



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**KOMPOSIT PENYERAP RADAR BERBASIS KARBON
TERMODIFIKASI $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ DALAM
MATRIKS POLIPIROLA**

ALLODYA NADRA XAVIERA NIM. 320210303001

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

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

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Allodya Nadra Xaviera
NIM : 320210303001
Program Studi : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Komposit Penyerap Radar Berbasis Karbon
Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ Dalam Matriks Polipirola

Dosen Pembimbing I,



Dr. Rahmat Basuki S.Pd, M.Sc
NIP 199005132022031001
Tanggal :

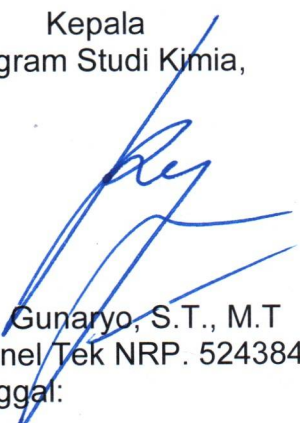
Dosen Pembimbing II,



Yusuf Bramastya Apriliyanto, S.Si, M.Sc
NIDN 4724049201
Tanggal :

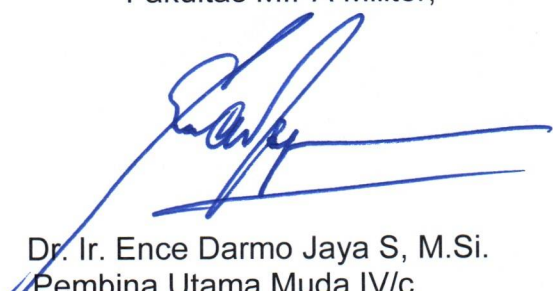
Mengetahui,

Kepala
Program Studi Kimia,



Dr. Gunaryo, S.T., M.T
Kolonel/Tek NRP. 524384
Tanggal:

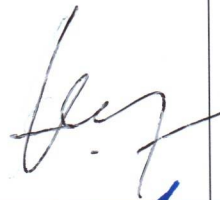
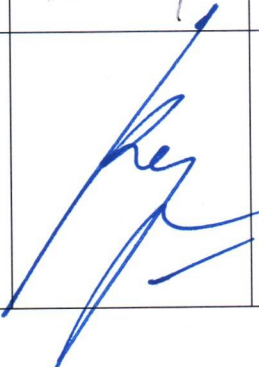
Dekan
Fakultas MIPA Militer,



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya S, M.Si.
Pembina Utama Muda IV/c
Tanggal:

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Allodya Nadra Xaviera
NIM : 320210303001
Program Studi : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Militer
Judul Skripsi : Komposit Penyerap Radar Berbasis Karbon
Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ Dalam Matriks
Polipirola

No	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dosen Pembimbing I: Dr. Rahmat Basuki S.Pd, M.Sc NIP 199005132022031001		
2	Dosen Pembimbing II: Yusuf Bramastya A, S.Si, M.Sc NIDN 4724049201		
3	Dosen Penguji I : Tedi Kurniadi, M.Si. NIDN. 4710117501		
4	Dosen Penguji II : Kolonel Tek Dr. Gunaryo, S.T, M.T NRP. 524384		

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Bogor, Juli 2025

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular postage stamp. The stamp is yellow and red, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPULUH RIBU RUPIAH', '10.000', 'METAL', and 'TEMPER'. Below the stamp, the alphanumeric code '754E3AMX376773419' is printed.

Allodya Nadra Xaviera

LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Allodya Nadra Xaviera

NIM : 320210303001

Program Studi : Sarjana Sains

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:

Komposit Penyerap Radar Berbasis Karbon Termodifikasi Fe₃O₄/ZnO Dalam Matriks Polipirola

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 : 7 Juli 2025
Yang menyatakan



Allodya Nadra Xaviera
NIM.320210303001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Komposit Penyerap Radar Berbasis Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dalam Matriks Polipirrol” dengan tepat waktu. Penyusunan proposal ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak, yang telah berperan penting dalam proses penyelesaiannya. Semoga proposal ini dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam mendukung Postur Pertahanan Negara Indonesia di masa depan. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Kolonel Tek Dr. Gunaryo, ST., M.T selaku Kepala Program Studi Kimia Universitas Pertahanan RI yang selalu memberikan bimbingan dan motivasi selama proses penyusunan proposal ini.
2. Bapak Dr. Rahmat Basuki, M.Sc, dan Bapak Yusuf Bramastya Apriliyanto, S.Si, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan dan masukan berharga hingga proposal ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Para dosen dan staff di Program Studi Kimia yang telah memberikan ilmu dan inspirasi bagi penulis selama masa perkuliahan.
4. Seluruh staf Program Studi Kimia Universitas Pertahanan RI atas bantuan dalam administrasi dan kelancaran proses penelitian.
5. Bapak Bobby Reza, Ibu Ariyati Arief, Kakak Almeera Shafa Rayyana, dan Abang Reza Alerio Reihan yang selalu menjadi sumber motivasi utama bagi penulis dalam mencapai keberhasilan.
6. Rekan seperjuangan, Alya, Amadea, Princess, Prodi Kimia dan Sasuh Anggie Hernita Azzura yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan kebahagiaan selama menempuh perjalanan akademik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Semoga karya ini bermanfaat bagi berbagai pihak dan menjadi langkah awal dalam kontribusi positif bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pertahanan di Indonesia.

Bogor, ... Juli 2025

Allodya Nadra Xaviera



ABSTRAK

KOMPOSIT PENYERAP RADAR BERBASIS KARBON TERMODIFIKASI $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ DALAM MATRIKS POLIPIROLA

Pengembangan teknologi siluman (*stealth*) dalam sistem pertahanan modern menuntut inovasi material penyerap radar (Radar Absorbing Material) yang unggul. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi komposit RAM berbasis karbon termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dalam matriks polipirola (PPy) menggunakan *graphite oxide* (GiO) dan *reduced graphene oxide* (rGO) sebagai prekursor karbon. Komposit disintesis melalui metode Hummer yang dimodifikasi serta teknik one-pot, dan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan VNA. Hasil menunjukkan bahwa $\text{GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ memiliki nilai *reflection loss* tertinggi sebesar -9,20 dB pada 10,91 GHz ($\text{pGiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ 66%-PPy) dengan nilai penyerapan sebesar 88,03% dan $\text{rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ /PPy nilai RL tertinggi mencapai -7,51 dB pada 11,57 GHz ($\text{krGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ 66%-PPy) dengan nilai penyerapan sebesar 82,21%. Penelitian ini membuktikan bahwa komposit berbasis karbon termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dalam matriks polipirola berpotensi tinggi sebagai material penyerap radar yang efisien dan dapat mendukung kebutuhan teknologi pertahanan dalam negeri.

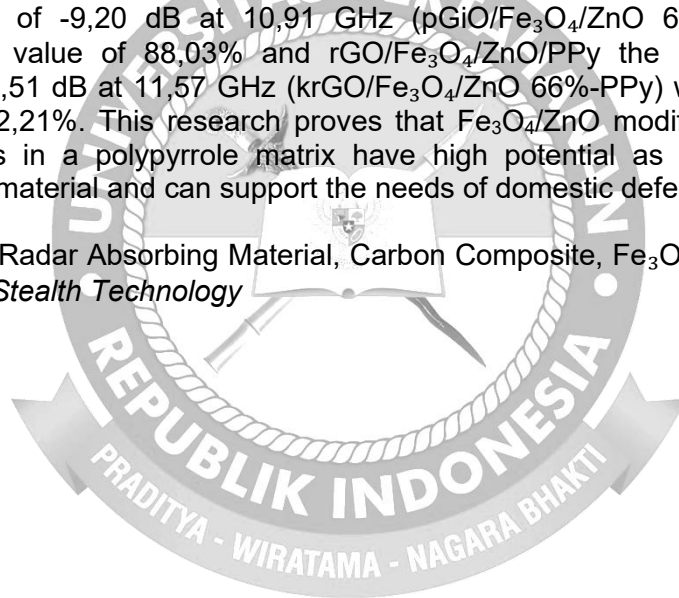
Kata Kunci: Material Penyerap Radar, Komposit Karbon, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$, Polipirola, *Stealth Technology*

ABSTRACT

RADAR-ABSORBING COMPOSITE BASED ON $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -MODIFIED CARBON IN A POLYPYRROLE MATRIX

The development of stealth technology in modern defense systems demands superior radar absorbing material (RAM) innovation. This study aims to synthesize and characterize $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ modified carbon-based RAM composites in a polypyrrole (PPy) matrix using graphite oxide (GiO) and reduced graphene oxide (rGO) as carbon precursors. The composites were synthesized via a modified Hummer method as well as a one-pot technique, and characterized using FTIR, XRD, and VNA. The results show that $\text{GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ has the highest reflection loss value of -9,20 dB at 10,91 GHz ($\text{pGiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ 66%-PPy) with an absorption value of 88,03% and $\text{rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$ the highest RL value reached -7,51 dB at 11,57 GHz ($\text{krGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ 66%-PPy) with an absorption value of 82,21%. This research proves that $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ modified carbon-based composites in a polypyrrole matrix have high potential as an efficient radar absorbing material and can support the needs of domestic defense technology.

Keywords: Radar Absorbing Material, Carbon Composite, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$, Polypirrola, *Stealth Technology*



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Rumusan Masalah	5
1. 3 Tujuan Penelitian	5
1. 4 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Landasan Teori	7
2.1.1 Radar	7
2.1.2 Material Penyerap Radar	8
2.1.3 RAM Berbasis Karbon	10
2.1.4 Fe_3O_4 (Magnetit)	13
2.1.5 Zink Oksida	15
2.1.6 Polipirola	16
2.2. Hasil Penelitian Terdahulu	17
2.3 Kerangka Berpikir	20
2.3.1 Kerangka Berpikir 1	20
2.3.2 Kerangka Berpikir 2	21
2.3.3 Kerangka Berpikir 3	21
2.4 Hipotesis	22
2.4.1 Perumusan Hipotesis 1	22
2.4.2 Perumusan Hipotesis 2	22
2.4.3 Perumusan Hipotesis 3	23

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1. Metode Penelitian.....	24
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2.1 Tempat Penelitian	24
3.2.2 Waktu Penelitian	24
3.3. Alat dan Bahan.....	25
3.3.1 Alat Penelitian.....	25
3.3.2 Bahan Penelitian.....	26
3.4. Prosedur.....	26
3.4.1 Preparasi GiO dari Pensil Grafit dan Grafit Komersial	26
3.4.2 Sintesis ZnO	27
3.4.3 Sintesis $\text{GiO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$	27
3.4.4 Sintesis $\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$	27
3.4.5 Komposit $\text{GiO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dan $\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dalam Matriks PPy.....	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Sintesis GiO dari Grafit Pensil dan Komersial	29
4.2 Sintesis Komposit Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$	35
4.3 Karakterisasi FTIR pada Komposit Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ Pada PPy.....	48
4.3.1 Karakterisasi FTIR Variasi Komposisi $\text{GiO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-PPy}$	48
4.3.2 Karakterisasi FTIR Variasi Komposisi $\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-PPy}$	53
4.4 Karakterisasi XRD Komposit Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ Pada PPy	58
4.4.1 Karakterisasi XRD Variasi Komposisi $\text{GiO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO/PPy}$	58
4.4.2 Karakterisasi XRD Variasi Komposisi $\text{rGO/Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO/PPy}$	62
4.5 Karakterisasi SEM-EDX Komposit Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ Pada PPy	66
4.6 Identifikasi Sifat Penyerapan Gelombang Elektromagnetik dari Komposit	71
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen Radar.....	7
Gambar 2.2	Mekanisme Kerja RAM	9
Gambar 2.3	Mekanisme RAM Absorption	10
Gambar 2.4	Struktur Grafit Oksida	12
Gambar 2.5	Reaksi Pembentukan rGO	13
Gambar 2.6	Struktur Fe_3O_4	14
Gambar 2.7	Struktur Molekul Fe_3O_4	14
Gambar 2.8	Struktur Polipirola	16
Gambar 2.9	Mekanisme Reaksi Polimerisasi Polipirola	17
Gambar 2.10	Desain Penelitian	22
Gambar 4.1	Spektrum FTIR pGi, kGi, pGiO, dan kGiO.....	30
Gambar 4.2	Pola Difraksi pGi, pGiO, kGi, dan kGiO	33
Gambar 4.3	Skema Representasi Prosedur Sintesis $\text{GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PPy}$. 37	
Gambar 4.4	Spektrum FTIR $\text{GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ (p).....	38
Gambar 4.5	Spektrum FTIR $\text{GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ (k).....	39
Gambar 4.6	Pola Difraksi $\text{GiO-GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ (p) ..	43
Gambar 4.7	Pola Difraksi $\text{GiO-GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ (k)	44
Gambar 4.8	Spektrum FTIR Berbagai Komposisi pada Komposit $\text{GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$ (p).....	49
Gambar 4.9	Spektrum FTIR Berbagai Komposisi pada Komposit $\text{GiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$ (k).....	50
Gambar 4.10	Spektrum FTIR Berbagai Komposisi pada komposit $\text{rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$ (p)	53
Gambar 4.11	Spektrum FTIR Berbagai Kozmposisi pada komposit $\text{rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$ (k).....	54
Gambar 4.12	Pola Difraksi Variasi Komposisi $\text{pGiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$	59
Gambar 4.13	Pola Difraksi Variasi Komposisi $\text{kGiO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$	61
Gambar 4.14	Pola Difraksi Variasi Komposisi $\text{prGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$	63
Gambar 4.15	Pola Difraksi Variasi Komposisi $\text{krGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{PPy}$	65

Gambar 4.16	Hasil SEM dari pGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (a) dan prGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (b) pada Perbesaran x10000a	67
Gambar 4.17	Spektrum EDX pada pGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (a) dan prGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (b)a	68
Gambar 4.18	Spektrum EDX pada pGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (a) dan prGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (b)	69
Gambar 4.19	Spektrum EDX pada kGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (a) dan krGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (b)a	69
Gambar 4.20	Hasil Pengujian VNA Pada Variasi Komposisi GiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO/PPy	70
Gambar 4.21	Hasil Pengujian VNA Pada Variasi Komposisi rGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO/PPy	75



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Penelitian Terdahulu	18
Tabel 3.1	Jadwal Penelitian.....	25
Tabel 4.1	Gugus Fungsi (GF) dan Panjang Gelombang (PG) Pada pGi, pGiO.....	31
Tabel 4.2	Derajat Kristalinitas (%) pGi, pGiO, kGi, dan kGiO	34
Tabel 4.4	Gugus Fungsi (GF) dan Panjang Gelombang (PG) pada GiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO-rGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (k)	42
Tabel 4.5	Derajat Kristalinitas (%) GiO-GiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO-rGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (p)	46
Tabel 4.6	Derajat Kristalinitas (%) GiO-GiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO-rGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO (k).....	46
Tabel 4.7	Ukuran Kristal Karbon Termodifikasi Fe ₃ O ₄ /ZnO	47
Tabel 4.8	Gugus Fungsi (GF) dan Panjang Gelombang (PG) Pada GiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO-PPy (p).....	51
Tabel 4.9	Gugus Fungsi (GF) dan Panjang Gelombang (PG) Pada GiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO-PPy (k)	52
Tabel 4.10	Gugus Fungsi (GF) dan Panjang Gelombang (PG) Pada rGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO-PPy (p)	55
Tabel 4.11	Gugus Fungsi (GF) dan Panjang Gelombang (PG) Pada rGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO-PPy (k).....	57
Tabel 4.12	Derajat Kristalinitas Variasi Komposisi pGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO/PPy	60
Tabel 4.13	Derajat Kristalinitas Variasi Komposisi kGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO/PPy	62
Tabel 4.14	Derajat Kristalinitas Variasi Komposisi prGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO/PPy	64
Tabel 4.15	Derajat Kristalinitas Variasi Komposisi prGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO/PPy	66
Tabel 4.16	Komposisi Kimia pGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO dan prGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO Berdasarkan Hasil EDX	69
Tabel 4.17	Komposisi Kimia kGiO/Fe ₃ O ₄ /ZnO dan krGO/Fe ₃ O ₄ /ZnO Berdasarkan Hasil EDX	71
Tabel 4.18	Perbandingan nilai Reflection Loss pada Material Komposit Berbasis GiO.....	73
Tabel 4.19	Perbandingan Nilai Reflection Loss pada Material Komposit Berbasis rGO	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Perhitungan XRD pGi, kGi, pGiO, dan kGiO	86
Lampiran 2. Data Puncak XRD Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$	86
Lampiran 3. Data XRD Ukuran Kristal Rerata Komposit Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$	89
Lampiran 4. Data XRD Ukuran Kristal Rerata Komposit $\text{rGO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ Pada Ppy	92
Lampiran 5. Perhitungan Komposisi Komposit Karbon Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ Pada PPy	95



DAFTAR SINGKATAN



FTIR	: <i>Fourier Transform Infrared Spectrofotometer</i>
GiO	: <i>Graphite Oxide</i>
RAM	: <i>Radar Absorbing Materials</i>
PPy	: <i>Polipirola</i>
RCS	: <i>Radar Cross Section</i>
rGO	: <i>Reduced Graphene Oxide</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
TEM	: <i>Transmission Electron Microscope</i>
VNA	: <i>Vector Network Analyzer</i>
VSM	: <i>Vibration Sample Magnetometer</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffractometer</i>
ZnO	: <i>Zinc Oxide</i>
pGi	: <i>Pensil Grafit</i>
kGi	: <i>Komersial Grafit</i>
pGiO	: <i>Pensil Grafit Oksida</i>
kGiO	: <i>Komersial Grafit Oksida</i>
prGO	: <i>Pensil Grafena Oksida Tereduksi</i>
krGO	: <i>Komersial Grafena Oksida Tereduksi</i>
JCPDS	: <i>Joint Committee on Powder Diffraction Standards</i>
FWHM	: <i>Full Width at Half Maximum</i>