

Pengaruh Doping Yttrium terhadap Kinerja Penyerapan Gelombang Mikro pada Barium Heksaferrit

M. Ridwan¹, Nazaruddin Nasution²

^{1,2} Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh doping Yttrium (Y^{3+}) terhadap karakteristik struktur, morfologi, dan kemampuan penyerapan gelombang mikro pada material Barium Heksaferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) yang disintesis menggunakan metode solid state reaction. Variasi doping Yttrium diterapkan untuk mengetahui perubahan sifat elektromagnetik, khususnya kinerja penyerapan gelombang pada rentang frekuensi X-band (8–12 GHz). Karakterisasi struktur kristal dilakukan dengan X-Ray Diffraction (XRD), analisis morfologi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM), sedangkan performa elektromagnetik diukur melalui Vector Network Analyzer (VNA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sampel mempertahankan struktur heksagonal tipe-M, namun doping Yttrium memberikan pengaruh signifikan terhadap intensitas resonansi dan nilai Reflection Loss (RL). Sampel dengan konsentrasi optimum menghasilkan RL minimum sebesar –23 dB pada sekitar 11,05 GHz dengan bandwidth efektif 0,7 GHz, menunjukkan kemampuan penyerapan lebih dari 99,5%. Peningkatan penyerapan dikaitkan dengan pencocokan impedansi yang lebih baik dan sinergi antara rugi magnetik serta rugi dielektrik. Temuan ini menegaskan bahwa doping Yttrium pada $BaFe_{12}O_{19}$ mampu meningkatkan performa material sebagai penyerap gelombang mikro, sehingga berpotensi untuk aplikasi EMI shielding dan radar absorbing material (RAM).

ABSTRACT

This study investigates the effect of Yttrium (Y^{3+}) doping on the structural, morphological, and microwave absorption characteristics of Barium Hexaferite ($BaFe_{12}O_{19}$) synthesized via the solid-state reaction method. Various Yttrium doping levels were applied to evaluate changes in the electromagnetic properties, particularly the microwave absorption performance within the X-band frequency range (8–12 GHz). Crystal structure characterization was carried out using X-Ray Diffraction (XRD), morphological analysis using a Scanning Electron Microscope (SEM), and electromagnetic performance evaluation using a Vector Network Analyzer (VNA). The results show that all samples retain the M-type hexagonal structure, while Yttrium doping significantly influences resonance intensity and Reflection Loss (RL). The optimum sample exhibits a minimum RL value of –23 dB at approximately 11.05 GHz with an effective bandwidth of 0.7 GHz, corresponding to an absorption capability of more than 99.5%. The improvement in absorption is attributed to enhanced impedance matching and the synergistic effects of magnetic and dielectric losses. These findings confirm that Yttrium-doped $BaFe_{12}O_{19}$ enhances microwave absorption performance, making it a promising candidate for electromagnetic interference (EMI) shielding and radar absorbing material (RAM) applications.

Kata Kunci: arium heksaferrit, Yttrium, microwave absorber, reflection loss, X-band.

Email Address: ¹mridwanku@uinsu.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.30829/jistech.v10i2.28639>

Received 10 February 2025; Received in revised form 10 April 2025; Accepted 15 June 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution–NonCommercial–ShareAlike 4.0 International License.

Pendahuluan

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel, radar, dan perangkat elektronik berfrekuensi tinggi telah meningkatkan intensitas gangguan elektromagnetik (EMI) yang berdampak pada stabilitas dan kinerja sistem elektronik modern. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, material penyerap gelombang mikro (microwave absorber) menjadi komponen penting dalam aplikasi militer, telekomunikasi, hingga perlindungan perangkat sensitif [1][2]. Barium heksaferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) merupakan salah satu material ferit tipe-M yang banyak dikembangkan karena memiliki saturasi magnetisasi tinggi, stabilitas kimia baik, dan frekuensi resonansi alami pada wilayah gelombang mikro [3]. Struktur heksagonalnya memungkinkan terjadinya resonansi feromagnetik alami (FMR), yang berperan penting dalam mekanisme penyerapan gelombang elektromagnetik pada frekuensi

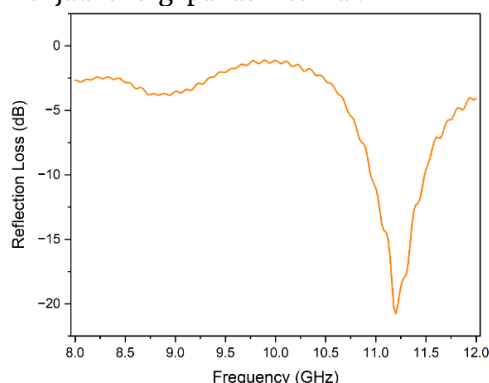
tinggi [4][5]. Doping ion logam tanah jarang seperti Yttrium (Y^{3+}) terbukti mampu memodifikasi sifat magnetik dan dielektrik $BaFe_{12}O_{19}$, sehingga meningkatkan pencocokan impedansi serta memperdalam nilai reflection loss (RL) pada rentang X-band (8–12 GHz) Thakur et al., 2024). Beberapa studi menunjukkan bahwa substitusi ion Y dapat memperbaiki homogenitas mikrostruktur, meningkatkan koersivitas magnetik, serta menghasilkan penyerapan gelombang yang lebih efektif [6]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada pengaruh doping Yttrium terhadap kinerja penyerapan gelombang mikro pada $BaFe_{12}O_{19}$ yang disintesis melalui metode solid state reaction, untuk mengkaji potensi material sebagai penyerap gelombang pada aplikasi EMI shielding dan radar absorbing material (RAM).

Metodologi Penelitian

Material Barium Heksaferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) terdoping Yttrium disintesis menggunakan metode *solid state reaction* melalui tahapan perhitungan stoikiometri, penimbangan bahan $BaCO_3$, Fe_2O_3 , dan Y_2O_3 , serta penggilingan campuran selama 1 jam hingga homogen. Serbuk kemudian dikalsinasi pada 600 °C selama 6 jam untuk menghilangkan kelembapan dan dilanjutkan proses sintering pada 1200 °C selama 6 jam untuk membentuk fase kristal heksagonal. Sampel yang dihasilkan digerus ulang, diayak menggunakan mesh 200, lalu dikarakterisasi Vector Network Analyzer (VNA) untuk mengukur sifat elektromagnetik, khususnya nilai *reflection loss* pada rentang frekuensi X-band (8–12 GHz).

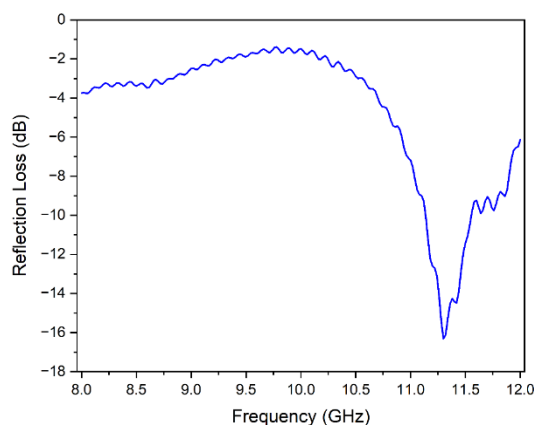
Hasil dan Pembahasan

Hasil karakterisasi menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) menunjukkan bahwa seluruh sampel Barium Heksaferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) dengan variasi doping Yttrium memiliki kemampuan penyerapan gelombang mikro yang signifikan pada rentang frekuensi X-band (8–12 GHz). Setiap kurva *reflection loss* (RL) memperlihatkan pola penyerapan yang khas dengan satu titik resonansi utama yang berada di sekitar frekuensi 11 GHz. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme penyerapan pada semua sampel didominasi oleh *natural ferromagnetic resonance* (FMR) dari ion Fe^{3+} yang tersusun dalam struktur heksagonal tipe-M. Resonansi ini terjadi ketika medan magnet gelombang elektromagnetik sesuai dengan frekuensi precesi momen magnetik dalam material, sehingga terjadi konversi energi gelombang menjadi energi panas internal.



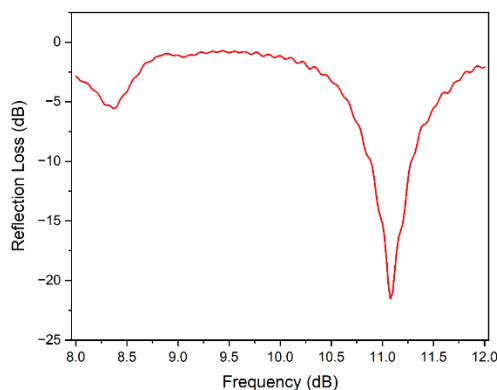
Gambar 1. Grafik Reflection Loss Sampale I

Pada sampel tanpa doping (Sampel 1), diperoleh nilai RL minimum sebesar –22 dB pada frekuensi 11,1 GHz. Nilai ini menunjukkan bahwa material mampu menyerap lebih dari 99% energi gelombang yang datang, yang menandakan bahwa $BaFe_{12}O_{19}$ murni sudah memiliki kinerja penyerap yang baik. Namun, ketika ion Y^{3+} ditambahkan ke dalam struktur kristal (Sampel 2–4), terjadi variasi dalam kedalaman RL dan posisi frekuensi resonansi.



Gambar 2. Grafik Reflection Loss Sample II

Sampel 2 menunjukkan performa terbaik dengan RL minimum -23 dB pada frekuensi $11,05$ GHz, sekaligus mempertahankan bandwidth efektif sebesar $0,7$ GHz pada ambang $RL < -10$ dB. Peningkatan ini menunjukkan bahwa substitusi Y^{3+} berhasil mengoptimalkan keseimbangan antara rugi magnetik dan rugi dielektrik, sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi gelombang.



Gambar 3. Grafik Reflection Loss Sampale III

Sampel 3 memperlihatkan performa penyerapan yang lebih rendah dengan nilai RL minimum -17 dB pada $11,2$ GHz. Penurunan kedalaman RL ini dapat disebabkan oleh perubahan struktur mikro seperti meningkatnya ukuran butir atau distribusi pori yang kurang homogen, sehingga mengurangi efisiensi pencocokan impedansi antara material dan udara. Ketidakesesuaian impedansi menyebabkan sebagian gelombang dipantulkan sebelum memasuki material, sehingga mengurangi energi yang dapat diserap. Sementara itu, Sampel 4 menunjukkan nilai RL -21 dB pada $11,1$ GHz, mendekati performa sampel tanpa doping namun belum melampaui efektivitas sampel doping optimum.

Analisis mekanisme absorpsi menunjukkan bahwa peningkatan performa pada sampel terdoping Yttrium berhubungan dengan modifikasi sifat dielektrik dan magnetik material. Doping Y^{3+} dapat memengaruhi distribusi ion Fe^{2+}/Fe^{3+} sehingga meningkatkan intensitas *electron hopping*, yang berkontribusi pada peningkatan rugi dielektrik. Selain itu, keberadaan Y^{3+} juga berpotensi menciptakan tegangan internal pada kisi kristal sehingga memengaruhi anisotropi magnetik dan energi resonansi. Kombinasi rugi magnetik dan dielektrik yang seimbang inilah yang memungkinkan pencapaian nilai RL yang lebih dalam.

Secara keseluruhan, seluruh sampel menunjukkan bandwidth penyerapan efektif sebesar $0,7$ GHz. Bandwidth yang relatif sempit ini menandakan bahwa penyerapan masih didominasi oleh satu mode resonansi magnetik tanpa kontribusi *multi-resonance*. Untuk meningkatkan bandwidth, modifikasi lebih lanjut seperti meningkatkan konsentrasi dopan, membuat struktur komposit polimer–ferrite, atau merancang struktur berpori dapat dilakukan pada penelitian lanjutan. Meski demikian, performa RL yang telah dicapai—khususnya pada sampel doping optimum—menunjukkan bahwa $BaFe_{12}O_{19}-Y$ memiliki potensi yang sangat baik sebagai material penyerap gelombang mikro, terutama pada aplikasi yang membutuhkan penyerapan tajam pada frekuensi tertentu seperti radar absorbing material (RAM) dan *electromagnetic interference* (EMI) shielding.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa doping Yttrium (Y^{3+}) pada material Barium Heksaferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) memberikan pengaruh signifikan terhadap kemampuan penyerapan gelombang mikro pada rentang frekuensi X-band ($8-12$ GHz). Seluruh sampel mempertahankan struktur heksagonal tipe-M, namun terjadi peningkatan kinerja elektromagnetik seiring perubahan sifat magnetik dan dielektrik akibat substitusi ion Y^{3+} . Sampel dengan doping optimum menghasilkan nilai *reflection loss* terdalam sebesar -23 dB pada frekuensi $11,05$ GHz dengan bandwidth efektif $0,7$ GHz, yang menunjukkan bahwa lebih dari $99,5\%$ energi gelombang dapat diserap secara efisien. Peningkatan ini dikaitkan dengan pencocokan impedansi yang lebih baik serta sinergi antara rugi magnetik dan rugi dielektrik. Dengan demikian, $BaFe_{12}O_{19}$ terdoping Yttrium memiliki potensi tinggi untuk digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro, khususnya pada aplikasi *electromagnetic interference* (EMI) shielding dan *radar absorbing material* (RAM). Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut melalui optimasi konsentrasi dopan atau desain struktur komposit guna meningkatkan bandwidth dan efektivitas penyerapan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan dukungan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan tersebut sangat membantu dalam proses pelaksanaan eksperimen, pengujian laboratorium, serta penyusunan naskah ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dan memberikan kontribusi selama kegiatan penelitian berlangsung.

Daftar Pustaka

- [1] H. Kaur, K. S. Bhatia, B. S. Tewari, P. Mandal, and A. Dhyani, "Influence of Co-In Doping in M-Type Barium–Strontium Hexagonal Ferrite on Microwave Absorption," *J. Electron. Mater.*, vol. 51, no. 8, pp. 4152–4160, Aug. 2022, doi: 10.1007/s11664-022-09731-3.
- [2] E. Handoko *et al.*, "Microwave absorption performance of barium hexaferrite multi-nanolayers," *Mater. Express*, vol. 10, no. 8, pp. 1328–1336, 2020, doi: 10.1166/mex.2020.1811.
- [3] N. Thakur *et al.*, "Improvement in the structural, magnetic and electromagnetic behaviour of barium hexaferrites with yttrium doping for EMI shielding," *J. Alloys Compd.*, vol. 976, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.jallcom.2023.173042.
- [4] G. Gultom, M. Rianna, P. Sebayang, and M. Ginting, "The effect of Mg–Al binary doped barium hexaferrite for enhanced microwave absorption performance," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 18, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.csite.2019.100580.
- [5] V. C. Pujari *et al.*, "Influence of Dy³⁺ doping on Mössbauer, magnetic and microwave absorption properties of M-type Ba_{0.5}Ca_{0.5}Dy_xFe_{12-x}O₁₉ hexaferrites," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 610, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.jmmm.2024.172555.
- [6] J. Singh *et al.*, "Investigation on structural and microwave absorption property of Co substituted Mtype Ba–Sr hexagonal ferrites prepared by a ceramic method 2+ 3+ and Y," 2016, doi: 10.1016/j.jallcom.2016.09.251.This.