circ$, $35,30^\circ$, $42,80^\circ$, $56,90^\circ$, dan $62,50^\circ$, yang masing-masing berkaitan dengan bidang kristal (220), (311), (400), (511) dan (440), mengindikasikan bahwa nanopartikel Fe_3O_4 memiliki struktur kristal kubik (Kusumawati & Mufida, 2021). Ketika Fe_3O_4 dikompositkan dengan reduced graphene oxide (rGO), pola XRD dari komposit tetap menunjukkan puncak-puncak difraksi milik Fe_3O_4 , sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur kristalnya tidak berubah secara signifikan. Namun, terdapat pergeseran kecil pada beberapa posisi puncak. Pergeseran dan perubahan ini menunjukkan adanya interaksi antara partikel Fe_3O_4 dan lembaran rGO dalam struktur komposit (Munasir & Kusumawati, 2019).

C. Vector Network Analyzer

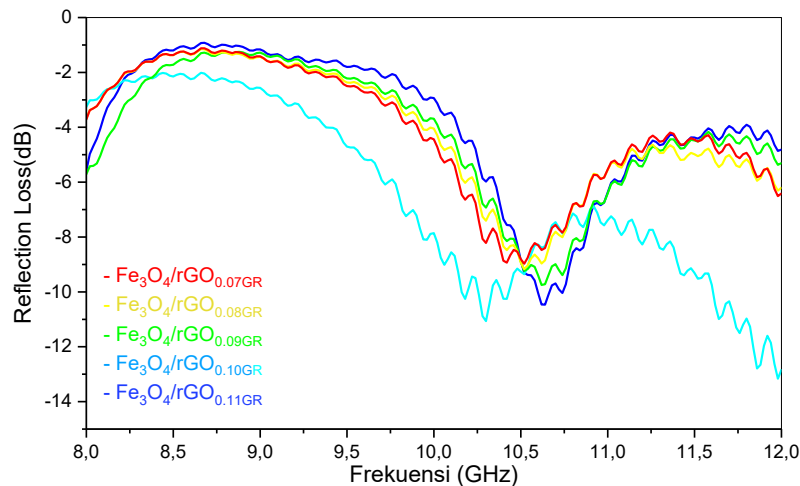
Pengujian dilakukan menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) pada rentang frekuensi 8–12 GHz, yang termasuk dalam spektrum gelombang mikro (microwave). Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kinerja penyerapan gelombang elektromagnetik oleh material komposit berbasis Fe_3O_4 (magnetit) dan rGO (reduced Graphene Oxide).

Pengujian menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan material dalam menyerap gelombang mikro. Nilai Return Loss diperoleh melalui pengukuran parameter scattering dengan VNA. Hasil uji serapan gelombang mikro menggunakan VNA menghasilkan data S_{11} , yang merefleksikan besarnya energi gelombang yang dipantulkan kembali oleh material tersebut. Nilai Reflection Loss dapat ditulis sebagai berikut:

$$RL = S_{11} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (1)$$

$$\text{Absorpsi (\%)} = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (2)$$

Untuk menentukan persentase daya gelombang yang terserap oleh material atau persentase absorpsi, digunakan persamaan 2. Dengan keterangan S_{11} adalah parameter refleksi dan S_{21} adalah parameter transmisi.



Gambar 4. Hasil Uji Vector Network Analyzer

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki reflection loss optimum adalah sampel dengan penambahan rGO sebanyak 0.10g. Nilai reflection loss mencapai -11,07 dB pada frekuensi 10,3GHz. Sedangkan nilai reflection loss minimum adalah sampel dengan penambahan rGO sebanyak 0.07g. penyerapan gelombang radar pada sampel dapat dilihat berdasarkan nilai reflection loss, semakin besar nilai negatif reflection loss menunjukkan semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang radar (Taryana dkk., 2019).

Ketika gelombang mikro menghantam permukaan suatu material, terdapat tiga mekanisme utama yang terjadi dalam proses interaksinya, yaitu refleksi, transmisi, dan absorpsi. Mekanisme refleksi terjadi ketika sebagian energi gelombang mikro yang datang mengenai permukaan material dipantulkan kembali ke lingkungan, atau dengan kata lain gelombang tersebut tidak dapat menembus material dan kembali ke arah sumbernya. Sementara itu, sebagian energi gelombang mikro lainnya dapat menembus material dan melanjutkan perjalanannya hingga keluar dari sisi lain material. Proses inilah yang disebut transmisi. Mekanisme ketiga adalah absorpsi, yaitu energi gelombang yang tidak dipantulkan maupun diteruskan, melainkan diserap oleh struktur internal material. Energi yang diserap ini umumnya diubah menjadi bentuk energi lain, paling sering menjadi panas, akibat interaksi antara gelombang elektromagnetik dengan elektron, molekul, atau struktur kisi di dalam material. Tingkat absorpsi sangat penting, terutama pada material penyerap gelombang mikro (Radar Absorbing Material/RAM), karena semakin besar energi yang diserap, maka semakin kecil sinyal yang bisa dipantulkan atau diteruskan, sehingga objek yang dilapisi RAM menjadi sulit terdeteksi radar (Kurnia, 2023). Menggunakan persamaan 1 dan 2 maka diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai Reflection Loss dan Persentase Absorpsi

Sampel	Frekuensi (GHz)	Reflection Loss (dB)	Absorpsi(%)
Fe ₃ O ₄ /rGO _{0,07g}	10,52	-8,97	87,33
Fe ₃ O ₄ /rGO _{0,08g}	10,52	-9,17	87,89
Fe ₃ O ₄ /rGO _{0,09g}	10,62	-9,74	89,39
Fe ₃ O ₄ /rGO _{0,10g}	10,30	-11,06	92,17
Fe ₃ O ₄ /rGO _{0,11g}	10,64	-10,46	91,01

Berdasarkan data pengujian sifat penyerap gelombang mikro pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$, terlihat bahwa hanya dua sampel yang memenuhi kriteria nilai rugi refleksi (RL) kurang dari -10 dB, yaitu $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}_{0,10\text{g}}$ pada frekuensi 10,30 GHz dengan RL sebesar -11,06 dB dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}_{0,11\text{g}}$ pada frekuensi 10,64 GHz dengan RL -10,46 dB. Keduanya juga menunjukkan nilai absorpsi yang sangat tinggi, masing-masing 92,17% dan 91,01%, menandakan kemampuan material untuk menyerap sebagian besar energi gelombang mikro yang datang. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan massa rGO dalam komposit cenderung meningkatkan performa penyerapan hingga mencapai optimumnya, di mana kedua sampel tersebut berpotensi besar untuk diaplikasikan sebagai material penyerap gelombang radar (RAM) pada frekuensi X-band. Dengan demikian, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}_{0,10\text{g}}$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}_{0,11\text{g}}$ sangat layak dijadikan kandidat utama dalam aplikasi teknologi stealth maupun pelindung infrastruktur sensitif terhadap deteksi radar, karena memenuhi syarat $\text{RL} < -10$ dB dan memiliki efisiensi absorpsi di atas 90% (Peymanfar dkk., 2023).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan massa rGO dalam komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ secara signifikan meningkatkan kemampuan material sebagai penyerap gelombang radar. Peningkatan komposisi rGO dari 0,07 gram hingga 0,11 gram menyebabkan nilai reflection loss (RL) menurun dari -8,98 dB menjadi -11,07 dB, yang menunjukkan daya serap gelombang mikro yang semakin baik. Nilai RL optimum diperoleh pada sampel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ dengan komposisi 0,10 gram rGO, yaitu sebesar -11,07 dB pada frekuensi 10,30 GHz. Sampel ini juga menunjukkan persentase absorpsi yang tinggi, yakni sebesar 92,17%, dan telah memenuhi kriteria material penyerap gelombang radar dengan $\text{RL} < -10$ dB. Dengan demikian, penambahan rGO pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ terbukti efektif dalam meningkatkan performa material sebagai Radar Absorbing Material (RAM) pada frekuensi X-band.

B. Saran

Saran untuk penelitian ini yaitu sebaiknya dilakukan pengujian pada berbagai frekuensi dan dengan ketebalan material yang berbeda-beda. Hal ini penting untuk memastikan apakah material penyerap gelombang radar tetap bekerja dengan baik dan stabil di berbagai kondisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, L., & Putri, N. P. (2018). Analisis Fasa dan Ikatan Molekul Reduced Graphene Oxide (rGO) Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Seminar Nasional Fisika*, 222–225.
- Akhlaq, M., Farooq, H., & Ahmad, E. Z. (2019). Performance Analysis of X-Band Radar in the Presence of Electronic Jammers. *2019 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICECCE47252.2019.8940790>
- Asaningsih Affandi, D. (2023). Characteristics of Graphene Like Material Synthesized from Commercial Activated Carbon of Coconut Shell Using a Modified Hummers Methods. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 7(1), 58–68. <https://doi.org/10.24198/jiif.v7i1.43488>
- Citra, & Aini, S. (2024). Pengaruh Konsentrasi Larutan FeCl_3 , FeCl_2 Pada Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetik (Fe_3O_4) Berbahan Dasar Pasir Besi Muara Sungai Batang Gumanti Kab. Solok. 08, 1–6.
- Hidayat, A., Setiadj, S., & Hadisantoso, E. P. (2019). Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Arang Tempurung Kelapa (Cocos nucifera). *al-Kimiya*, 5(2), 68–73. <https://doi.org/10.15575/ak.v5i2.3810>
- Honoris, M. B. P., Huda, N., Partuti, T., & Sholehah, A. (2020). Sintesis dan karakterisasi grafena oksida dari tempurung kelapa dengan metode sonikasi dan hidrotermal. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.36055/tjst.v16i1.7519>
- Kim, S., Lee, S., Zhang, Y., Park, S., & Gu, J. (2023). Carbon-Based Radar Absorbing Materials toward Stealth Technologies. *Advanced Science*, 10(32), 1–22. <https://doi.org/10.1002/advs.202303104>
- Kurnia, A. (2023). Analisis Keuntungan Dan Kendala Pemanfaatan Gelombang Mikro (Micro Wave) Pada

- Pesawat Radar. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika*, 8(3), 36. <https://doi.org/10.24114/jiaf.v8i3.35112>
- Kusumawati, D. H., & Mufida, R. Y. (2021). Development of rGO/Fe₃O₄ Composites as Glucose Biosensors. *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: e-Saintika*, 5(2), 168–174. <https://doi.org/10.36312/esaintika.v5i2.493>
- Mashuri, M., Usman, A. A., & Suyatno, S. (2023). Reduced graphene oxide-ferrite microcomposites based on petung bamboo (*dendrocalamus asper*) charcoal and iron sand as lightweight microwave absorbing materials. *Materials Research Express*, 10(1), 015601. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acb1a3>
- Munasir, & Kusumawati, R. P. (2019). Synthesis and Characterization of Fe₃O₄@rGO Composite with Wet-Mixing (ex-situ) Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1171(1), 2–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012048>
- Peymanfar, R., Dogari, H., Selseleh-Zakerin, E., Hedayatzadeh, M. H., Daneshvar, S., Amiri-Ramsheh, N., Ghafuri, H., Mirkhan, A., Ji, G., & Aslibeiki, B. (2023). Recent advances in microwave-absorbing materials fabricated using organic conductive polymers. *Frontiers in Materials*, 10(March), 1–27. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1133287>
- Pratama, A., Destiarti, L., & Adhitiyawarman, A. (2021). Sintesis Titanium Oksida/Reduced Graphene Oxide (TiO₂/rGO) untuk Fotokatalisis Bahan Pewarna Metilen Biru. *Positron*, 11(1), 31. <https://doi.org/10.26418/positron.v11i1.45355>
- Putri, W., Nur, A., Gafira, C., & Sovian, A. (2024). Nanokomposit Sebagai Penyerap Gelombang Elektromagnetik Untuk Radar Absorbent Material. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 7(1), 151–159. <https://doi.org/https://doi.org/10.30596/rmme.v7i1.17287>
- Shinde, D. D., Babu, V., & Khandal, S. V. (2022). A Review on Types of Radar Absorbing Materials. *Shanlax International Journal of Management*, 9(S1-Mar), 122–127. <https://doi.org/10.34293/management.v9iS1-Mar.4901>
- Silvia, L., Aslama, B., Novialent, E., & Zainuri, M. (2021). Synthesis of Magnetite Fe₃O₄ from Laterite Iron Rock as Microwave Absorber Material. *Journal of Physics: Conference Series*, 1951(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1951/1/012024>
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, B. D., Samnur, & Agus, J. (2020). Graphene oxide based coconut shell waste: synthesis by modified Hummers method and characterization. *Heliyon*, 6(8), e04568. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04568>
- Taryana, Y., Manaf, A., Sudrajat, N., & Wahyu, Y. (2019). Material Penyerap Gelombang Elektromagnetik Jangkauan Frekuensi Radar (Electromagnetic Wave Absorbing Materials On Radar Frequency Range). *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 28(1), 1–28.
- Wisudawan, H. N. P., & Yuwono, T. (2024). *Prinsip Kerja Radar dan Pentingnya dalam Menjaga Kedaulatan Negara*. Department Of Electrical Engineering.
- Zhu, L., Zeng, X., Li, X., Yang, B., & Yu, R. (2016). Author ' s Accepted Manuscript absorbing. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.11.063>