

Grafen untuk Aplikasi Penyerapan Gelombang Radar Mikro: Dari Sintesis Graphene Oxide (GO) Berbasis Tempurung Kelapa

Muthi'ah Alfiyah Yamin^{1*}, Sovian Aritonang², Riri Murniati³

^{1,2,3}Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science,
Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Bogor, Indonesia

*Email : Muthiah.yamin@mipa.idu.ac.id

ABSTRACT

Radar systems detect objects using electronic signals. Radar Absorbing Material (RAM), especially graphene, increases radar wave absorption. Using coconut waste to make Graphene Oxide (GO) supports sustainability. It advances more efficient and sustainable radar wave absorption technology. This research is based on literary analysis. The method used in this research is a literature review and, in this study, will compare the reflection loss material graphene oxide as a radar absorber with other materials. This research shows that GO synthesized with the Hummer method at 400°C has the best performance in radar wave absorption, competing with other materials such as CoTi1-xCexO3 and silicone rubber variations. This makes GO an attractive choice for radar wave absorption applications, especially on microwave frequencies.

Keywords: Absorber Radar, Graphene Oxide, Coconut Waste, Hummer Method

PENDAHULUAN

Radar merupakan suatu sistem gelombang elektronik yang bekerja dengan cara memancarkan dalam bentuk gelombang radio dan gelombang mikro [1]. Gelombang ini dipantulkan oleh objek dan dideteksi oleh radar untuk mengetahui keberadaan benda di sekitar, serta mendeteksi, memperkirakan dan mengoordinasikan benda seperti pesawat terbang, kapal laut, dan informasi cuaca. Dari segi efisiensi operasional, perlu dilakukan pengurangan daya deteksi radar. Di sinilah konsep detektor radar (RAM) berguna. RAM adalah item khusus yang dirancang untuk menembus gelombang radar sebanyak mungkin. Penggunaan gelombang radar mikro pada konsep ini memungkinkan penerimaan gelombang radar secara efisien dan pada tingkat tinggi.

Dengan terus berkembangnya teknologi elektromagnetik, komunikasi dan penerapan sistem radar (Radio Detection and Ranging), dampak radiasi elektromagnetik terhadap kinerja perangkat elektronik semakin meningkat [2]. Oleh karena itu, pengembangan bahan sintesis sangat penting untuk meningkatkan kinerja bahan dalam hal ketahanan, elastisitas dan mencegah deteksi oleh radiasi elektromagnetik. Pengembangan Radar Absorbing Material menjadi topik yang menarik untuk diteliti. Dalam kondisi yang optimal, RAM sebaiknya memiliki sifat tipis, ringan, tingkat konduktivitas listrik dan magnetik yang tinggi, stabilitas termal yang optimal, serta ketahanan terhadap korosi [2].

Mengenai penyerapan gelombang radar, material konvensional seringkali memiliki keterbatasan. Material ini biasanya cenderung berat, tebal, dan kurang fleksibel dalam berbagai aplikasi. Kekurangan ini menghambat kemampuan material dalam menangani frekuensi tinggi dan beradaptasi dengan perkembangan teknologi radar. Inilah mengapa material grafen hadir sebagai solusi menarik. Grafen, yang merupakan salah satu bentuk bahan karbon, menawarkan sejumlah sifat unik yang berbeda dengan material konvensional. Grafen memiliki konduktivitas listrik dan termal tinggi [3], serta memiliki kelebihan berupa bobot yang ringan meskipun ketebalan hanya satu atom, namun memiliki kekuatan mekanik yang luar biasa. Tidak hanya itu, karbon juga memiliki berbagai alotrop seperti nanotube karbon, fullerene, dan grafen, bersama dengan versi teroksidasi seperti oksida grafen (GO) dan oksida grafen tereduksi (rGO) yang telah dihasilkan dalam berbagai bentuk untuk berbagai aplikasi [2]. Dengan karakteristik yang lebih ringan, tipis, dan beragam ini, grafen menjadi bahan yang menjanjikan dalam meningkatkan kinerja penyerapan gelombang radar, membuka potensi baru dalam teknologi radar yang lebih canggih.

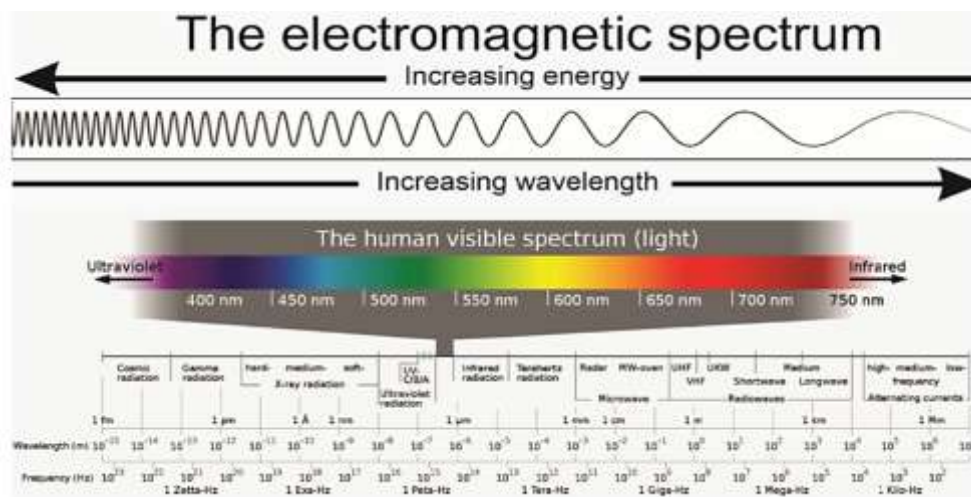
Keunikan sifat grafen, yang merupakan bahan diinginkan dalam berbagai aplikasi, termasuk penyerapan gelombang radar mikro, telah memunculkan minat besar. Namun, ketersediaan grafen masih terbatas. Salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan grafen adalah melalui

oksidasi grafit menjadi grafen oksida [4]. Kinerja grafen sangat penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan gelombang radar mikro. Dengan ketebalan minimal dan struktur yang khas, grafen mampu mengatasi frekuensi tinggi dengan sangat efisien. Hal ini memungkinkan penggunaan material grafen, terutama Graphene Oxide (GO), untuk menyerap gelombang radar dengan lebih baik daripada material konvensional yang cenderung lebih tebal dan berat.

Sementara itu, dalam perkembangan teknologi saat ini, keberlanjutan telah menjadi fokus utama. Dalam kerangka ini, penggunaan sumber daya yang ada, seperti limbah tempurung kelapa, telah menjadi alternatif menarik. Limbah ini dapat dimanfaatkan untuk mendukung pembuatan GO yang ramah lingkungan [5]. Proses ini tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga menghasilkan material GO berkualitas tinggi yang dapat digunakan dalam aplikasi radar.

Dengan potensi kinerja yang unggul dan aspek keberlanjutan, grafen oxide menjanjikan masa depan yang lebih cerah dalam teknologi penyerapan gelombang radar mikro. Inovasi dalam penggunaan GO, khususnya dengan memanfaatkan sumber daya limbah seperti tempurung kelapa, adalah langkah penting menuju teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Ada berbagai cara untuk menghasilkan graphene oksida dari tempurung kelapa, termasuk proses Hummer atau proses oksidasi kimia [5]. Metode ini terbukti sangat efektif dalam memproduksi graphene oksida [4], [6].

Electromagnetic spectrum



Gambar 1. Spektrum Elektromagnetik. Adaptasi dari [7]

Spektrum elektromagnetik merupakan representasi sempurna dari semua jenis cahaya yang terdapat di alam, termasuk cahaya yang tidak dapat dilihat oleh mata manusia. Kebanyakan cahaya di alam berada di luar jangkauan penglihatan kita, seperti gelombang radio, gelombang mikro, sinar infra merah, sinar ultraviolet, sinar X dan sinar gamma [1]. Berbagai jenis radiasi elektromagnetik diklasifikasikan berdasarkan frekuensi, panjang gelombang, dan tingkat daya, sehingga menciptakan radiasi elektromagnetik yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Spektrum elektromagnetik mencakup berbagai jenis radiasi elektromagnetik, dari gelombang berfrekuensi rendah, seperti gelombang radio, hingga gelombang berfrekuensi sangat tinggi, seperti sinar-x dan sinar gamma. Di antara spektrum ini terdapat banyak frekuensi yang disebut “frekuensi radar” atau “gelombang radar”, yang berada di antara gelombang radio dan frekuensi gelombang mikro.

Spektrum elektromagnetik memiliki banyak penerapan di berbagai bidang, salah satunya ialah teknologi radar. Pada tabel 1, dapat dilihat bahwa setiap bands, range frekuensi dan panjang gelombangnya memiliki kegunaannya masing-masing.

Tabel 1. Bands Frekuensi Radar, Adaptasi dari [1]

Radar Bands (IEEE)	Frequency range	(ITU)	Wavelength	Use
TLF	<3 Hz		>100,000 km	Frequency of neural activity.
ELF	3–30 Hz	1	100,000 km – 10,000 km	Neural activity, communication with submarines.
SLF	30–300 Hz	2	10,000 km–1000 km	Communication with submarines.
ULF	300–3000 Hz	3	1000 km–100 km	Communication with submarines, communications in mines across the land.
VLF	3–30 kHz	4	100 km–10 km	Radio Help, Time Signals, Underwater Communication, Wireless Pulse Gauges, Geophysics.
LF	30–300 kHz	5	10 km–1 km	Radio help, time signals, AM broadcasting (long wave) (Europe and parts of Asia), RFID, amateur radio.
MF	300–3000 kHz	6	1 km–100 m	AM broadcasting (medium wave), amateur radio, avalanche beacon.
HF	3–30 MHz	7	100–10 m	Over the horizon surveillance; low range and low resolution.
VHF	30–300 MHz	8	10–1 m	Long-range surveillance, counter stealth, ground-penetrating; low/medium resolution.
UHF	300–1000 MHz	9	1–0.3 m	Long-range surveillance, FOPEN; low/medium resolution.
L	1–2 GHz		30–15 cm	Long-range air traffic control; medium resolution, small weather effects.
S	2–4 GHz		15–7.5 cm	Terminal air traffic control, long-range weather observation, moderate weather effect in heavy precipitation.
C	4–8 GHz		7.5–3.75 cm	Long-range tracking, weather observation, weapon location; increased weather effect in light/medium rain.
X	8–12.5 GHz		3.75–2.4 cm	Short-range tracking, missile guidance, mapping marine radar, airborne intercept, battlefield surveillance, weapon location.
K_u	12.5–18 GHz		2.4–1.7 cm	High-resolution mapping, satellite altimetry, short-range due to water vapor absorption.
K	18–26.5 GHz		1.7–1.1 cm	Police radar; very limited use due to high water vapor absorption.
K_a	26.5–40 GHz		1.1–0.75 cm	Short-range very high-resolution mapping, airport surveillance; short range due to water vapor absorption.
V	40–75 GHz		0.75–0.4 cm	Scientific remote sensing; high water vapor absorption.
W	75–110 GHz		0.4–0.2 cm	Automobile cruise control (77 GHz), missile seekers, very high-resolution imaging (94 GHz).
Millimeter	110–300 GHz		0.2–0.1 cm	Experimental; limited to the short-range due to high water vapor absorption.

Karbon Berbasis Tempurung Kelapa

Penelitian ini melakukan sintesis graphene oxide (GO) dengan menggunakan metode modifikasi Hummer. Tahapan dalam penelitian ini meliputi tahap pembuatan arang tempurung kelapa, tahap aktivasi karbon, tahap sintesis GO, dan tahap sonikasi dan netralisasi GO. Penelitian ini juga memperhatikan variasi suhu pembakaran tempurung kelapa untuk melihat pengaruhnya terhadap penyerapan gelombang mikro.

● Persiapan Arang dari Tempurung Kelapa

Pada tahap pembuatan arang tempurung kelapa dilakukan pengeringan selama 2 hari untuk mengurangi kadar air yang kemudian akan dipotong menjadi potongan kecil dan dipanaskan selama 60 menit pada suhu 110°C selama. Selanjutnya, tempurung kelapa diproses dalam tungku pada berbagai suhu (250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C) selama 30 menit hingga berubah menjadi arang. Arang tempurung kelapa dihancurkan menjadi bubuk dan disaring dengan ukuran ayakan 125 mesh.

● Aktivasi Karbon

Karbon diaktifkan dengan mencampur bubuk arang tempurung kelapa dan larutan NaOH. Delapan gram bubuk arang dan 100 mL larutan NaOH dicampur dalam sebuah beaker hingga arang terendam dalam larutan. Campuran ini direndam selama 24 jam dan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam.

● Sintesis Graphene Oxide

Sintesis GO dilakukan dengan metode Hummer yang telah dimodifikasi. Untuk sintesis GO, metode Hummers yang dimodifikasi digunakan. Tahap pertama melibatkan pencampuran 1,5 g arang tempurung kelapa yang sudah diaktivasi dengan 0,75 g NaNO₃. Campuran ini kemudian ditambahkan H₂SO₄ sebanyak 34,5 mL dan diaduk selama 20 menit pada suhu 0–5°C dengan kecepatan 250 rpm. Selanjutnya, 4,5 g serbuk ditambahkan perlahan agar suhu tetap di bawah 20°C, dengan berhati-hati agar campuran tetap stabil. Setelah penambahan KMnO₄, campuran diaduk selama 30 menit pada suhu 35°C untuk mengoksidasi reaksi sepenuhnya. Selama proses ini, larutan berubah menjadi coklat pucat. Kemudian, 69 mL air suling ditambahkan secara perlahan sambil diaduk selama 20 menit. Saat menambahkan air suling, suhu dijaga di bawah 50°C untuk memungkinkan observasi proses oksidasi, yang ditandai dengan perubahan warna campuran menjadi coklat tua dan munculnya gelembung. Selanjutnya, 100 mL air ditambahkan, diikuti dengan penambahan H₂O₂ sebanyak 1,5 mL. Penambahan H₂O₂ bertujuan untuk menghilangkan sisa KMnO₄ atau menghentikan reaksi, sehingga larutan akhirnya berwarna kuning, menunjukkan keberadaan graphene oxide.

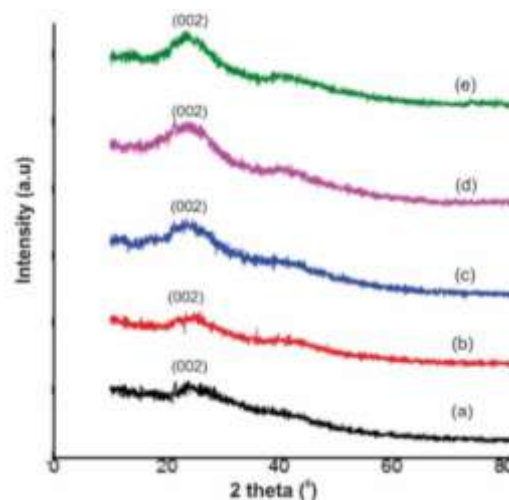
METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini berlandaskan pada analisis literatur yang diperoleh dari sumber data sekunder. Tinjauan literatur merupakan proses yang melibatkan proses sistematis dalam menemukan, menganalisis, dan merangkum penelitian dan gagasan yang telah dihasilkan oleh para akademisi dan praktisi secara sistematis, jelas, dan dapat dipercaya. Peneliti memperoleh data dan informasi secara tidak langsung dari berbagai sumber terpercaya, termasuk kajian literatur, publikasi ilmiah, dan penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini akan dibandingkan data reflection loss material graphene oxide sebagai absorber radar dengan material lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

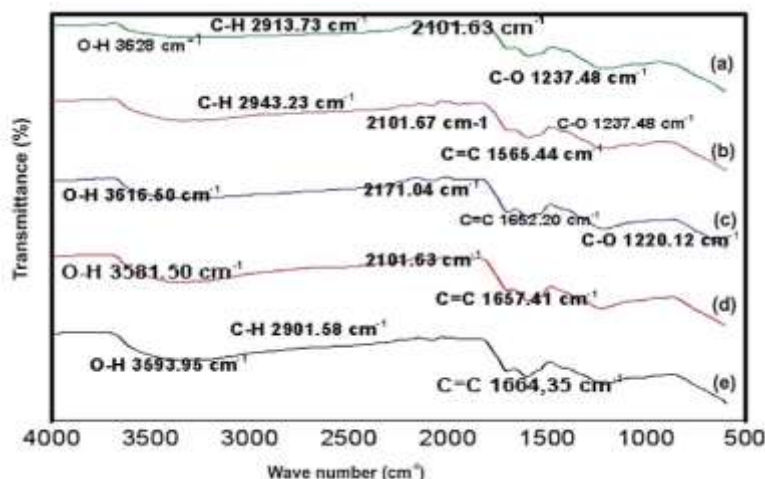
3.1 Klasifikasi Material GO Berbasis Tempurung Kelapa sebagai Absorber Radar

Karakterisasi GO dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik analisis, seperti X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infra-Red (FTIR), dan Vector Network Analyzer (VNA), guna mengidentifikasi struktur, gugus fungsional, dan kemampuan penyerapan gelombang mikro dari GO.



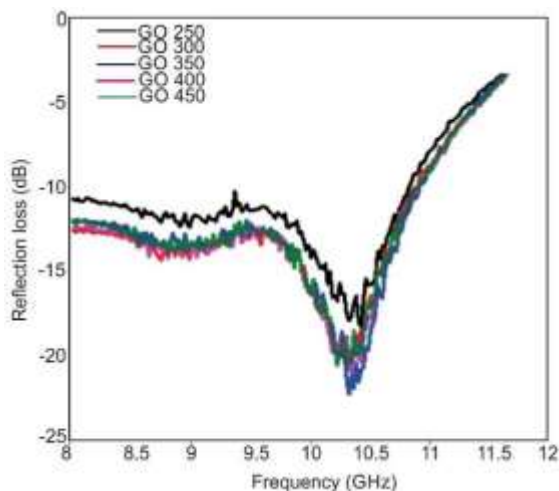
Gambar 2. XRD dari GO untuk (a) 250°C (b) 300°C (c) 350°C (d) 400°C (e) 450°C [8]

Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), sintesis yang telah dilakukan berhasil membentuk struktur kristal yang jelas. Dapat dilihat pada Grafik 2, yang mencakup pengujian struktural pada berbagai suhu (250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C) mengungkapkan bahwa pola difraksi pada semua variasi suhu menunjukkan puncak pada sudut $2\theta = 25,68$. Jarak d-spacing dari puncak ini adalah sekitar 3,47 Å. Selain itu, ukuran kristal dapat diidentifikasi dari hasil karakterisasi ini, diperoleh ukuran kristal dari lima variasi suhu, yaitu 43,2 nm, 39,9 nm, 29,5 nm, 39,9 nm, dan 28,8 nm, secara berurutan. Data ini memberikan gambaran yang jelas tentang struktur kristal dan ukuran partikel yang terbentuk selama proses sintesis berdasarkan variasi suhu tertentu, yang memiliki potensi aplikasi penting dalam bidang penelitian material.



Gambar 3. Spektrum IR GO untuk (a) 250°C (b) 300°C (c) 350°C (d) 400°C (e) 450°C [8].

Untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang muncul dari graphene oxide (GO) dari proses ikatan dilakukan analisis FTIR. Hasil karakterisasi FTIR seperti terlihat pada Gambar 3 menunjukkan karakteristik fungsional GO yang berbeda pada suhu yang berbeda. Metode FTIR merupakan alat penelitian yang berharga dalam penelitian ini, memungkinkan identifikasi sampel dalam berbagai bentuk, dari padat hingga cair, mendukung aplikasi di banyak bidang. Keunggulan FTIR dalam menyediakan data dengan tingkat kejelasan yang tinggi dan kecepatan pengambilan data yang efektif menjadikannya alat penelitian yang penting dalam penelitian ilmiah, termasuk pemahaman mendalam tentang struktur dan karakterisasi zat seperti hasil GO dari sistem [9].



Gambar 4. Karakterisasi VNA dari GO [8].

Dalam penelitian ini, pengujian karakteristik Graphene Oxide (GO) menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) telah dilakukan untuk menilai kemampuan penyerapan material terhadap gelombang mikro. Grafik hasil pengujian menggunakan VNA memperlihatkan hubungan antara kerugian pantulan (Reflection Loss - RL) pada sumbu Y dengan frekuensi (f) pada sumbu X. Rentang frekuensi yang digunakan dalam pengujian berkisar antara 8 hingga 12 GHz, yang merupakan frekuensi pada rentang Ku-band X, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, koefisien penyerapan Graphene Oxide untuk setiap variasi dapat dilihat pada tabel 2 :

Tabel 2. Nilai dari Koefesien Penyerapan GO [8]

GO	Frequency (GHz)	Reflection Loss (dB)	Absorption Coefficient (%)
250	10.20	-17.90	87.26%
300	10.30	-23.20	92.58%
350	10.30	-24.30	93.83%
400	10.40	-24.40	93.97%
450	10.40	-23.30	93.13%

Berdasarkan tabel 2. dapat dilihat bahwa nilai reflection loss terbesar yaitu -17.90 dengan persen koefisien penyerapannya terkecil sebesar 87,26% dalam variasi GO suhu 250°C. Sementara itu, nilai koefisien penyerapan terbesar dapat dilihat pada reflection loss terkecil yaitu -24.40 dB dengan persen koefisien penyerapannya sebesar 93,97% dalam variasi GO suhu 400°C.

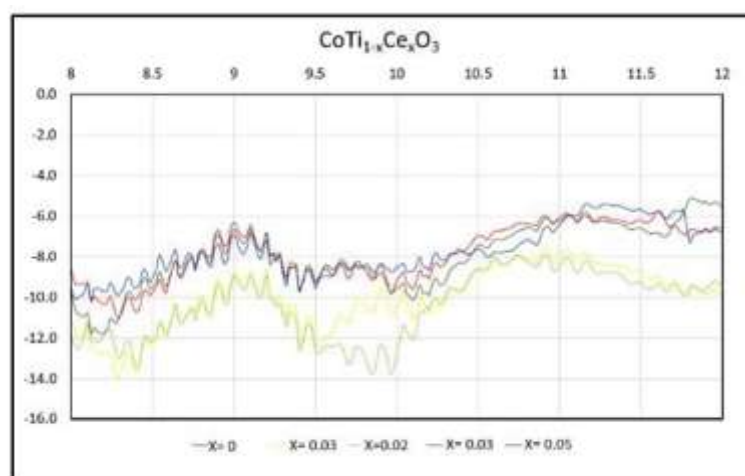
Reflection loss merupakan hasil dari energi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan saat berinteraksi dengan permukaan bahan. Tanda positif dan negatif dalam reflection loss mengindikasikan apakah energi yang dipantulkan lebih besar atau lebih kecil dibandingkan dengan energi awal gelombang. Tanda positif menunjukkan bahwa energi pantulan lebih besar, sementara tanda negatif mengindikasikan sebaliknya [10]. Dari data ini dapat diketahui bahwa terdapat hubungan antara reflection loss dan koefisien penyerapan yaitu berbanding terbalik [11].

3.2 Klasifikasi Material Lain Sebagai Absorber Radar

Untuk mengevaluasi potensi penggunaan graphene oxide (GO) sebagai absorber radar, perlu dilakukan perbandingan dengan beberapa material lain yang telah ada. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang sejauh mana GO dapat menjadi alternatif yang efektif dalam aplikasi absorber radar. Dengan membandingkan karakteristik GO dengan bahan-bahan ini, kita dapat mengevaluasi sejauh mana GO memiliki keunggulan dalam hal efisiensi penyerapan gelombang radar dan potensi penggunaannya dalam aplikasi radar yang lebih canggih

3.2.1 Material $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$

Material $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$ adalah material komposit dengan substitusi logam tanah jarang yang terdiri dari campuran oksida kobalt (Co), titan (Ti), dan cerium (Ce). Material ini memiliki sifat magnetik dan dielektrik yang menarik, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi elektronik dan optik. Komposisi material ini dapat bervariasi tergantung pada nilai x , yang dapat diatur untuk menghasilkan sifat yang diinginkan.

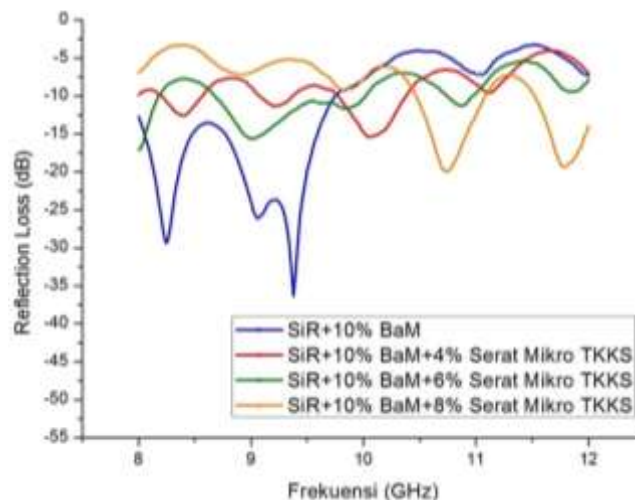
Gambar 5. Nilai reflection loss komposisi variasi ($0 < x < 0.05$) [18]

Untuk mengukur efektivitas absorber radar, dapat dilakukan pengukuran menggunakan

Vector Network Analyzer (VNA). Pada alat VNA akan memperlihatkan grafik reflection loss yang merupakan perbandingan jumlah fraksi gelombang yang terserap. Pada material ini dilakukan variasi nilai x dengan range $0 < x < 0.05$. Hasil pengukuran menggunakan VNA menunjukkan bahwa redaman gelombang radar paling signifikan terjadi pada titik $x = 0.02$, di mana reflection loss mencapai -13.99 dB pada frekuensi 10 GHz. Sebaliknya, titik $x = 0.05$ menunjukkan redaman gelombang yang sangat rendah, mirip dengan yang terjadi pada titik $x = 0$.

3.2.2 Material Komposit

Material komposit yang digunakan adalah komposit silikon rubber yang diperkuat dengan barium heksaferrit dopping Zn dan serat mikro tandan kosong kelapa sawit. Pada penelitian ini terdapat 4 variasi komposisi yaitu SiR+ 10%BaM, SiR+ 10%BaM+ 4% Serat TKKS, SiR+10%BaM+ 6% Serat TKKS, SiR+ 10%BaM+ 8% Serat TKKS.



Gambar. Reflection Loss Material [12].

Penguji Vector Network Analyzer dipertujukan untuk mengukur nilai rugi refleksi pada material ini. Pada proses pengambilan data VNA, gelombang elektromagnetik dihasilkan oleh perangkat pembangkit gelombang dalam rentang frekuensi X-Band. Gelombang ini kemudian dikirim melalui waveguide dan dianalisis oleh VNA, yang menghasilkan data dalam bentuk grafik yang tertera pada gambar 6.

Grafik tersebut menampilkan perubahan rugi pantulan dari empat jenis material yang berbeda. Komposit SiR+10% BaM memiliki rugi pantulan terendah sebesar $-36,3$ dB pada frekuensi 9,38 GHz. Di sisi lain, dalam komposit SiR+10% BaM+4% Serat Mikro TKKS, nilai rugi pantulan mencapai $-15,4$ dB pada frekuensi 10 GHz. Variasi komposit SiR+10% BaM+6% Serat Mikro TKKS menunjukkan rugi pantulan minimum sebesar $-17,1$ dB pada frekuensi 8 GHz, sedangkan komposit SiR+10% BaM+8% Serat Mikro TKKS memiliki nilai rugi pantulan terkecil sebesar -20 dB pada frekuensi 10,7 GHz. Data menunjukkan bahwa penambahan serat tandan kosong kelapa sawit menyebabkan penurunan nilai rugi pantulan, disebabkan oleh sifat isolatif dari serat tersebut.

KESIMPULAN

Meningkatkan efisiensi material penyerap gelombang radar (RAM) adalah konsep yang sangat penting untuk mengurangi pantulan gelombang elektromagnetik. Dari temuan dalam penelitian ini, dapat dinyatakan bahwa proses sintesis Graphene Oxide (GO) berhasil dilakukan dengan menggunakan metode Hummerdan dan memiliki potensi sebagai material penyerap gelombang radar. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa GO memiliki kemampuan penyerapan gelombang terbaik ketika diproses pada suhu 400°C , dengan reflection loss terendah sebesar $-24,40$ dB dan koefisien penyerapan tinggi mencapai $93,79\%$ pada frekuensi 10,40 GHz. Dalam perbandingan dengan Material $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$ dan variasi material karet silikon, GO pada suhu 400°C

menunjukkan performa yang setidaknya setara, bahkan lebih baik dalam beberapa aspek, dalam hal penyerapan gelombang radar. Meskipun Material CoTi1-xCexO3 memiliki reflection loss yang rendah pada frekuensi 10 GHz dan variasi material karet silikon menunjukkan reflection loss yang signifikan pada frekuensi 9,38 GHz, GO pada suhu 400°C tetap memiliki karakteristik penyerapan gelombang radar yang sangat baik. Oleh karena itu, GO adalah pilihan menarik untuk aplikasi penyerapan gelombang radar, khususnya pada frekuensi gelombang mikro.

REFERENSI

- [1] I. C. NIRTANTO, Y. PRASETYO, and B. SASMITO, "ANALISIS PEMODELAN FASE TUMBUH PADI MENGGUNAKAN CITRA SYNTHETIC APERTURE RADAR C-BAND SENTINEL-1," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 11, no. 2, pp. 61–70, Jun. 2022, doi: 10.14710/jgundip.2022.34404.
- [2] F. Ruiz-Perez, S. M. López-Estrada, R. V. Tolentino-Hernández, and F. Caballero-Briones, "Carbon-based radar absorbing materials: A critical review," *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, vol. 7, no. 3, p. 100454, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jsamd.2022.100454.
- [3] J. A. King *et al.*, "Thermal and electrical conductivity of carbon-filled liquid crystal polymer composites," *J Appl Polym Sci*, vol. 99, no. 4, pp. 1552–1558, Feb. 2006, doi: 10.1002/app.22452.
- [4] A. Hidayat, S. Setiadji, and E. P. Hadisantoso, "Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) dari Arang Tempurung Kelapa (Cocos nucifera)," *al-Kimiya*, vol. 5, no. 2, pp. 68–73, Jan. 2019, doi: 10.15575/ak.v5i2.3810.
- [5] N. A. Putri and Z. A. I. Supardi, "SINTESIS DAN KARAKTERISASI GRAPHENE OXIDE (GO) DARI BAHAN ALAM TEMPURUNG KELAPA," *Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 47–55, Jul. 2023, doi: 10.26740/ifi.v12n2.p47-55.
- [6] E. H. Sujiono *et al.*, "Graphene oxide based coconut shell waste: synthesis by modified Hummers method and characterization," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, p. e04568, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04568.
- [7] S. A. Diddams, K. Vahala, and T. Udem, "Optical frequency combs: Coherently uniting the electromagnetic spectrum," *Science (1979)*, vol. 369, no. 6501, Jul. 2020, doi: 10.1126/science.aay3676.
- [8] E. H. Sujiono *et al.*, "Graphene oxide based coconut shell waste: synthesis by modified Hummers method and characterization," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, p. e04568, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04568.
- [9] T. A. Tamanna, S. A. Belal, M. A. H. Shibly, and A. N. Khan, "Characterization of a new natural fiber extracted from Corypha taliera fruit," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 7622, Apr. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-87128-8.
- [10] M. I. Ramadhan, W. Widanarto, and S. Sunardi, "Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Ni²⁺- Barium Ferit sebagai Penyerap Gelombang Mikro," *Jurnal Teras Fisika*, vol. 1, no. 1, p. 23, Feb. 2018, doi: 10.20884/1.jtf.2018.1.1.567.
- [11] A. Elisabet, S. Alam, and I. Surjati, "Peningkatan Koefisien Refleksi Antena Mikrostrip 28 GHz dengan Slit," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 9, no. 1, pp. 73–78, Apr. 2022, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v9i1.2894.
- [12] V. S. Wahyuli and - Ramli, "CHARACTERIZATION STRUCTURE MICRO OF GRAPHENE OXIDE WHICH SYNTHESIS FROM BAGASSE WITH MODIFIED HUMMERS METHOD," *PILLAR OF PHYSICS*, vol. 14, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.24036/12227171074.