

Studi Komparasi Bahan Barium Ferrite Magnet dan PANI/Fe₃O₄, Sebagai Radar Absorbing Material (RAM)

Elza Uly Tiara Tampubolon^{1*}, Bagus Kusuma², Sovian Aritonang³

¹⁻³Universitas Pertahanan, Indonesia

Email : elzaullytiaratampubolo@gmail.com^{1*}, baguskusuma089@gmail.com²
sovia.aritonang@idu.ac.id³

Alamat: Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Bogor, Jawa Barat, 16810, Indonesia

Korespondensi penulis: baguskusuma089@gmail.com

Abstract. This research examines the effectiveness of Barium Ferrite and PANI/Fe₃O₄ composite as Radar Absorbing Material (RAM) to reduce radar detection. Barium Ferrite has high absorption at high frequencies as well as good thermal stability, making it suitable for applications under extreme and long-term conditions. In contrast, PANI/Fe₃O₄ composites exhibit high flexibility, the ability to absorb waves over a wider frequency range, as well as light weight, ideal for requirements with lightweight materials, such as aircraft. The analysis shows that the selection of RAM depends on the application requirements regarding frequency range and thermal stability. This study recommends the development of composite materials that combine the advantages of both materials as well as field tests to ensure optimal performance in stealth applications.

Keywords: Radar Absorbing Material, Barium Ferrite, PANI/Fe₃O₄

Abstrak. Penelitian ini mengkaji efektivitas Barium Ferrite dan komposit PANI/Fe₃O₄ sebagai Radar Absorbing Material (RAM) untuk mengurangi deteksi radar. Barium Ferrite memiliki daya serap tinggi pada frekuensi tinggi serta stabilitas termal yang baik, menjadikannya cocok untuk aplikasi dalam kondisi ekstrem dan jangka panjang. Sebaliknya, komposit PANI/Fe₃O₄ menunjukkan fleksibilitas tinggi, kemampuan menyerap gelombang pada rentang frekuensi lebih luas, serta bobot yang ringan, ideal untuk kebutuhan dengan material ringan, seperti pesawat. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemilihan RAM tergantung pada kebutuhan aplikasi terkait rentang frekuensi dan stabilitas termal. Studi ini merekomendasikan pengembangan material komposit yang menggabungkan keunggulan kedua bahan serta uji lapangan untuk memastikan performa optimal dalam aplikasi stealth.

Kata Kunci: Radar Absorbing Material, Barium Ferrite, PANI/Fe₃O₄

1. LATAR BELAKANG

Dalam teknologi pertahanan modern, kemampuan stealth atau siluman adalah faktor yang krusial untuk mengurangi deteksi objek militer oleh radar musuh. Kemampuan ini umumnya dicapai melalui penggunaan Radar Absorbing Material (RAM), yaitu material yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik pada frekuensi radar [6]. Material ini meredam pantulan atau menyerap gelombang mikro, sehingga objek yang dilapisi dengan RAM tidak mudah terdeteksi oleh Radio Detection and Ranging (RADAR) [5]. RAM bekerja dengan mengurangi pantulan gelombang radar, membuat objek yang dilapisi material ini lebih sulit terdeteksi oleh radar. Penelitian mengenai RAM telah menunjukkan potensi besar dari material magnetik, khususnya material berbasis ferrite, untuk aplikasi ini.

Logam banyak dimanfaatkan dalam bidang militer sebagai bahan baku dari peralatan militer, [1] Barium Ferrite Magnet dan komposit PANI/Fe₃O₄ adalah dua material yang telah banyak dikaji sebagai RAM. Barium Ferrite Magnet (BaFe₁₂O₁₉) dikenal memiliki stabilitas

termal, ketahanan korosi, dan kapasitas absorpsi gelombang mikro yang baik. Material ini mampu menyerap gelombang pada rentang frekuensi radar dan berpotensi sebagai bahan baku utama RAM untuk berbagai aplikasi militer, termasuk pesawat, kapal, dan kendaraan darat. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa Barium Ferrite Magnet dapat dioptimalkan dengan menambahkan elemen pengotor untuk meningkatkan sifat magnetiknya dan memperluas frekuensi absorpsi gelombang mikro.

Di sisi lain, komposit PANI/Fe₃O₄, yang menggabungkan Polyaniline (PANI) sebagai polimer konduktif dengan partikel magnetik Fe₃O₄ (oksida besi), juga menunjukkan karakteristik yang menjanjikan untuk RAM. Fe₃O₄ memiliki sifat magnetik yang kuat, sedangkan PANI mampu meningkatkan penyerapan gelombang elektromagnetik karena memiliki kestabilan dan konduktivitas yang tinggi [15]. Kombinasi keduanya memungkinkan komposit ini bekerja pada frekuensi radar yang bervariasi, dengan sifat penyerapan gelombang yang efektif serta kestabilan struktural yang baik. PANI/Fe₃O₄ memiliki potensi sebagai penyerap radar yang kuat dan cocok untuk aplikasi stealth yang memerlukan performa optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas Barium Ferrite Magnet dan komposit PANI/Fe₃O₄ sebagai RAM, khususnya dalam menyerap sinyal radar pada rentang frekuensi yang berbeda. Studi komparatif ini diharapkan dapat memberikan panduan dalam pemilihan material RAM yang optimal untuk aplikasi stealth, serta memperluas wawasan mengenai desain material penyerap radar yang lebih inovatif dan efisien dalam teknologi pertahanan masa depan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur yang didasarkan pada pengumpulan data sekunder dari berbagai jurnal dan publikasi, baik nasional maupun internasional. Tinjauan pustaka adalah prosedur yang sistematis, eksplisit, dan andal untuk menemukan, menganalisis, serta merangkum hasil penelitian dan pemikiran yang dihasilkan oleh akademisi dan praktisi. Data penelitian dikumpulkan secara tidak langsung melalui database terpercaya guna memberikan informasi yang relevan dan mendukung topik kajian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konsep Dasar Radar Absorbing Material (RAM)

Material anti-radar, yang dikenal sebagai bahan penyerap atau radar-absorbing material (RAM), merupakan material yang memiliki sifat magnetik, dielektrik, dan konduktif. Sifat-sifat ini memungkinkan RAM untuk meredam gelombang elektromagnetik melalui mekanisme

polarisasi dipol magnetik. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan membawa energi sebesar $h\nu$ dan terdiri dari medan magnet serta medan listrik. Dalam proses penyerapan, bahan dielektrik menyerap energi listrik, sementara bahan magnetik menyerap energi magnet. Energi tambahan dari pancaran gelombang elektromagnetik memicu terjadinya polarisasi dipol magnet akibat adanya muatan yang terinduksi. Proses polarisasi ini menyebabkan gerakan muatan, menghasilkan energi kinetik yang berkelanjutan sehingga terbentuk panas yang dikenal sebagai efek joule. Prinsip dasar dari penyerapan gelombang elektromagnetik oleh material RAM adalah mengubah energi gelombang tersebut menjadi panas melalui mekanisme polarisasi dipol magnetik, sehingga gelombang elektromagnetik tidak terpantul kembali (Saville, 2005).

B. Sifat -Sifat Material

Barium ferrite

Barium ferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) adalah bahan yang banyak digunakan dalam pembuatan magnet permanen, medium absorpsi magnetik, dan penyerap gelombang mikro. Magnet ferrite memiliki permeabilitas, permitivitas, dan magnetisasi spontan yang tinggi. Kombinasi dari sifat-sifat magnetik dan listrik yang dimiliki ferrite menjadikan bahan ini ideal sebagai penahan atau penyerap gelombang mikro, termasuk frekuensi yang digunakan dalam RADAR [4]. Magnet ferrite lebih banyak diproduksi dibandingkan dengan magnet permanen lainnya, seperti magnet Al-Ni-Co dan magnet baja. Magnet ferrite memiliki medan koersivitas yang kuat, sehingga sifat magnetiknya tidak mudah hilang [10]. Salah satu bahan dasar dalam pembuatan magnet ferrite adalah pasir besi, yang melimpah dan berharga terjangkau .

Barium ferrite adalah material keramik magnetik keras dengan struktur heksagonal ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), yang juga dikenal sebagai barium heksaferrite. Barium ferrite memiliki koersivitas tinggi, suhu Curie yang tinggi, serta magnetisasi saturasi yang besar [12]. Selain itu, material ini stabil secara kimia, tahan korosi, dan memiliki tingkat produksi yang tinggi.

Tabel 1. bahan dasar dalam pembuatan magnet ferrite

Sifat bahan	Barium Ferite
Titik Leleh ($H_{ai}C$)Suhu	1500
Curie ($H_{ai}C$)Berat Jenis	450
(g/cc) Titik lebur	$5.3(20_{H_{ai}C}) \pm 1500$
Pemaksaan (O_e)	6700
Saturasi (emu/g)	72
Warna	Coklat kehitaman

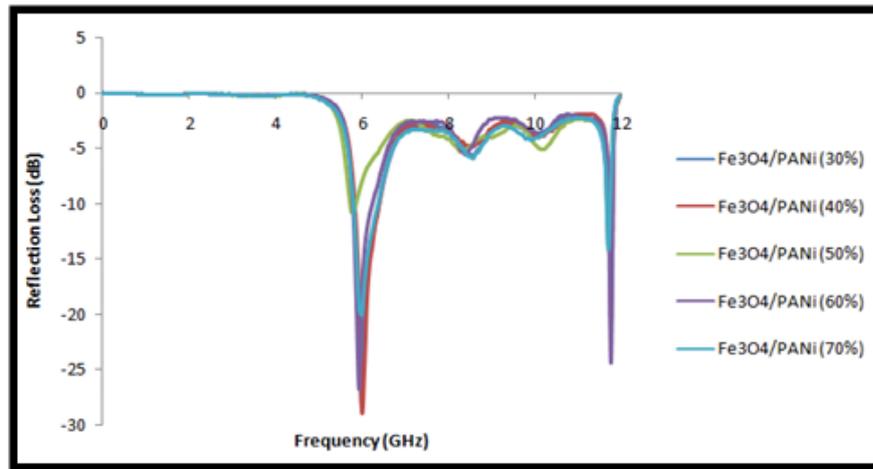
PANI/Fe₃O₄

Material RAM telah banyak diteliti sebelumnya, terutama mengarah ke material paduan berbahan dasar polimer. Dalam hal ini polimer yang digunakan adalah PANi yang dipadukan dengan material lain, dimana material tersebut mempunyai sifat magnetik, karena pada dasarnya material yang bisa digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro (RAM) adalah material yang mempunyai sifat listrik dan magnetic [2] Salah satu bahan yang banyak dieksplorasi dalam kajian ini adalah Fe₃O₄, senyawa magnetik yang berasal dari mineral batuan besi. Batuan besi disintesis menjadi Fe₃O₄ yang bersifat ferimagnetik, dengan magnetisasi yang dapat mencapai 65 emu/g dalam kondisi murni. Fe₃O₄ digunakan sebagai filler dalam komposit penyerap mikro karena memiliki sifat magnetis yang kuat

Selain itu, penggunaan polimer konduktif seperti polianilin (PAni) dikenal memiliki stabilitas dan konduktivitas yang tinggi serta proses sintesis yang relatif mudah [3] . Sifat polianilin ini sangat dipengaruhi oleh parameter sintesis, seperti konsentrasi monomer anilin, jenis dan konsentrasi dopan, durasi sintesis, serta arus dan tegangan yang digunakan dalam proses polimerisasi [9]. Dengan pengoptimalan parameter-parameter ini, polianilin yang dihasilkan akan memiliki konduktivitas listrik yang maksimal, yang berperan penting dalam meningkatkan performa RAM.

Dalam pengembangan material komposit, polianilin disintesis bersama Fe₃O₄ menggunakan metode polimerisasi in situ, dengan bantuan inisiator amonium persulfat (APS) untuk mempercepat reaksi kimia. Proses polimerisasi ini dilakukan dalam kondisi panas, yang berfungsi untuk mengubah rantai monomer menjadi polimer. Hasil akhir adalah nanokomposit berbasis PAni dengan nanopartikel Fe₃O₄ yang terdistribusi merata dalam matriks PAni, sehingga menghasilkan material RAM yang efektif dan dapat diuji menggunakan metode XRD dan FTIR untuk karakterisasi lebih lanjut. Kombinasi PAni/Fe₃O₄ ini menunjukkan potensi besar dalam menyerap gelombang elektromagnetik secara optimal, menjadikannya pilihan yang prospektif untuk pengembangan material RAM di masa depan.

Gambar 1 menunjukkan nilai magnitudo reflection loss dari nanokomposit Fe₃O₄/PAni dengan konsentrasi 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% pada rentang frekuensi 0 - 12 GHz. Absorpsi yang terjadi ditunjukkan oleh munculnya lembah absorpsi pada gambar tersebut. Semakin dalam dan lebar lembah absorpsi yang terbentuk, semakin baik kemampuan material dalam menyerap gelombang elektromagnetik[14].



Gambar 1. Hasil Karakterisasi VNA Nanokomposit Fe₃O₄/PANI.

C. Kinerja Penyerapan Gelombang Mikro

Barium ferrite

Kemampuan barium ferrite untuk menyerap gelombang mikro menjadikannya material efektif sebagai anti-radar. Tingkat penyerapan gelombang mikro oleh barium ferrite dapat dianalisis menggunakan Vector Network Analyzer (VNA), yang mengukur nilai kehilangan refleksi (Reflection Loss atau RL), yaitu jumlah energi gelombang yang diserap oleh material [7]. Tabel di bawah ini menampilkan data penelitian mengenai nilai kehilangan refleksi dari berbagai jenis barium ferrite yang disintesis menggunakan metode berbeda [8].

Tabel 1. Reflection Loss barium ferrite ditambah dengan bahan magnetik

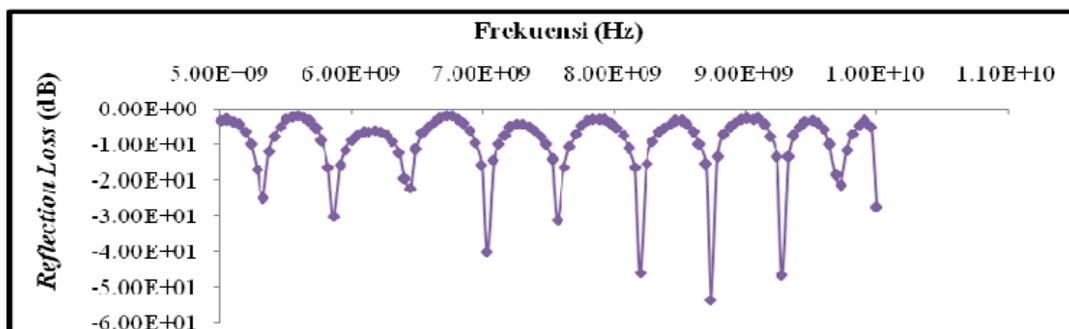
Sintesis Magnetik	Metode	Reflection Loss (dB)
Barium ferrite + doping Ni ²⁺	Sol-gel	-27,30 dB (8,30 GHz)
BaCO ₃ dan Fe ₂ O ₃	Metode solid-state	23,07 dB (10,72 GHz)
Mg–Al Binary Doped Barium Hexaferrite	Metode co-precipitation	-53,23 dB (10,83 GHz)

Barium ferrite dapat digunakan sebagai material penyerap gelombang elektromagnetik pada frekuensi radar sekitar 8 hingga 15 GHz. Namun, jenis barium hexaferrite tipe M mampu menyerap gelombang mikro pada frekuensi S-band. Penggunaan bahan dari sumber alami dapat meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang elektromagnetik [13], sementara proses doping pada material barium ferrite dapat meningkatkan kapasitas penyerapan gelombang lebih lanjut

PANI/ Fe_3O_4

Pada sampel PANi dengan penambahan Fe_3O_4 sebanyak 0,1 gram, diperoleh nilai Reflection Loss sebesar -17,3 dB pada frekuensi 5,59 GHz. Nilai negatif pada Reflection Loss ini menunjukkan kemampuan material tersebut dalam menyerap gelombang mikro. Semakin besar nilai negatif Reflection Loss, maka semakin tinggi daya serap material terhadap gelombang mikro (Phang et al., 2008). Namun, penting untuk dicatat bahwa nilai Reflection Loss yang tinggi tidak selalu menunjukkan bahwa seluruh gelombang mikro diabsorpsi oleh material; sebagian gelombang mikro masih bisa direfleksikan atau ditransmisikan melalui material tersebut (Rinata et al., 2011).

Fenomena ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti polarisasi gelombang, geometri permukaan, sifat material, dan karakteristik relatif material. Selain penyerapan, terdapat interaksi lain yang dapat terjadi, seperti pemantulan, hamburan, dan pembiasan gelombang mikro (Ludwig et al., 2011). Perilaku penyerapan ini bergantung pada sifat intrinsik material dan kondisi aplikasinya dalam medium gelombang mikro [11].



Gambar 2. Reflection Loss PANi dengan penambahan Fe_3O_4

Tabel di atas merupakan rangkuman dari grafik hubungan frekuensi terhadap *Reflection Loss* pada sampel B. Semakin besar negatif nilai *Reflection Loss*, semakin baik material dalam menyerap gelombang mikro pada frekuensi tersebut, menunjukkan kinerja RAM dalam menurunkan deteksi radar pada rentang frekuensi tertentu.

D. Keunggulan dan Keterbatasan Material

Barium Ferrite memiliki kelebihan berupa :

1. Sifat Magnetik dan Efektivitas Absorpsi: Barium Ferrite Barium ferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) memiliki sifat magnetik alami yang kuat, terutama pada rentang frekuensi gelombang mikro (GHz). Sifat magnetiknya membantu menghasilkan kerugian histeresis dan kerugian resonansi feromagnetik, yang berkontribusi pada peningkatan daya serap

gelombang elektromagnetik. Hal ini membuatnya efektif dalam menyerap sinyal radar melalui konversi energi elektromagnetik menjadi energi panas.

2. Stabilitas Termal yang Tinggi: Barium Ferrite stabil pada suhu tinggi, menjadikannya cocok untuk aplikasi pada kondisi ekstrem yang melibatkan perubahan suhu besar. Hal ini penting untuk aplikasi militer atau penerbangan di mana suhu dapat bervariasi drastis.
3. Ketahanan Mekanik yang Baik: Struktur heksagonal Barium Ferrite memberikan kekuatan mekanik yang tinggi, sehingga material ini lebih tahan terhadap tekanan fisik dan degradasi dalam penggunaan jangka panjang. Ini juga membantu menjaga sifat penyerap gelombangnya dalam kondisi operasional yang keras.
4. Ketersediaan dan Ekonomis: Bahan baku Barium Ferrite relatif murah dan melimpah.

Barium Ferrite memiliki kekurangan berupa:

1. Kepadatan yang Tinggi: Material Barium Ferrite cenderung memiliki massa jenis tinggi, yang membuatnya lebih berat dibandingkan bahan RAM lainnya. Hal ini dapat menjadi masalah dalam aplikasi yang membutuhkan material ringan, seperti pesawat atau kendaraan tak berawak.
2. Keterbatasan Efektivitas pada Frekuensi Rendah: Barium Ferrite lebih efektif pada frekuensi tinggi (biasanya di atas 1 GHz). Pada frekuensi yang lebih rendah, nilai konduktivitas magnetiknya menurun, sehingga kinerja penyerapannya tidak seefektif pada frekuensi gelombang mikro.
3. Proses Sintesis yang Kompleks untuk Nanopartikel: Untuk meningkatkan efektivitas penyerapan, ukuran partikel harus dikontrol agar mencapai skala nano. Namun, proses sintesis nanopartikel Barium Ferrite cukup kompleks dan membutuhkan teknik khusus, yang dapat meningkatkan biaya dan waktu produksi.

PANI/Fe₃O₄ (Polyaniline/Fe₃O₄) memiliki kelebihan berupa :

1. Bobot Ringan dan Fleksibilitas: Komposit berbasis Polyaniline (PANI) dan Fe₃O₄ menghasilkan material RAM yang ringan dan fleksibel. Hal ini mempermudah penerapan komposit pada permukaan yang bervariasi dalam aplikasi stealth, seperti pesawat atau kendaraan tempur, tanpa menambah bobot signifikan.
2. Rentang Frekuensi Penyerapan yang Lebar: Kombinasi antara bahan magnetik (Fe₃O₄) dan bahan konduktif (PANI) memungkinkan material ini untuk menyerap gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi yang lebih luas. Fe₃O₄ berperan sebagai penyerap magnetik, sedangkan PANI berfungsi sebagai penyerap dielektrik, yang mengubah energi gelombang radar menjadi panas. Hal ini memungkinkan material ini berfungsi efektif pada berbagai frekuensi radar.

3. Kontrol Konduktivitas yang Baik: Konduktivitas Polyaniline dapat disesuaikan melalui doping dan pemrosesan, yang memungkinkan pengaturan sifat listrik material sesuai kebutuhan. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan respons RAM agar sesuai dengan aplikasi spesifik dan frekuensi target.

PANI/Fe₃O₄ (Polyaniline/Fe₃O₄) memiliki kekurangan berupa :

1. Stabilitas Termal Rendah: Polyaniline memiliki keterbatasan stabilitas pada suhu tinggi. Hal ini dapat mengakibatkan degradasi sifat material pada aplikasi suhu ekstrem, misalnya dalam aplikasi militer atau penerbangan yang melibatkan panas tinggi.
2. Kestabilan Kimia yang Terbatas: Meskipun PANI memiliki kelebihan dalam konduktivitas, kestabilan kimianya lebih rendah dibandingkan dengan bahan anorganik. Dalam kondisi lingkungan yang keras (misalnya, kelembaban tinggi atau paparan bahan kimia tertentu), material ini mungkin mengalami degradasi atau perubahan sifat yang memengaruhi efektivitas penyerapan gelombangnya.
3. Proses Sintesis yang Relatif Mahal dan Rumit: Sintesis PANI/Fe₃O₄ memerlukan metode kimia yang cukup kompleks dan bahan kimia pendukung untuk mencapai kualitas tinggi. Kombinasi sintesis dan stabilisasi Fe₃O₄ dalam matriks PANI dapat meningkatkan biaya dan memerlukan pengendalian proses yang lebih ketat untuk memastikan sifat material yang optimal.

Secara keseluruhan, Barium Ferrite adalah pilihan yang lebih tahan lama dan ekonomis untuk aplikasi frekuensi tinggi, terutama dalam kondisi suhu ekstrem. Namun, beratnya menjadi kendala untuk aplikasi tertentu. PANI/Fe₃O₄ menawarkan keuntungan berupa bobot yang lebih ringan dan fleksibilitas yang lebih tinggi, serta efektif dalam rentang frekuensi yang lebih luas, tetapi memiliki keterbatasan dalam hal stabilitas termal dan kimia, serta memerlukan proses sintesis yang lebih kompleks. Pemilihan antara kedua material ini sangat bergantung pada konteks aplikasi RAM, seperti kebutuhan akan stabilitas termal, rentang frekuensi target, dan keterbatasan bobot.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membahas dan menganalisis efektivitas dua bahan utama, yaitu Barium Ferrite dan komposit PANI/Fe₃O₄, sebagai material penyerap gelombang radar atau Radar Absorbing Material (RAM). Berdasarkan hasil analisis, Barium Ferrite memiliki keunggulan utama dalam daya serap yang tinggi pada rentang frekuensi tinggi serta stabilitas termal yang baik. Sifat ini menjadikan Barium Ferrite sebagai pilihan ideal untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu ekstrem, seperti dalam lingkungan militer yang keras

dan jangka panjang. Selain itu, kekuatan mekanik dan ketahanan korosi Barium Ferrite mendukung penggunaannya dalam kondisi operasional yang menuntut.

Di sisi lain, komposit PANI/Fe₃O₄ menunjukkan performa yang baik dalam fleksibilitas dan daya serap pada berbagai rentang frekuensi, menjadikannya lebih ringan dan cocok untuk aplikasi yang membutuhkan material dengan bobot lebih rendah, seperti pada pesawat atau kendaraan tak berawak. Dengan kelebihan tersebut, PANI/Fe₃O₄ dapat menjadi pilihan tepat dalam situasi di mana adaptasi terhadap berbagai frekuensi diperlukan tanpa menambah beban material secara signifikan. Penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan antara Barium Ferrite dan komposit PANI/Fe₃O₄ harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi yang meliputi stabilitas suhu, rentang frekuensi, serta karakteristik bobot material yang diinginkan

DAFTAR REFERENSI

- [1] S. S. Aritonang, M. Si, R. Si, S. Murniati, and M. S. Si, MATERIAL PERTAHANAN.
- [2] “PEMANFAATAN BAHAN MAGNETIK (Fe₃O₄) BERBAHAN DASAR KARAT BESI HASIL KOROSI ATMOSFERIK SEBAGAI RADAR ABSORBER MATERIAL.”
- [3] J. Rekayasa Material et al., “Sintesis BaM/PAni Doping Cu Optimasi Sifat Radar Absorbing Material Pada Aplikasi Pelapisan Alpalhankam,” vol. 7, no. 1, pp. 144–150, 2024, doi: 10.30596/rmme.v7i1.17317.
- [4] D. Tri Rahmawati, D. Hari Kusumawati, and L. Rohmawati, “VARIASI PENAMBAHAN Fe₃O₄ PADA PADUAN PANi/Fe₃O₄ SEBAGAI BAHAN PENYERAP GELOMBANG MIKRO.”
- [5] M. I. Nurulloh, L. Simbolon, G. R. Deksin, P. Studi, I. Pertahanan, and T. Pertahanan, “BARIUM FERRITE MAGNET AS ANTI-RADAR MATERIAL,” vol. 23, no. 1, pp. 61–68, 2022, [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>
- [6] dan Azwar Manaf, “MATERIAL MAGNETIK BARIUM HEKSAFERIT TIPE-M UNTUK MATERIAL ANTI RADAR PADA FREKUENSI S-BAND,” 2007.
- [7] J. Rekayasa Material, M. dan Energi, ah Alfiyah Yamin, S. Aritonang, and R. Murniati, “Grafen untuk Aplikasi Penyerapan Gelombang Radar Mikro: Dari Sintesis Graphene Oxide (GO) Berbasis Tempurung Kelapa,” vol. 7, no. 2, pp. 281–288, 2024, doi: 10.30596/rmme.v7i2.17352.
- [8] J. Rekayasa Material et al., “Drone Berbahan Komposit Serat Rami Dengan Karbon Aktif-Barium M-Heksaferit Sebagai Radar Absorbing Material,” vol. 7, no. 1, pp. 35–43, 2024, doi: 10.30596/rmme.v7i1.17283.

- [9] J. Rekayasa Material, M. dan Energi, W. Fira Putri, A. Audrey Nur, C. Elsa Gafira, and A. Sovian, "Review Jurnal: Nanokomposit Sebagai Penyerap Gelombang Elektromagnetik Untuk Radar Absorbent Material," vol. 7, no. 1, pp. 151–159, 2024, doi: 10.30596/rmme.v7i1.17287.
- [10] A. Syamsir, "SINTESIS NANOKOMPOSIT PANi/TiO₂ /KARBON SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO," Jurnal Fisika Unand, vol. 1, no. 1, 2012.
- [11] "PEMANFAATAN BAHAN MAGNETIK (Fe_3O_4) BERBAHAN DASAR KARAT BESI HASIL KOROSI ATMOSFERIK SEBAGAI RADAR ABSORBER MATERIAL."
- [12] J. Rekayasa Material et al., "Sintesis BaM/PAni Doping Cu Optimasi Sifat Radar Absorbing Material Pada Aplikasi Pelapisan Alpalhankam," vol. 7, no. 1, pp. 144–150, 2024, doi: 10.30596/rmme.v7i1.17317.
- [13] M. I. Nurulloh, L. Simbolon, G. R. Deksin, P. Studi, I. Pertahanan, and T. Pertahanan, "BARIUM FERRITE MAGNET AS ANTI-RADAR MATERIAL," vol. 23, no. 1, pp. 61–68, 2022, [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>
- [14] R. Wicaksono et al., "Pembuatan dan karakterisasi magnet komposit berbahan dasar barium ferit dengan pengikat karet alam (Creating and characterization of composite magnet using barium ferrite with natural rubber as a binding material)," 2013.
- [15] N. Yulfriska, Z. Affandi, Yohandri, L. Dwiridal, and R. Ramli, "Microwave absorption properties of Fe_3O_4 /PANi nanocomposites synthesized by sol-gel methods," in Journal of Physics: Conference Series, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1481/1/012006.
- [16] D. Muthia Adriani, B. Sitorus, and L. Destiarti, "SINTESIS MATERIAL KONDUKTIF KOMPOSIT POLIANILIN-SELULOSA DARI TANAH GAMBUT," vol. 2, no. 3, pp. 127–132, 2013.