

**EFEK SUBSTITUSI Al (ALUMINIUM) DAN Mn  
(MANGAN) PADA MATERIAL MAGNETIK BARIUM  
HEKSAFERIT TERHADAP KEMAMPUAN SERAPAN  
GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Sains**



**Juwanda Fernando**

**1306620070**






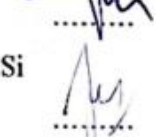

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### EFEK SUBSTITUSI Al (ALUMINIUM) DAN Mn (MANGAN) PADA MATERIAL MAGNETIK BARIUM HEKSAFERIT TERHADAP KEMAMPUAN SERAPAN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Nama : Juwanda Fernando  
No. Registrasi : 1306620070

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
<b>Penanggung Jawab</b>		
Dekan : Prof. Dr. Muktiningsih N., M.Si NIP. 196405111989032001		31/7/2024
<b>Wakil Penanggung Jawab</b>		
Wakil Dekan I : Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 197207281999031002		31/7/2024
Ketua : Dr. Anggara Budi Susila, M.Si NIP. 196010011992031001		24/7/2024
Sekretaris : Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 197207281999031002		22/7/2024
<b>Anggota</b>		
Pembimbing I : Prof. Dr. Erfan Handoko, M.Si NIP. 197302012003121002		22/7/2024
Pembimbing II : Prof. Dr. Mangasi Alion M., M.Si NIP. 195711231987031003		22/7/2024
Penguji : Prof. Dr. Iwan Sugihartono, M.Si NIP. 197910102008011081		22/7/2024

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 18 Juli 2024.

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “**Efek Substitusi Al (Aluminium) dan Mn (Mangan) pada Material Magnetik Barium Heksaferit terhadap Kemampuan Serapan Gelombang Elektromagnetik**” yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Proram Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta adalah benar karya ilmiah saya dengan mendapat arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang digunakan oleh penulis sebagai referensi dalam skripsi ini, diperoleh dari penulis lain yang telah dicantumkan dalam daftar pustaka yang sesuai dengan standar, kaidah, dan etika penulis ilmiah.

Apabila dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini, bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 22 Juli 2024



Juwanda Fernando



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220  
Telepon/Faksimili: 021-4894221  
Laman: [lib.unj.ac.id](http://lib.unj.ac.id)

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Juwanda Fernando  
NIM : 1306620070  
Fakultas/Prodi : FMIPA / Fisika  
Alamat email : juwandafernando2@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi  Tesis  Disertasi  Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Efek Substitusi Al (Aluminium) dan Mn (Mangan) pada Material Magnetik Barium Heksaferit terhadap Kemampuan Serapan Gelombang Elektromagnetik.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 7 Agustus 2024

Penulis

(Juwanda Fernando )  
nama dan tanda tangan

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Semesta Alam yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul **“Efek Substitusi Al (Aluminium) dan Mn (Mangan) pada Material Magnetik Barium Heksaferit terhadap Kemampuan Serapan Gelombang Elektromagnetik”**. Skripsi ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

Keberhasilan dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta dukungan dari semua pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Erfan Handoko, M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan pengetahuan dan bimbingan yang sangat bermanfaat dalam proses penulisan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Mangasi Alion Marpaung, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengetahuan dan bimbingan kepada penulis.
3. Dr. Umiatin, M.Si selaku koordinator program studi fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNJ.
4. Prof. Dr. Iwan Sugihartono, M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, saran, dan arahan kepada penulis selama menempuh pendidikan di UNJ.
5. Seluruh Dosen Fisika, FMIPA UNJ atas ilmu yang telah diberikan selama menempuh Pendidikan di UNJ.
6. Kedua orang tua saya Bapak Jumadi dan Ibu Rujati yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi, donatur serta doa yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.



7. Kakak saya Juanita Febriati yang memberikan dukungan, semangat, donatur dan doa kepada penulis dalam menyusun skripsi.
8. Prof. Dr-ing. Mudrik Alaydrus dari laboratorium Gelombang Mikro Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta yang telah memberikan fasilitas pengukuran *Vector Network Analyzer* (VNA).
9. Prof. Dr. Azwar Manaf, M.Met dari laboratorium Material Magnet Departemen Fisika, Universitas Indonesia yang telah memberikan fasilitas pengukuran permagraph.
10. Ghania Ayu, Natasya Frysilia, Ariq Rizki, Fakhriil Anam, Bintang Ramadhan yang selalu ada dan membantu semua proses dalam menyelesaikan Program Sarjana ini baik suka maupun duka.
11. Afin Humam, Andika Yuda, Lily Amanda, Irsya Lutfiah, Annisa Feby, Tiara Khansa, Aulia Putri, Elsa Regita, Daffa Viandika, Rayhan Izzati, Catur Anthony, Febrian Zulmi selaku teman dan sahabat yang mendukung dalam menghadapi stress selama penyusunan skripsi.
12. Teman sebangunan Adayila Muda, Novana Anggara, Jasmawati, Sahat Maruli, Fadli Handoyo yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan dalam pengambilan data di laboratorium.
13. Teman-teman Fisika 2020 atas kebersamaannya selama perkuliahan di UNJ hingga penyusunan Skripsi ini.

Kepada semua pihak dan nama-nama yang telah disebutkan di atas, semoga Tuhan Semesta Alam yang memberi balasan dengan pahala yang berlipat ganda. Penulis tentu menyadari banyaknya kekurangan dan kesalahan pada penulisan skripsi ini, oleh karena itu diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun untuk pembelajaran kedepannya. Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, aamiin.

Jakarta, 11 Juli 2024



Juwanda Fernando

## ABSTRAK

**JUWANDA FERNANDO, 2024.** Efek Substitusi Al (Aluminium) dan Mn (Mangan) pada Material Magnetik Barium Heksaferit terhadap Kemampuan Serapan Gelombang Elektromagnetik, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Juli 2024.

Barium heksaferit merupakan suatu jenis ferit yang memiliki struktur kristal heksagonal. Penelitian tentang efek substitusi Al dan Mn pada material magnetik Barium Heksaferit terhadap kemampuan serapan gelombang elektromagnetik telah dilakukan. Berdasarkan sintesis material magnetik  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  yang dilakukan dengan menggunakan metode reaksi zat padat. Pada sintesis yang dilakukan diperoleh hasil yang akan dikarakterisasi berupa pellet hasil dari kompaksi. Hasil analisis optik pada sampel perbesaran 500 kali terlihat tercampur rata, perbesaran 1300 kali terlihat semakin tinggi nilai variasi penambahan Al dan Mn maka, pada sampel terlihat partikel yang berwarna putih yang semakin meningkat. Dikarenakan komposisi material  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang berwarna putih meningkat. Sifat kemagnetan material magnetik  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  menunjukkan penurunan magnetisasi remanensi ( $M_r$ ) dan nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) serta peningkatan magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) seiring meningkatnya penambahan massa Al dan Mn. Berdasarkan nilai  $H_c$  yang diperoleh menunjukkan material magnetik  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  merupakan *hard magnetic*. Sifat penyerapan gelombang mikro rentang *milliwave* dengan frekuensi 26.5 – 40 GHz pada material magnetik  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  yang optimal ketika  $x = 0.75$ . Hal ini dikarenakan pada variasi  $x = 0.75$  memiliki nilai *Reflection Loss* (RL) minimum sebesar -10.031 dB, dengan *bandwidth* (< -5 dB) sebesar 11.722 GHz, *bandwidth* (< -10 dB) sebesar 9.624 GHz. Presentase *absorption* material + *transmission* maksimum (gelomba yang tidak dipantulkan kembali) sebesar 90.070 %.

**Kata Kunci :** Barium heksaferit, substitusi, reaksi zat padat,  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ , gelombang mikro (*milliwave*).

## ABSTRACT

**JUWANDA FERNANDO, 2024.** Effects of Al (Aluminum) and Mn (Manganese) Substitution in Barium Hexaferite Magnetic Material on Electromagnetic Wave Absorption Ability, Physics Study Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Jakarta. July 2024.

Barium hexaferite is a type of ferrite that has a hexagonal crystal structure. Research on the effect of Al and Mn substitution in Barium Hexaferite magnetic material on the ability of electromagnetic wave absorption has been conducted. Based on the synthesis of  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  magnetic material carried out using the solid state reaction method. In the synthesis carried out, the results obtained will be characterized in the form of pellets resulting from compaction. The results of optical analysis on the sample magnification of 500 times look evenly mixed, 1300 times magnification looks the higher the value of the variation of the addition of Al and Mn then, in the sample visible white particles that are increasing. Due to the composition of white  $\text{Al}_2\text{O}_3$  material increases. Due to the composition of white  $\text{Al}_2\text{O}_3$  material increases. The magnetic properties of  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  magnetic material show a decrease in remanence magnetization ( $M_r$ ) and coercivity field value ( $H_c$ ) and an increase in saturation magnetization ( $M_s$ ) as the mass addition of Al and Mn increases. Based on the  $H_c$  value obtained, it shows that  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  magnetic material is hard magnetic. The microwave absorption properties of the milliwave range with a frequency of 26.5 - 40 GHz in the  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$  magnetic material are optimal when  $x = 0.75$ . This is because the  $x = 0.75$  variation has a minimum Reflection Loss (RL) value of -10.031 dB, with a bandwidth ( $< -5$  dB) of 11.722 GHz, a bandwidth ( $< -10$  dB) of 9.624 GHz. The percentage of material absorption + maximum transmission (non-reflected waves) is 90.070%.

**Keywords:** Barium hexaferite, substitution, solid state reaction,  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ , microwave (milliwave).



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR SINGKATAN .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Barium Hexaferrit ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) .....	5
B. Aluminium (Al).....	6
C. Mangan (Mn).....	7
D. Substitusi Unsur .....	8
E. Transformasi Fasa.....	8
F. Penyerapan Gelombang Elektromagnetik.....	10
G. Sifat Magnetik .....	12
H. <i>Solid State Reaction</i> (SSR).....	15
I. Karakterisasi material .....	16
J. Penelitian-penelitian Sebelumnya.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
B. Metode Penelitian.....	22
C. Teknik Pengumpulan dan Analisis data.....	27
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	28

A.	Hasil dan Analisa Sintesis $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	29
B.	Hasil dan Analisa Optik material $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	31
C.	Hasil dan Analisa Permagraph material $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	33
D.	Hasil dan Analisa <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA) material $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	38
E.	Kelebihan dan Kekurangan Penelitian.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		45
A.	Kesimpulan.....	45
B.	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....		46
LAMPIRAN.....		52
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		64



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur barium heksaferit (Manglam dkk., 2021).....	5
Gambar 2. 2. Serbuk almunium perbesaran 100 kali (Triadi dkk., 2021).....	6
Gambar 2. 3 Diagram Fasa dari BaO dan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	9
Gambar 2. 4. Momen magnetik bahan feromagnetik (Rubel & Hossain, 2022) ..	12
Gambar 2. 5. Momen magnetik bahan antiferomagnetik (Rubel & Hossain, 2022) .....	13
Gambar 2. 6. Momen bahan paramagnetik tanpa medan eksternal (H = 0) dan dengan medan eksternal (H)(Sinatra, 2010).....	13
Gambar 2. 7. Momen bahan diamagnetik tanpa medan eksternal (H = 0) (Lacovacci dkk, 2016).....	14
Gambar 2. 8 Parameter sintesis (Kudu dkk., 2018) .....	16
Gambar 2. 9 Contoh loop histeresis. Lingkaran hysteresis, remanen (Mrh) dan induksi (Mih) kurva hysteresis.....	18
Gambar 2. 10 Prinsip Kerja VNA (Adi, 2014).....	18
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	24
Gambar 4. 1 Proses sintesis material magnetik BaFe <sub>12-2x</sub> Al <sub>x</sub> Mn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> .....	28
Gambar 4. 2 Sampel hasil (a) milling (b) kompaksi (c) sintering (d) sampel VNA .....	29
Gambar 4. 3 Pengujian optik menggunakan mikroskop digital.....	31
Gambar 4. 4 Hasil uji optik pada perbesaran 500 x dan 1300 x sampel BaFe <sub>12- 2x</sub> Al <sub>x</sub> Mn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> (a) x = 0.00 (b) x = 0.25 (c) x = 0.50 (d) x = 0.75 (e) x = 1.00.....	32
Gambar 4. 5 Pengujian sifat kemagnetan sampel BaFe <sub>12-2x</sub> Al <sub>x</sub> Mn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> .....	33
Gambar 4. 6 Kurva hysteresis (a) x = 0.00 (b) x = 0.25 (c) x = 0.50 (d) x = 0.75 (e) x = 1.00 material BaFe <sub>12-2x</sub> Al <sub>x</sub> Mn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> .....	35
Gambar 4. 7 Grafik hubungan sifat magnetik (a) Ms (b) Mr (c) Hc dengan penambahan komposisi Al dan Mn (nilai x) .....	36
Gambar 4. 8 Kurva hysteresis BaFe <sub>12-2x</sub> Al <sub>x</sub> Mn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> (x = 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, dan 1.00).....	37
Gambar 4. 9 Pengujian sampel dengan VNA .....	39
Gambar 4. 10 Grafik Reflection Loss pengukuran VNA material BaFe <sub>12- 2x</sub> Al <sub>x</sub> Mn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> (a) x = 0.00 (b) x = 0.25 (c) x = 0.50 (d) x = 0.75 (e) x = 1.00.....	40
Gambar 4. 11 Grafik RL dan Am + T material BaFe <sub>12-2x</sub> Al <sub>x</sub> Mn <sub>x</sub> O <sub>19</sub> .....	43

## DAFTAR SINGKATAN

Hc	: Medan Koersivitas
Ms	: Magnetisasi Saturasi
Mr	: Magnetisasi Remanensi
PBM	: <i>Planetary Ball Mill</i>
PVA	: Polivinil Alkohol
RAM	: <i>Radar Absorbing Material</i>
RL	: <i>Reflection Loss</i>
SSR	: <i>Solid State Reaction</i>
Tc	: <i>Temperature curie</i>
VNA	: <i>Vector Network Analyzer</i>



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Kegiatan dan Waktu Penelitian .....	22
Tabel 3. 2. Komposisi bahan-bahan dasar pembentuk material $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	25
Tabel 4. 1 Massa dalam tahap sintesis material $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	30
Tabel 4. 2 Sifat magnetik material $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	36
Tabel 4. 3 Data sifat penyerapan gelombang mikro ( <i>milliwave</i> ) material magnetik .....	41
Tabel 4. 4 Data sifat penyertapan gelombang mikro ( <i>milliwave</i> ) pada material magnetik $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ saat $\text{RL} < -10$ dB .....	41
Tabel 4. 5 Kelebihan dan Kekurangan Penelitian .....	44





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Stoikiometri Material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ .....	52
Lampiran 2. Alat penelitian material magnetik $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	62
Lampiran 3. Bahan penelitian material magnetik $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$ .....	63
Lampiran 4 Alat karakterisasi penelitian material magnetik $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Al}_x\text{Mn}_x\text{O}_{19}$	63

