



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**KARAKTERISASI KOMPOSIT NANO BESI
OKSIDA/GRAPHENE OKSIDA TEREDUKSI DENGAN
DOPING NIKEL/KOBALT UNTUK APLIKASI MATERIAL
PENYERAP RADAR MILITER**

GITA RESTY AMALIA 320210304011

**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER
PROGRAM STUDI FISIKA
BOGOR 2025**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Gita Resty Amalia
NIM : 320210304011
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul : Karakterisasi Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt untuk Aplikasi Material Penyerap Radar Militer

Dosen Pembimbing I



Dr. Riri Murniati, S.Si., M.Si.
NIP. 199001202022032002
Tanggal : 17 Juli 2025

Dosen Pembimbing II



Prof. Andri Hardiansyah, Ph.D.
NIP. 198811132018011003
Tanggal : 30 Juni 2025

Kepala Program Studi Fisika



M. Zuhni Piliang, S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal : 11 Agustus 2025

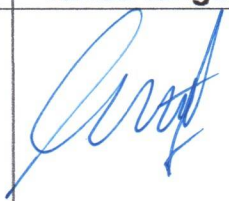
Mengetahui,
Dekan Fakultas MIPA Militer



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si
Pembina Utama Muda IV/C
Tanggal : 11/8-2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Gita Resty Amalia
 NIM : 320210304011
 Program Studi : Fisika
 Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
 Judul : Karakterisasi Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt untuk Aplikasi Material Penyerap Radar Militer

No.	Nama	Tanda tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I Dr. Riri Murniati, S.Si., M.Si. NIP. 199001202022032002		17/7-2025
2.	Dosen Pembimbing II Prof. Andri Hardiansyah, Ph.D. NIP. 198811132018011003		30/6-2025
3.	Dosen Penguji I Dr. Ir. Sovian Aritonang, S.Si., M.Si. Marsekal Pertama TNI.		9/7-2025
4.	Dosen Penguji II Imastuti, S.Pd., M.Han. NUPTK. 2033772673230323		15/7-2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apa pun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 11 Agustus 2025



Gita Resty Amalia

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gita Resty Amalia
NIM : 320210304011
Program Studi : Sarjana Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Karakterisasi Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt untuk Aplikasi Material Penyerap Radar Militer

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor
Pada tanggal : 11 Agustus 2023
Yang menyatakan



Gita Resty Amalia
NIM. 320210304011

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: “Karakterisasi Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt untuk Aplikasi Material Penyerap Radar Militer” dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan RI. Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Letnan Jenderal TNI (Purn.) Dr. Anton Nugroho, M.M.D.S., M.A. selaku Rektor Universitas Pertahanan RI.
2. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pertahanan;
3. Kolonel Tek. M. Zuhnir Piliang, S.Si., M.Eng., selaku Kepala Program Studi Fisika Militer Universitas Pertahanan;
4. Dr. Riri Murniati, S.Si., M.Si. dan Prof. Andri Hardiansyah, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungan selama pembuatan skripsi;
5. Segenap dosen dan staf Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer yang telah memberikan ilmu, dukungan, dan bantuan selama masa perkuliahan;
6. Seluruh peneliti di Pusat Riset Sistem Nanoteknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah banyak membantu dalam proses penelitian skripsi ini;

7. Kedua orang tua penulis, Alm. Willy Tuntun dan Any Suciaty Br. Purba serta adik yang dibanggakan, Renata Alexandria yang telah memberikan bantuan dukungan baik secara moral dan materi;
8. Rekan saya Anselmo Bima Rasendriya yang telah memberikan pandangan serta pengalaman baru dalam bidang riset maupun non riset;
9. Serta pihak-pihak terkait yang tidak dapat ditulis satu per satu yang telah membantu memberikan dukungan dan doanya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini. Skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi pemangku kepentingan dalam upaya pengembangan teknologi material maju di Indonesia dan dunia.

Bogor, 11 Ags 2025



Gita Resty Amalia

ABSTRAK

KARAKTERISASI KOMPOSIT NANO BESI OKSIDA/GRAPHENE OKSIDA TEREDUKSI DENGAN DOPING NIKEL/KOBALT UNTUK APLIKASI MATERIAL PENYERAP RADAR MILITER

Radar merupakan perangkat penting pada bidang militer yang dapat mendeteksi serangan musuh dengan prinsip memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Perkembangan teknologi anti radar menjadi sorotan untuk membuat *radar absorbing material* (RAM). Material berbasis karbon dan material magnetik memiliki potensi yang baik sebagai RAM yang optimal karena menawarkan sifat material yang menarik sehingga menghasilkan *reflection loss* (RL) yang rendah. Dalam penelitian ini, komposit nano disintesis dari graphene oksida tereduksi (rGO) dan partikel nano Fe_3O_4 menggunakan metode kopresipitasi dengan doping nikel dan kobalt. Pengamatan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM) menunjukkan bahwa Fe_3O_4 berbentuk bola dan menempel pada permukaan rGO. Analisis *X-Ray diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa puncak difraksi pada material yang didoping sama dengan material yang tidak didoping. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) menunjukkan bahwa terdapat pergeseran puncak spektrum pada ikatan Fe-O. *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) menunjukkan bahwa komposit nano memiliki karakteristik material super-paramagnetik. Performa penyerapan gelombang mikro dievaluasi menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) pada rentang frekuensi X-band 8-12 GHz dengan ketebalan 2 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa Co- Fe_3O_4 /rGO menunjukkan nilai penyerapan terbaik, mencapai -29,0 dB pada frekuensi 10,4 GHz dengan *through power* 96,45%. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh komposit nano Co- Fe_3O_4 /rGO memiliki potensi yang baik sebagai RAM.

Kata Kunci: Material Penyerap Radar, Besi Oksida, Graphene Oksida Tereduksi, Nikel, dan Kobalt

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF IRON OXIDE/REDUCED GRAPHENE OXIDE WITH NICKEL/COBALT DOPING FOR MILITARY RADAR ABSORBING MATERIAL APPLICATION

Radar is an important instrument in the military field that can detect enemy attacks with the principle of emitting and receiving electromagnetic waves. The development of anti-radar technology is in the spotlight to create radar absorbing materials (RAM). Carbon-based and magnetic materials have good potential as optimal RAM because they offer unique material properties that produce low reflection loss (RL). In this study, nanocomposites were synthesized from reduced graphene oxide (rGO) and Fe_3O_4 nanoparticles using the coprecipitation method with nickel and cobalt doping. Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM) observations showed that Fe_3O_4 was spherical and attached to the surface of rGO. X-ray diffraction (XRD) analysis showed that the diffraction peaks in the doped material were the same as those in the undoped material. Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) showed a shift in the spectrum peaks in the Fe-O bonds. Vibrating Sample Magnetometer (VSM) showed that the nanocomposites had super-paramagnetic material characteristics. The microwave absorption performance was evaluated using Vector Network Analyzer (VNA) in the X-band frequency range of 8-12 GHz with a thickness of 2 mm. The analysis showed that Co- Fe_3O_4 /rGO showed the best absorption value, reaching -29.0 dB at a frequency of 10.4 GHz with a through power of 96.45%. Based on the test results, the Co- Fe_3O_4 /rGO nanocomposite has good potential as RAM.

Keywords: Radar Absorbing Material, Reduced Graphene Oxide, Iron Oxide, Nickel, and Cobalt

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DEPAN (<i>hardcover</i>)	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
PENYATAAN ORISINALITAS	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK (Bahasa Indonesia)	ix
ABSTRACT (Bahasa Inggris)	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Gelombang Elektromagnetik	5
2.1.2 Teknologi Siluman (<i>Stealth Technology</i>)	10
2.1.3 Material Magnetik	14
2.1.4 Material Berbasis Karbon	18
2.1.5 Doping Nikel atau Kobalt pada Komposit Nano	20
2.1.6 Karakterisasi Komposit Nano	21
2.2 Penelitian Terdahulu	26
2.3 Kerangka Berpikir	29
2.4 Hipotesis	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Metode dan Desain Penelitian	30
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.3 Alat dan Bahan	31
3.4 Variabel Penelitian	32
3.5 Prosedur Penelitian	33
3.6 Metode Analisis	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil	37
4.1.1 Pembentukan Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt	37
4.1.2 Karakterisasi Struktur dan Morfologi Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt	38
4.1.3 Karakterisasi <i>Reflection Loss</i> dan <i>Through Power</i> Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt	45
4.2 Pembahasan	47
4.2.1 Pembentukan Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt	47
4.2.2 Karakterisasi Struktur dan Morfologi Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt	48
4.2.3 Karakterisasi <i>Reflection Loss</i> dan <i>Through Power</i> Komposit Nano Besi Oksida/Graphene Oksida Tereduksi dengan Doping Nikel/Kobalt	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	70

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Spektrum Elektromagnetik	5
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Radar	7
Gambar 2.3 Mekanisme Kerja RAM	12
Gambar 2.4 Loop Histerisis Material Magnetik.....	17
Gambar 2.5 Struktur Grafit, Graphene, Graphene Oksida, dan Graphene Oksida Tereduksi.....	19
Gambar 2.6 Skema Interaksi Elektron dengan Material pada Teknik FE-SEM.....	21
Gambar 2.7 Skema Interaksi Sinar-X dengan Kristal Atom pada Teknik XRD	22
Gambar 2.8 Skema Interaksi Sinar IR dengan Material pada Spektroskopi FTIR	23
Gambar 2.9 Skema Interaksi Magnetik Terhadap Material pada Uji VSM.....	24
Gambar 2.10 S-parameter pada VNA Dua Port	25
Gambar 2.11 Kerangka Berpikir Penelitian	29
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	33
Gambar 3.2 Skema Proses Sintesis Material Menggunakan Metode Kopresipitasi	34
Gambar 4.1 Skema Pembentukan Komposit Nano $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ dengan Doping Nikel/Kobalt	37
Gambar 4.2 Struktur Mikro Komposit Nano: (a) Fe_3O_4 (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ (c) $\text{Ni-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ (d) $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$	38
Gambar 4.3 Pemetaan EDX Komposit Nano Fe_3O_4 (a) Struktur Mikro, (b) EDX Oksigen, (c) EDX Besi, (d) EDX Keseluruhan, dan (e) Grafik Persentase EDX.....	40

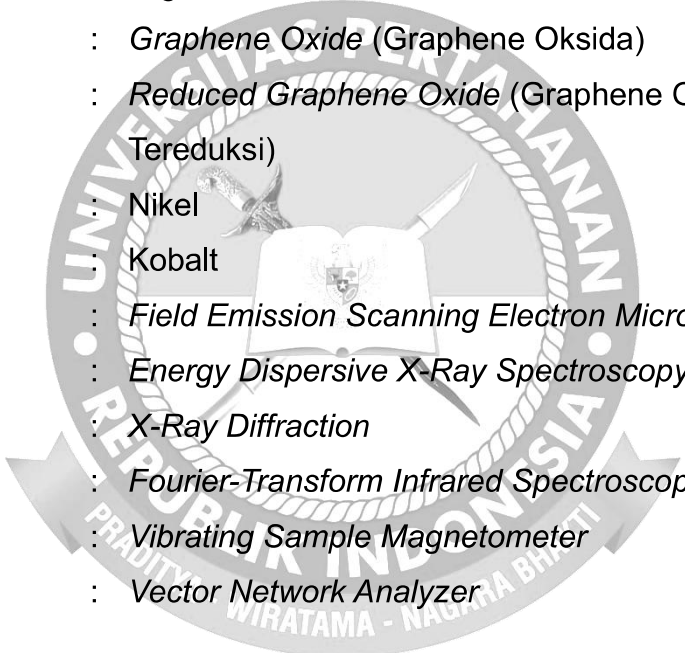
Gambar 4.4 Pemetaan EDX Komposit Nano $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ (a) Struktur Mikro, (b) EDX Karbon, (c) EDX Oksigen, (d) EDX Besi, (e) EDX Keseluruhan, dan (f) Grafik Persentase EDX	40
Gambar 4.5 Pemetaan EDX Komposit Nano $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ (a) Struktur Mikro, (b) EDX Karbon, (c) EDX Oksigen, (d) EDX Besi, (e) EDX Nikel, (f) EDX Keseluruhan, dan (g) Grafik Persentase EDX	41
Gambar 4.6 Pemetaan EDX Komposit Nano $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ (a) Struktur Mikro, (b) EDX Karbon, (c) EDX Oksigen, (d) EDX Besi, (e) EDX Kobalt, (f) EDX Keseluruhan, dan (g) Grafik Persentase EDX	41
Gambar 4.7 Pola XRD Komposit Nano (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$, (c) $\text{Ni-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$, dan (d) $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$	42
Gambar 4.8 Spektrum FTIR Komposit Nano (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$, (c) $\text{Ni-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ dan (d) $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$	43
Gambar 4.9 Kurva Histeresis Komposit Nano	44
Gambar 4.10 Permittivitas, Permeabilitas, <i>Dielectric Loss</i> , dan <i>Magnetic Loss</i> pada Komposit Nano	45
Gambar 4.11 <i>Reflection Loss</i> pada Komposit Nano	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Pita Frekuensi Radar	9
Tabel 2.2 Detail S-Parameter	25
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	27
Tabel 3.1 Jadwal Penyusunan Tugas Akhir	31
Tabel 4.1 Kandungan Unsur dari Fe_3O_4	39
Tabel 4.2 Kandungan Unsur dari $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$	39
Tabel 4.3 Kandungan Unsur dari $\text{Ni-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$	39
Tabel 4.4 Kandungan Unsur dari $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$	39
Tabel 4.5 Sifat Magnetik dari Komposit Nano	44
Tabel 4.6 <i>Reflection Loss</i> dan <i>Through Power</i> Komposit Nano	46



DAFTAR SINGKATAN



RAM	: <i>Radar Absorbing Material</i>
RCS	: <i>Radar Cross Section</i>
RL	: <i>Reflection Loss</i>
dB	: Desibel
GHz	: Giga Hertz
GO	: <i>Graphene Oxide</i> (Graphene Oksida)
rGO	: <i>Reduced Graphene Oxide</i> (Graphene Oksida Tereduksi)
Ni	: Nikel
Co	: Kobalt
FE-SEM	: <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i>
EDX	: <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>
FTIR	: <i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i>
VSM	: <i>Vibrating Sample Magnetometer</i>
VNA	: <i>Vector Network Analyzer</i>