

ANALISIS KEMAMPUAN PENYERAPAN GELOMBANG MIKRO PADA BARIUM HEKSAFERIT ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) DENGAN VARIASI DOPING LANTANUM MELALUI UJI *VECTOR NETWORK ANALYZER* (VNA)

Kinanty Desiva Natasya¹, Nazaruddin Nasution², Ridwan Yusuf Lubis³

Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan

e-mail: ¹akunkinanti5@gmail.com, ²nazaruddin_nst@uinsu.ac.id,

³ridwanyusuflubis@uinsu.ac.id

Abstract: The development of communication technology increases Electromagnetic Interference (EMI), thereby requiring microwave absorbing materials is Radar Absorbing Material (RAM). Barium hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) has potential as a RAM due to its magnetic properties and chemical stability. This study aims to analyze the microwave absorption capability of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ doped with Lanthanum (La) through the solid-state reaction method with variations of $x = 0.00, 0.01, 0.03$, and 0.05 . The synthesis process involved calcination at $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ and sintering at $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, followed by characterization using a Vector Network Analyzer (VNA). The results show that the 0.05 doping provides the best Reflection Loss (RL) of -10.45 dB at 8.95 GHz with 90.98% absorption, thereby meeting the criteria of an effective absorber. Therefore, La^{3+} doping is proven to enhance the performance of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ as a microwave absorbing material for EMI mitigation and radar applications.

Keyword: Barium Hexaferrite, Microwave, Solid-State Reaction.

Abstrak: Perkembangan teknologi komunikasi meningkatkan Electromagnetic Interference (EMI), sehingga diperlukan material penyerap gelombang mikro yaitu Radar Absorbing Material (RAM). Barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) berpotensi sebagai RAM karena sifat magnetik dan stabilitas kimianya. Penelitian ini bertujuan menganalisis kemampuan penyerapan gelombang dengan doping Lantanum (La) melalui metode *solid state reaction* pada variasi $x = 0,00; 0,01; 0,03$; dan $0,05$. Proses sintesis dilakukan dengan kalsinasi pada suhu $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan sintering pada suhu $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian dikarakterisasi menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa doping $0,05$ memberikan *Reflection Loss* (RL) terbaik sebesar $-10,45\text{ dB}$ pada frekuensi $8,95\text{ GHz}$ dengan persentase penyerapan $90,98\%$, sehingga memenuhi kriteria penyerap efektif. Dengan demikian, doping La^{3+} terbukti meningkatkan kinerja $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebagai material penyerap gelombang untuk mitigasi EMI dan aplikasi radar.

Kata kunci: Barium Heksaferrit, Gelombang Mikro, Reaksi Keadaan Padat.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi pada perangkat elektronik dan sistem komunikasi nirkabel berkembang dengan sangat cepat dan memberikan pengaruh besar pada berbagai aspek kehidupan manusia, baik dalam bidang industri, komersial, maupun aktivitas sehari-hari. Salah satu aspek penting dari

perkembangan tersebut adalah penggunaan frekuensi gelombang mikro, khususnya pada rentang X-band ($8\text{--}12\text{ GHz}$), yang banyak dimanfaatkan dalam radar, sistem navigasi, dan komunikasi karena memiliki kestabilan serta efisiensi yang tinggi. Namun demikian, kemajuan ini juga menimbulkan tantangan baru, terutama terkait dengan meningkatnya gangguan gelombang elektromagnetik

atau *Electromagnetic Interference* (EMI), yang dapat menurunkan kinerja perangkat elektronik dan memperburuk kompatibilitas elektromagnetik atau *Electromagnetic Compatibility* (EMC), yang penting untuk komunikasi dan operasional perangkat (Rahmayanti, 2022).

EMI telah menjadi masalah pencemaran lingkungan global yang serius karena pesatnya perkembangan sistem komunikasi dan perangkat elektronik (Zhao et al., 2021). Untuk mengatasi permasalahan ini sekaligus meningkatkan EMC, pendekatan yang efektif adalah dengan penggunaan material penyerap gelombang mikro, seperti *Radar Absorbing Material* (RAM). RAM bekerja dengan cara menyerap gelombang elektromagnetik, khususnya pada frekuensi tinggi seperti X-band, sehingga objek yang dilapisinya menjadi tidak terdeteksi oleh sistem radar. Teknologi RAM ini telah banyak diterapkan di bidang militer, misalnya pada pelapisan kapal perang dan pesawat siluman untuk keperluan kamuflase elektromagnetik (Pullar et al., 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang material penyerap gelombang mikro berbasis ferrit berkembang pesat. Berbagai tinjauan literatur menunjukkan bahwa ferrit menjadi kandidat unggulan untuk aplikasi penyerap karena kombinasi rugi magnetik yang tinggi, kestabilan termal/kimia, serta kemudahan teknik sintesis yang memungkinkan kontrol morfologi dan komposisi. Strategi modifikasi seperti doping ion, pembuatan komposit inti-selubung, dan integrasi dengan material konduktif/dielektrik telah berhasil memperbaiki *impedance matching*, memperbesar rugi dielektrik/magnetik, dan memperluas bandwidth penyerapan pada frekuensi mikro (Elmahaishi et al., 2022). Untuk mencapai performa tinggi, berbagai strategi seperti pembuatan komposit inti-selubung maupun doping ion telah diterapkan. Sebagai contoh, modifikasi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan MnO_2 dilaporkan mampu meningkatkan

kemampuan penyerapan hingga lebih dari 99% pada ketebalan tipis (Yustanti et al., 2023).

Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 300 MHz hingga 300 GHz dan panjang gelombang 1 m hingga 1 mm. Semakin tinggi frekuensinya, semakin besar pula radiasi yang ditimbulkan. Gelombang ini banyak dimanfaatkan dalam bidang komunikasi, navigasi, dan industri data. Gelombang elektromagnetik jika mengenai suatu material yang memiliki suatu ketebalan maka akan mengalami interaksi antara gelombang elektromagnetik dengan material. Semakin tebal suatu material maka energi gelombang elektromagnetik semakin banyak yang diserap (Kurniawan, 2021).

Barium ferrit tipe-M dengan struktur molekul hexagonal atau barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan material magnet permanen yang dikenal dengan kualitas tinggi, hal tersebut disebabkan karena barium heksaferit memiliki anisotropik kristal magnet yang besar, temperatur Curie yang tinggi, magnetisasi yang relatif besar, stabilitas kimia yang baik, dan tahan terhadap korosi (Shieddieque et al., 2022).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, salah satunya melalui teknik doping ion logam. Penelitian sebelumnya banyak berfokus pada doping logam transisi seperti Co, Zn, dan Mn (Li, 2024). Akan tetapi, pengaruh doping ion tanah jarang seperti Lantanum (La^{3+}) terhadap sifat penyerapannya masih jarang diteliti secara sistematis, terutama pada rentang X-band dengan pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA).

Studi pada ferrit kobalt menunjukkan bahwa doping La^{3+} dapat memodifikasi struktur mikro dan meningkatkan performa penyerapan gelombang mikro sehingga membuka peluang bahwa mekanisme serupa juga dapat terjadi pada $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Lantanum adalah unsur tanah jarang golongan ringan memiliki nomor

atom 57 memiliki sifat fisik berwarna putih keperakan, cukup lunak dan bersifat reaktif (Zefanya et al., 2023). Keunggulan utama dari doping lantanum pada barium heksaferit adalah peningkatan efisiensi penyerapan gelombang mikro. Material yang telah didoping menunjukkan peningkatan signifikan dalam nilai rugi refleksi (*reflection loss*), yang mencerminkan kemampuan yang lebih baik dalam menyerap energi gelombang mikro. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kerugian magnetik dan dielektrik yang diinduksi oleh substitusi ion La^{3+} , sehingga memperbaiki pencocokan impedansi antara material dan udara (Li, 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi doping La^{3+} pada $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap kemampuan penyerapan gelombang mikro di rentang frekuensi X-band (8–12 GHz) menggunakan pengukuran *Vector Network Analyzer* (VNA). Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan doping La^{3+} sebagai strategi peningkatan performa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang dievaluasi secara langsung melalui parameter *reflection loss* dan persentase penyerapan, sehingga dapat diketahui komposisi doping optimal yang efektif.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material RAM berbasis heksaferit untuk mitigasi EMI pada perangkat komunikasi modern, sekaligus mendukung aplikasi teknologi radar dan pertahanan.

METODE

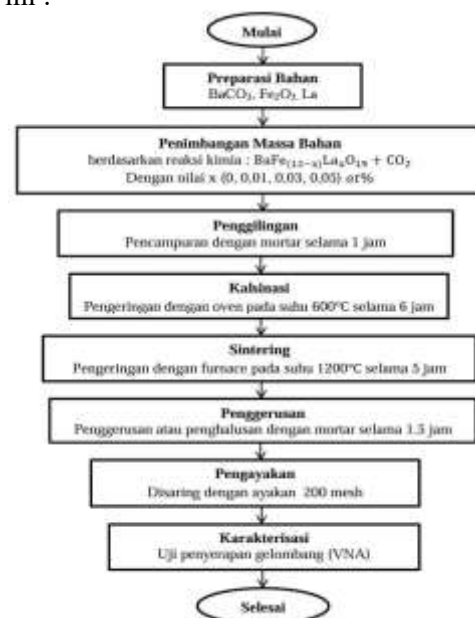
Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan analitik untuk menimbang bahan dengan presisi, mortar untuk mencampur dan menggiling serbuk, saringan 200 mesh untuk menyeragamkan ukuran partikel, crucible sebagai wadah proses pemanasan, oven, serta *Vector Network Analyzer* (VNA)

sebagai alat karakterisasi utama. Bahan dasar yang digunakan adalah barium karbonat (BaCO_3), besi oksida (Fe_2O_3), dan lantanum (La) dalam bentuk serbuk murni.

Proses sintesis dilakukan menggunakan metode reaksi padat (*solid state reaction*), yaitu teknik yang mereaksikan zat padat pada suhu tinggi. Dalam penelitian ini, campuran serbuk hasil perhitungan stoikiometri terlebih dahulu dikalsinasi dalam oven pada suhu 600 °C selama 6 jam untuk menguraikan karbonat dan menghilangkan pengotor, kemudian disintering dalam furnace pada suhu 1200 °C selama 5 jam untuk menyempurnakan pembentukan fase ferrit dan meningkatkan kerapatan butiran. Metode reaksi padat dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, di antaranya biaya produksi yang relatif murah, peralatan sederhana, kebutuhan energi lebih rendah, serta proses reaksi yang mudah dikendalikan (Habibah, 2023).

Berikut pada Gambar 1 adalah diagram alir (*flow chart*) dalam penelitian ini :

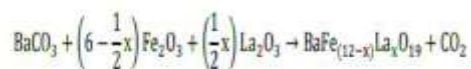


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Stoikiometri

Dilakukan perhitungan stoikiometri untuk menentukan massa bahan baku yang diperlukan berdasarkan reaksi kimia berikut :



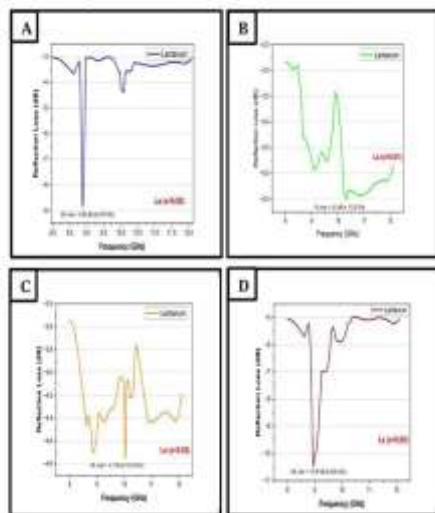
Tabel 1 Perhitungan Stoikiometri

Sampel	La	Massa BaCO ₃ (g)	Massa Fe ₂ O ₃ (g)	Massa La ₂ O ₃ (g)
A	0,00	1,7753	8,6205	0
B	0,01	1,7740	8,6069	0,0146
C	0,03	1,7714	8,5797	0,0438
D	0,05	1,7687	8,5526	0,0730

Pengujian *Vector Network Analysis* (VNA)

Pengujian menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan bahan dalam menyerap gelombang elektromagnetik pada frekuensi mikro, yang dinyatakan dengan parameter *Reflection Loss* (RL).

➤ Analisis Uji *Vector Network Analysis* (VNA)



Gambar 2 Kurva Penyerapan Gelombang Elektromagnetik

Hasil uji refleksi gelombang mikro pada gambar 2, menunjukkan bahwa sampel A tanpa doping ($x = 0,00$) memiliki nilai RL maksimum $-8,83$ dB pada $8,87$ GHz, yang menandakan sifat penyerap gelombang cukup baik meskipun belum mencapai ambang

penyerap efektif (≤ -10 dB). Pada doping rendah B dan C ($x = 0,01$ dan $x = 0,03$), nilai RL menurun menjadi masing-masing $-5,5$ dB pada $10,32$ GHz dan $-4,7$ dB pada $10,03$ GHz, menunjukkan penurunan performa akibat gangguan struktur kisi dan domain magnetik. Sebaliknya, pada sampel D doping lebih tinggi ($x = 0,05$), nilai RL meningkat signifikan hingga $-10,45$ dB pada $8,95$ GHz, menjadikannya yang terbaik di antara semua variasi.

Berdasarkan kurva dan data pada Tabel 2, terlihat bahwa perubahan nilai RL tidak linier terhadap doping, melainkan menunjukkan pola fluktuatif yang dipengaruhi stabilitas struktur kristal serta keseimbangan sifat magnetik dan dielektrik material.

Tabel 2 Persentase Penyerapan Sampel BaFe₁₂O₁₉

Sampel	La	RL	Frekuensi (GHz)	%
A	0,00	-8,83	8,87	86,91
B	0,01	-5,5	10,32	71,82
C	0,03	-4,7	10,03	66,12
D	0,05	-10,45	8,95	90,98

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 2, sampel tanpa doping ($x = 0,00$) sudah menunjukkan kemampuan penyerapan tinggi dengan RL maksimum $-8,83$ dB (86,91%). Hal ini berasal dari sifat intrinsik BaFe₁₂O₁₉ yang memiliki struktur heksagonal, resonansi feromagnetik, serta keseimbangan sifat magnetik–dielektrik, sehingga tetap mampu menyerap gelombang meskipun tanpa dopan.

Pada doping rendah ($x = 0,01$ dan $0,03$), nilai penyerapan menurun menjadi $-5,50$ dB (71,82%) dan $-4,70$ dB (66,12%). Penurunan ini disebabkan oleh cacat kristal dan ketidakstabilan domain magnetik akibat masuknya ion La³⁺, yang mengganggu mekanisme impedance matching dan meningkatkan refleksi gelombang.

Sebaliknya, pada doping lebih tinggi ($x = 0,05$), kemampuan penyerapan kembali meningkat dengan RL $-10,45$ dB

pada 8,95 GHz (90,98%). Nilai ini sudah memenuhi kriteria penyerap efektif ($RL < -10$ dB), karena pada konsentrasi ini ion La mampu menyeimbangkan kembali sifat magnetik–dielektrik material.

Jika dibandingkan dengan penelitian lain, nilai RL yang diperoleh dalam studi ini sejalan dengan laporan (Li, 2024), di mana doping ion logam pada $BaFe_{12}O_{19}$ dapat meningkatkan kemampuan penyerapan hingga mencapai kategori penyerap efektif ($RL \leq -10$ dB). Penelitian (Zhao et al., 2021) bahkan menunjukkan bahwa modifikasi struktur dengan material berbasis karbon mampu memperluas bandwidth hingga di atas 4 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun doping La pada penelitian ini sudah efektif, masih terdapat ruang untuk peningkatan performa melalui strategi lain, seperti kombinasi doping dengan bahan konduktif atau nanokomposit.

Selain nilai RL maksimum, perbandingan bandwidth juga menunjukkan bahwa sampel tanpa doping hanya menyerap pada rentang sempit (8,8–9,0 GHz), doping rendah menggeser puncak penyerapan ke frekuensi lebih tinggi (~ 10 GHz) dengan efektivitas menurun, sedangkan doping 0,05 memperluas dan menstabilkan rentang penyerapan di sekitar 8,9–9,1 GHz.

Secara keseluruhan, pengaruh doping La terhadap kemampuan serap $BaFe_{12}O_{19}$ bersifat fluktuatif: tanpa doping sudah cukup baik, doping rendah menurunkan performa, dan doping 0,05 kembali meningkatkan hingga kategori efektif. Meski peningkatan belum signifikan dibanding sampel murni, hasil ini menegaskan bahwa $x = 0,05$ merupakan komposisi optimal, serta membuka peluang optimasi lebih lanjut dengan variasi doping yang lebih luas.

SIMPULAN

Doping Lantanum (La^{3+}) pada $BaFe_{12}O_{19}$ menunjukkan pengaruh fluktuatif terhadap kemampuan penyerapan gelombang mikro. Sampel

tanpa doping ($x = 0,00$) sudah memiliki penyerapan tinggi dengan RL $-8,83$ dB (86,91%) akibat sifat intrinsiknya, sementara doping rendah ($x = 0,01$ dan $0,03$) justru menurunkan performa karena gangguan kisi dan ketidakstabilan magnetik yang menghambat *impedance matching*. Namun, pada doping lebih tinggi ($x = 0,05$), kemampuan penyerapan kembali meningkat dengan RL $-10,45$ dB (90,98%) sekaligus memperluas rentang penyerapan di sekitar 8,9–9,1 GHz, sehingga memenuhi kriteria penyerap efektif. Dengan demikian, doping La^{3+} terbukti mampu meningkatkan kinerja $BaFe_{12}O_{19}$ sebagai material penyerap gelombang mikro yang potensial untuk mitigasi EMI dan aplikasi radar.

DAFTAR PUSTAKA

- Elmahaishi, M. F., Azis, R. S., Ismail, I., & Muhammad, F. D. (2022). *A review on electromagnetic microwave absorption properties: their materials and performance*. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 2188–2220. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.140>
- Habibah, N. (2023). Analisis Citra Hasil *Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR)*.
- Kurniawan, F. arif. (2021). Analisis Material Absorber Gelombang Elektro,agnetik Berbasis Perovskite $Nd_{0,6}Sr_{0,4}Mn_{x}Fe_{1/2}1-xTi_{1/2}1-xO_3$ ($x = 0 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3$) (Vol. 2).
- Li, J. (2024). *Microwave Absorption and Magnetic Properties of M-Type Hexagonal Ferrite $Ba_{0.95}Ca_{0.05}Fe_{12-x}Co_xO_{19}$ ($0 \leq x \leq 0.4$) at 1–18 GHz*. 19, 1–14. <https://doi.org/10.3390/ma17215327>
- Pullar, R. C., Novais, R. M., Caetano, A. P. F., Krishnakumar, K. A., & Surendran, K. P. (2023). *Ultra-light-*

- weight microwave X-band EMI shielding or RAM material made from sustainable pyrolysed cork templates. Nanoscale*, 15(39), 15982–15993.
<https://doi.org/10.1039/d3nr04411d>
- Rahmayanti, R. (2022). *Synthesis of MnFe₂O₄ Nanoparticles as a Basic Material for Microwave Absorber*. 4(2), 80–86.
- Shieddieque, A. D., Anwar, C., Yunus, E. M., & Febriyana, F. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Serbuk Magnet Barium Heksaferrit (BaFe₁₂O₁₉) dari Senyawa Klorida dengan Metode Sol-Gel untuk Bahan Magnet Permanen. *Metal Indonesia*, 44(2), 60.
<https://doi.org/10.32423/jmi.2022.v44.60-66>
- Yustanti, E., Noviyanto, A., Ikramullah, M., Marsillam, Y. A., Taryana, Y., & Taufiq, A. (2023). *High-performance microwave absorption by optimizing hydrothermal synthesis of BaFe₁₂O₁₉@MnO₂ core-shell composites. RSC Advances*, 13(39), 27634–27647.
- Zefanya, A., Purba, M., Bahti, H. H., Fauzia, R. P., & Pratomo, U. (2023). Studi Pendahuluan Pengendapan Bertingkat pada Pemisahan Lantanum dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Mineral Monasit. *Studi Pendahuluan Pengendapan Bertingkat pada Pemisahan Lantanum dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Hasil Mineral Monasit*. Desember, 2(1), 48–52.
- Zhao, B., C, Y. L., Ji, H., Pengwei Bai, S., Fan, huai W. B., & Xiaoqin Guo a, R. Z. a. (2021). *Lightweight graphene aerogels by decoration of 1D CoNi chains and CNTs to achieve ultra-wide microwave absorption. Carbon*, 176, 411–420.
<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.01.136>