

## PENINGKATAN PENYERAPAN GELOMBANG MIKRO PADA BARIUM HEKSAFERRIT DENGAN DOPING YTTRIUM (Y)

Annisa Salsabila<sup>1</sup>, Nazaruddin Nasution<sup>2</sup>, Masthura<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan

<sup>3</sup>Universitas Sumatera Utara, Medan

e-mail: <sup>1</sup>my9244538@gmail.com, <sup>2</sup>nazaruddin\_nst@uinsu.ac.id, <sup>3</sup>masthura@uinsu.ac.id

**Abstract:** This study discusses the effect of Yttrium (Y) doping variations on the physical and electromagnetic properties of Barium Hexafere ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) synthesized using the solidstate reaction method. The doping variations used were 0.00; 0.01; 0.03; and 0.05 at%. The calcination process was carried out at 600 °C and sintering at 1200 °C. Characterization was performed using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Vector Network Analyzer (VNA). The XRD results showed that all samples had a single phase of  $BaFe_{12}O_{19}$  with a hexagonal structure according to JCPDS No. 84-0757 without secondary phases, with the highest crystallinity at a doping of 0.05 at%. SEM analysis showed an increase in grain density and a decrease in porosity with increasing Y doping. VNA testing showed the best Reflection Loss value of –12.98 dB at a frequency of 8.87 GHz with 71.8% microwave absorption. Yttrium doping of 0.05 at% is the optimal composition for enhancing microwave absorption in Barium Hexafere.

**Keywords:** Barium Hexafere, Yttrium, solid state reaction, XRD, SEM, VNA

**Abstrak:** Penelitian ini membahas pengaruh variasi doping Yttrium (Y) terhadap sifat fisis dan elektromagnetik Barium Heksaferrit ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) yang disintesis menggunakan metode *solid state reaction*. Variasi doping yang digunakan yaitu 0,00; 0,01; 0,03; dan 0,05 at%. Proses kalsinasi dilakukan pada suhu 600 °C dan sintering pada suhu 1200 °C. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Vector Network Analyzer* (VNA). Hasil XRD menunjukkan semua sampel memiliki fasa tunggal  $BaFe_{12}O_{19}$  dengan struktur heksagonal sesuai JCPDS No. 84-0757 tanpa fasa sekunder, dengan kristalinitas tertinggi pada doping 0,05 at%. Analisis SEM menunjukkan peningkatan kerapatan butir dan penurunan porositas seiring bertambahnya doping Y. Uji VNA menunjukkan nilai *Reflection Loss* terbaik –12,98 dB pada frekuensi 8,87 GHz dengan penyerapan gelombang mikro 71,8%. Doping Yttrium 0,05 at% merupakan komposisi optimal untuk meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang mikro pada Barium Heksaferrit.

**Kata Kunci:** Barium Heksaferrit, Yttrium, *solid state reaction*, XRD, SEM, VNA

### PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan perangkat elektronik menyebabkan meningkatnya radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat mengganggu kesehatan dan kinerja sistem elektronik (Batubara et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan material penyerap gelombang mikro (*Radar Absorbing Material*/RAM). Barium heksaferrit ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) memiliki stabilitas

kimia, koersivitas, dan sifat magnetik yang baik, namun anisotropinya yang tinggi dapat mengurangi kemampuan penyerapan (Yassin et al., 2024). Salah satu upaya peningkatan kinerja adalah melalui doping Yttrium (Y), yang dapat memperbaiki struktur kristal, meningkatkan densitas, dan menyesuaikan impedansi material. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh doping Yttrium terhadap sifat

fisik dan elektromagnetik  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  yang disintesis dengan metode reaksi padatan, menggunakan karakterisasi XRD, SEM, dan VNA pada frekuensi pita-X.

### Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus serta dapat merambat tanpa medium (Seniari & Dharma, 2020). Salah satu jenisnya adalah gelombang mikro dengan frekuensi 300 MHz–300 GHz dan panjang gelombang 1 mm–100 cm, yang banyak digunakan dalam komunikasi, radar, dan perangkat elektronik modern (Syukur Ziliwu et al., 2025). Namun, peningkatan penggunaannya dapat menyebabkan interferensi elektromagnetik (*Electromagnetic Interference/EMI*) yang mengganggu kinerja perangkat dan berpotensi berdampak negatif bagi kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan material penyerap gelombang mikro untuk mengurangi radiasi elektromagnetik yang berlebihan (Yustanti et al., 2024).

### Material Penyerap Gelombang

Material penyerap gelombang mikro adalah material yang mampu meredam dan menyerap gelombang elektromagnetik dengan mengubahnya menjadi energi panas. Material ini berperan dalam mengurangi interferensi elektromagnetik (EMI) dan banyak digunakan sebagai Radar Absorbing Material (RAM). Kinerjanya dipengaruhi oleh permitivitas, permeabilitas, dan ketebalan. Barium heksaferrit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) banyak dikembangkan karena stabilitas kimia dan sifat magnetiknya yang baik, namun anisotropinya yang tinggi dapat menurunkan kemampuan penyerapan.

### Yttrium (Y)

Yttrium (Y) merupakan logam tanah jarang yang digunakan sebagai dopan untuk meningkatkan sifat magnetik dan struktur kristal barium heksaferrit (Ridwan & Nasution, 2025). Penambahan ion Y menggantikan sebagian ion barium

dalam kisi kristal, sehingga dapat meningkatkan stabilitas termal, densitas, serta kesesuaian impedansi material. Selain itu, doping Yttrium juga dapat memperbaiki morfologi, mengurangi porositas, dan meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang mikro.

### METODE

Penelitian ini mensintesis Barium Heksaferrit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) dengan doping Yttrium (Y) sebesar 0,00; 0,01; 0,03; dan 0,05 at% menggunakan metode reaksi padatan. Campuran  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan Y dikalsinasi pada 600 °C selama 6 jam dan disinter pada 1200 °C selama 6 jam. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD untuk struktur kristal, SEM untuk morfologi permukaan, dan VNA untuk mengukur kemampuan penyerapan gelombang mikro pada frekuensi pita-X (8–12 GHz).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Penelitian

#### Uji Densitas

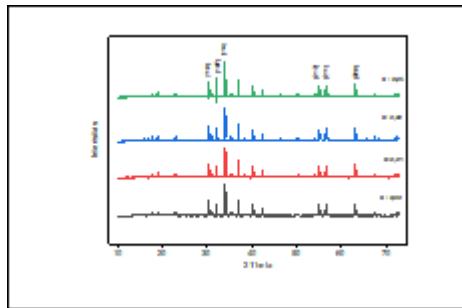
Uji densitas dilakukan untuk menentukan kerapatan dan porositas material yang memengaruhi kemampuan  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dalam menyerap gelombang mikro. Hasil menunjukkan bahwa densitas menurun setelah proses sintering. Sebelum sintering, densitas berada pada rentang 750,29–750,24  $\text{kg/m}^3$ , sedangkan setelah sintering menurun menjadi 750,21–750,16  $\text{kg/m}^3$ . Penurunan terbesar terjadi pada doping 0,05 at%, dari 750,24 menjadi 750,16  $\text{kg/m}^3$ , sementara sampel tanpa doping (0,00 at%) mengalami penurunan dari 750,29 menjadi 750,21  $\text{kg/m}^3$ .

Penurunan densitas setelah sintering menunjukkan terbentuknya mikropori akibat pelepasan gas selama pemanasan. Meskipun sintering umumnya meningkatkan densitas, penyusutan volume yang tidak homogen dapat membentuk rongga yang menurunkan

densitas. Hasil ini sesuai dengan Priyono & Azwar (2018) yang menyatakan bahwa porositas sangat memengaruhi densitas akhir material. Oleh karena itu, meskipun doping Yttrium tidak memberikan perubahan densitas yang signifikan, porositas tetap berperan penting terhadap sifat fisik dan kemampuan penyerapan gelombang mikro.

#### Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD pada penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi struktur kristal, menentukan fase-fase yang terbentuk, serta mengamati pengaruh doping Yttrium terhadap tingkat kristalinitas material.



Gambar 1 Grafik Pola Difraksi XRD

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa seluruh sampel  $BaFe_{12-x}Y_xO_{19}$  dengan variasi doping Yttrium (0,00–0,05 at%) membentuk fase tunggal barium heksaferrit berstruktur heksagonal sesuai dengan standar JCPDS No. 84-0757. Puncak difraksi utama terdeteksi pada bidang (110), (107), (114), (206), dan (220), tanpa adanya fase sekunder, yang menunjukkan bahwa metode reaksi padatan berhasil menghasilkan  $BaFe_{12}O_{19}$  dengan kemurnian fase yang baik (Sihotang et al., 2025).

Seiring meningkatnya konsentrasi doping Yttrium, intensitas puncak difraksi menjadi lebih tinggi dan tajam, terutama pada doping 0,05 at%, yang menandakan peningkatan kristalinitas dan keteraturan struktur kristal. Hal ini disebabkan oleh substitusi ion  $Y^{3+}$  ke dalam kisi kristal  $BaFe_{12}O_{19}$  yang membantu memperbaiki susunan atom dan mengurangi cacat struktur tanpa mengubah fase utama.

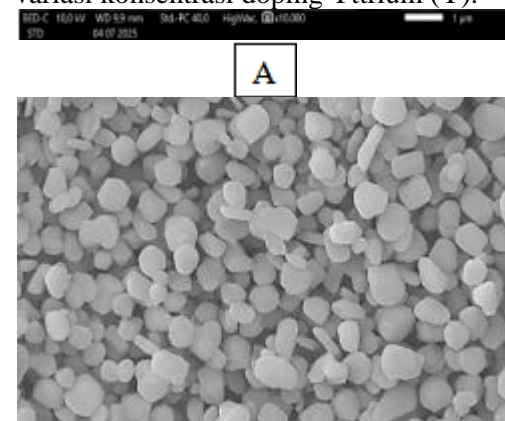
Peningkatan kristalinitas ini berpengaruh positif terhadap sifat elektromagnetik material, karena struktur kristal yang lebih teratur dapat meningkatkan resonansi magnetik dan kesesuaian impedansi. Dengan demikian, doping Yttrium, khususnya pada konsentrasi 0,05 at%, berkontribusi dalam meningkatkan kualitas struktur kristal dan mendukung peningkatan kemampuan penyerapan gelombang mikro pada frekuensi pita-X.

Tabel 1 Peningkatan Kristalinitas

Sampel	Densitas sebelum sintering ( $kg/m^3$ )	Densitas setelah sintering ( $kg/mm^3$ )
A	750,29	750,21
B	750,26	750,20
C	750,23	750,17
D	750,24	750,16

#### Analisis Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

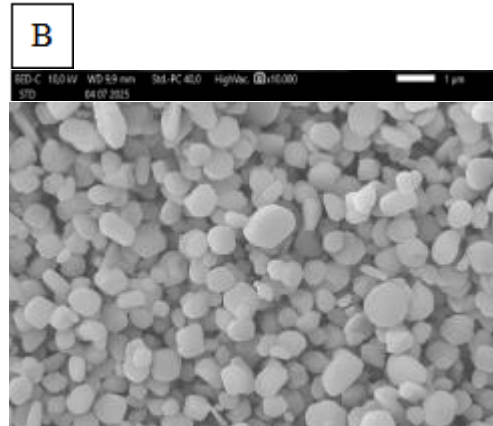
Berdasarkan hasil pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, terlihat adanya perubahan morfologi pada permukaan partikel  $BaFe_{12-x}Y_xO_{19}$  akibat variasi konsentrasi doping Yttrium (Y).



Gambar 2 Citra Morfologi SEM, (a) Tanpa Doping (0,00 at%)

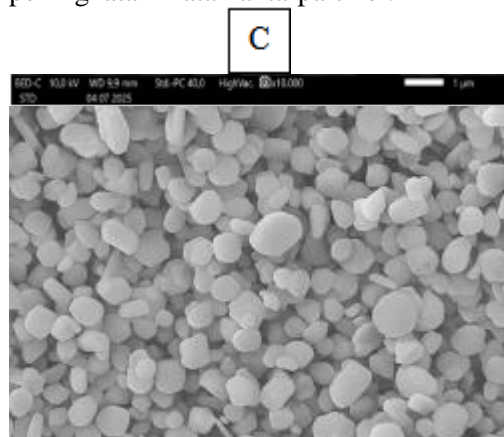
Permukaan sampel menunjukkan partikel yang relatif besar dengan batas butir (*grain boundaries*) yang terlihat

jas. Struktur material tampak kurang rapat dengan tingkat porositas yang cukup tinggi. Distribusi ukuran partikel berada pada kisaran 642–700 nm, yang menunjukkan bahwa tanpa doping, proses sintering belum berlangsung secara optimal sehingga densitas material masih relatif rendah.



**Gambar 3 Citra Morfologi SEM, (b) Doping (0,01 at%)**

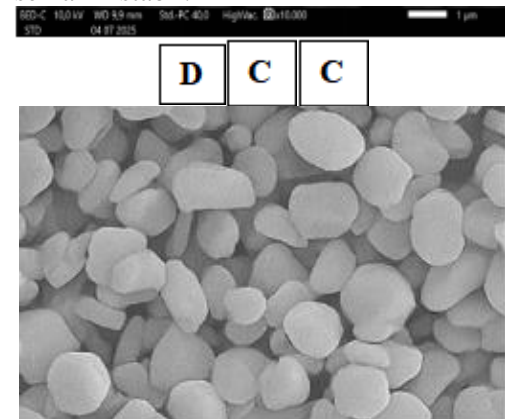
Morfologi partikel mulai menunjukkan ikatan antarpartikel yang lebih baik. Ukuran partikel mengalami sedikit penurunan dengan distribusi diameter dominan sekitar 600 nm. Perubahan ini menunjukkan bahwa doping Yttrium pada konsentrasi rendah membantu memperhalus struktur dan mengurangi porositas melalui peningkatan ikatan antarpartikel.



**Gambar 4 Citra Morfologi SEM, (c) Doping (0,03 at%)**

Permukaan sampel tampak semakin rapat dan homogen dengan ukuran partikel yang lebih kecil, yaitu sekitar 500

nm, serta batas butir yang semakin sulit dibedakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses sintering berlangsung secara optimal, sehingga menghasilkan peningkatan kerapatan butir dan penurunan porositas. Distribusi ukuran partikel juga menjadi lebih seragam, yang menandakan morfologi material yang semakin stabil.



**Gambar 5 Citra Morfologi SEM, (d) Doping (0,05 at%)**

Pada tingkat doping tertinggi, struktur tampak paling rapat dan halus dengan ukuran partikel rata-rata sekitar 450 nm. Permukaan menunjukkan hampir tidak adanya celah besar, yang mengindikasikan densitas yang sangat tinggi. Namun demikian, terdapat sedikit indikasi aglomerasi akibat pertumbuhan butir yang berlebihan. Secara keseluruhan, penambahan Yttrium hingga 0,05 at% meningkatkan homogenitas, mengurangi porositas, dan secara signifikan memperbaiki struktur mikro material.

#### 1. Analisis Pengujian *Vector Network Analyzer* (VNA)

Pengujian menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) dilakukan untuk mengetahui kemampuan barium heksaferrit dengan variasi doping Yttrium (0,00; 0,01; 0,03; dan 0,05 at%) dalam menyerap gelombang mikro pada pita-X (8–12 GHz). Parameter yang dianalisis adalah *Reflection Loss* (RL), di mana semakin negatif nilai RL menunjukkan kemampuan penyerapan yang semakin baik. Variasi doping Yttrium digunakan

untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan kinerja penyerapan.

Hasil pengujian VNA menunjukkan kurva *Reflection Loss* (RL) terhadap frekuensi pada rentang pita-X (8–12 GHz). Grafik tersebut memperlihatkan bahwa setiap variasi doping Yttrium menghasilkan pola penyerapan gelombang mikro yang berbeda. Sampel tanpa doping (0,00 at% menunjukkan nilai RL sekitar –8,83 dB pada frekuensi 8,87 GHz dengan tingkat penyerapan sebesar 63,82%. Pada tingkat doping rendah, yaitu 0,01 at% dan 0,03 at%, kurva RL bergeser ke nilai yang lebih kecil, masing-masing sebesar –5,61 dB (52,50%) dan –7,02 dB (55,50%). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Yttrium dalam jumlah kecil belum mampu memperbaiki kondisi *impedance matching*, sehingga kemampuan penyerapan gelombang mikro justru mengalami penurunan.

D	C	B
---	---	---

Sebaliknya, pada doping 0,05 at% terlihat penurunan nilai RL yang lebih tajam, yaitu sebesar –12,98 dB pada frekuensi 8,87 GHz, yang setara dengan tingkat penyerapan gelombang mikro sebesar 71,80%. Hasil ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi doping yang lebih tinggi terjadi keseimbangan yang lebih baik antara sifat dielektrik dan magnetik material, sehingga tercapai kondisi *impedance matching* yang optimal. Dengan demikian, grafik hasil uji VNA menegaskan bahwa doping Yttrium sebesar 0,05 at% merupakan komposisi terbaik untuk meningkatkan kemampuan  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dalam menyerap gelombang mikro pada frekuensi band-X.

**Tabel 2 Hasil Uji VNA**

Sample Name	Reflection Loss (dB)	Frequency (GHz)	Absorption Percentage (%)
A	–8,83	8,87	63,82
B	–5,61	8,79	52,5
C	–7,02	8,69	55,5

D	–12,98	8,87	71,8
---	--------	------	------

Hasil uji VNA menunjukkan bahwa doping Yttrium memengaruhi nilai *Reflection Loss* (RL) dan kemampuan penyerapan gelombang mikro. Sampel tanpa doping memiliki RL –8,83 dB dengan penyerapan 63,82%, menunjukkan bahwa  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  sudah memiliki kemampuan serap yang baik. Namun, pada doping 0,01 at% dan 0,03 at%, nilai RL menurun menjadi –5,61 dB (52,50%) dan –7,02 dB (55,50%), yang menunjukkan pencocokan impedansi belum optimal sehingga sebagian gelombang masih dipantulkan.

Sebaliknya, pada doping 0,05 at%, nilai RL meningkat signifikan menjadi –12,98 dB dengan penyerapan 71,80% pada frekuensi 8,87 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan doping memperbaiki keteraturan kristal dan sifat elektromagnetik, sehingga pencocokan impedansi menjadi lebih efektif. Dengan demikian, doping Yttrium 0,05 at% merupakan komposisi terbaik untuk meningkatkan kemampuan penyerapan  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  pada frekuensi pita-X.

## SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas sampel sedikit menurun setelah sintering akibat terbentuknya porositas. Analisis XRD mengonfirmasi seluruh sampel memiliki fase tunggal  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  berstruktur heksagonal tanpa fase tambahan, dengan kristalinitas meningkat seiring penambahan doping Yttrium dan mencapai optimum pada 0,05 at%.

Pengamatan SEM memperlihatkan peningkatan kerapatan butir dan penurunan porositas pada doping yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan hasil VNA, di mana doping 0,05 at% menghasilkan nilai RL terbaik sebesar –12,98 dB pada 8,87 GHz dengan penyerapan 71,80%. Dengan demikian, konsentrasi 0,05 at% merupakan komposisi paling optimal untuk

meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang mikro BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Batubara, D. A., Fazirah, C., Syahfitrih, L., Fadilla, M., & Anggraini, R. (2023). Pengaruh Radiasi Elektromagnetik Yang Ditimbulkan Oleh Telepon Seluler. *Al-Irsyad Journal of Physics Educations*, 2(2), 76–85.
- Ridwan, M., & Nasution, N. (2025). Pengaruh Doping Yttrium terhadap Kinerja Penyerapan Gelombang Mikro pada Barium Heksaferrit. *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology) JISTech*, 10(2), 208–211. <https://doi.org/10.30829/jistech.v10i2.28639>
- Seniari, N. M., & Dharma, B. W. (2020). Penyuluhan Bahaya Radiasi Gelombang Elektromagnetik Pada Organ Tubuh Mhluk Hidup Di Kelurahan Pagutan Barat Mataram. *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Tahun 2020 Prosiding PEPADU 2020*, 2, 230–235.
- Sihotang, M. S., Angelo, M. A., Naibaho, M., Maulidita, M., Ichsan, N., & Ginting, M. (2025). Effect of Barium Hexaferrite Doped Yttrium (Y3+) On The Microwave Absorption By Solid-State Reaction Methods. *Journal of Technomaterial Physics*, 7(1), 063–070. <https://doi.org/10.32734/jotp.v7i1.19265>
- Syukur Ziliwu, H., Juang, F., Waruwu, P., & Gulo, F. A. (2025). Analisis Literatur Tentang Gelombang Elektromagnetik Dan Pengaruhnya Pada Teknologi Komunikasi. *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan Dan Teknik*, 02(06), 13–18.
- Yassin, M. F., Nazara, B. R. J., Qiblatain, D., Azhary, K. M. R., Andika, M. R., Hidayatulloh, F. A., & Lubis, B. O. (2024). Implementasi Algoritma C4.5 Untuk Analisis Dampak Negatif Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Terhadap Otak Pada Periode 2019-2023. *Jurnal Humaniora Dan Sosial Sains*, 2(1), 23–30.
- Yustanti, E., Trisdian, A., & Noviyanto, A. (2024). Pengaruh Amplitudo Dan Waktu Sonikasi Terhadap Penurunan Reflection Loss Pada Sintesis Material Absorber Berbasis Pasir Besi Banten Untuk Aplikasi Pesawat Anti Radar. *Jurnal Integrasi Proses*, 13(1), 13–20. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/ji>