



TESIS - SF185301

**PENYERAP GELOMBANG RADAR
MIKROKOMPOSIT rGO-Fe₃O₄ BERBASIS
BAHAN ALAM PADA FREKUENSI 8-12 GHz**

**ADAM ASWIN USMAN
NRP 01111750010002**

**DOSEN PEMBIMBING
DR. MASHURI, M.SI**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TESIS - SF185301

**PENYERAP GELOMBANG RADAR
MIKROKOMPOSIT $rGO-Fe_3O_4$ BERBASIS
BAHAN ALAM PADA FREKUENSI 8-12 GHz**

ADAM ASWIN USMAN
NRP 01111750010002

DOSEN PEMBIMBING
DR. MASHURI, M.SI

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



THESIS - SF185301

**RADAR WAVE ABSORPTION $r\text{GO-Fe}_3\text{O}_4$
MICROCOMPOSITE BASED ON NATURAL
MATERIALS AT A FREQUENCY OF 8-12 GHz**

ADAM ASWIN USMAN
NRP 01111750010002

SUPERVISOR
DR. MASHURI, M.SI

MASTER PROGRAM
FIELD OF CERAMIC MATERIAL
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains (M.Si)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Adam Aswin Usman

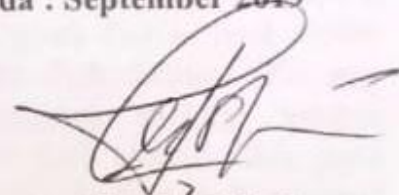
NRP: 01111750010002

Tanggal Ujian : 22 Mei 2019

Periode Wisuda : September 2019

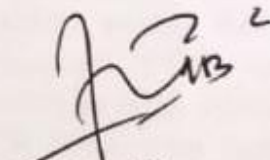
Disetujui Oleh:

1. Dr. Mashuri, M.Si
NIP 196912161994021001



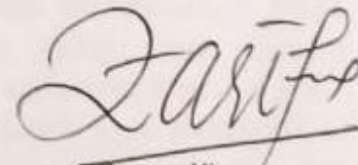
(Pembimbing)

2. Dr. Malik Anjelh Baqiya, M.Si., Ph.D
NIP 198210202008121003



(Penguji)

3. Dr. Zaenal Arifin, M.Si
NIP 196511051991021002



(Penguji)

**Dekan Fakultas Sains**
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Prof. Dr. Permat Agus Rubiyanto, M.eng.,Sc.
NIP 19650619 198903 1 001

PENYERAP GELOMBANG RADAR MIKROKOMPOSIT rGO-Fe₃O₄ BERBASIS BAHAN ALAM PADA FREKUENSI 8-12 GHz

Nama : Adam Aswin Usman
NRP : 01111750010002
Pembimbing : Dr. Mashuri, M.Si

Abstrak

Mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ telah berhasil disintesis dari bambu Petung dan pasir besi Lumajang untuk digunakan sebagai material penyerap gelombang radar. Penelitian ini memanfaatkan bahan alam sebagai bahan baku rGO dan Fe₃O₄ serta menggunakan metode sintesis yang sederhana yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi massa rGO-Fe₃O₄ terhadap penyerapan gelombang radar. Analisis fasa menggunakan XRD menunjukkan bahwa Fe₃O₄ hasil sintesis dari pasir besi merupakan fasa kristal tunggal *magnetite*. Pola difraksi XRD juga menunjukkan bahwa Fe₃O₄ tidak mengalami perubahan struktur maupun pergeseran puncak difraksi setelah penambahan partikel rGO. Analisis fasa pada arang bambu Petung menunjukkan terbentuknya fasa rGO dengan struktur amorf pada 2θ 22.93° dan 42.98°. Pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR pada arang bambu petung mengkonfirmasi terbentuknya rGO yang ditunjukkan adanya ikatan rangkap C=C dengan gugus fungsi cincin benzene. Spektroskopi FTIR juga menunjukkan keberhasilan terbentuknya komposit rGO-Fe₃O₄ dengan tidak adanya ikatan Fe-C. Pengujian konduktivitas listrik menggunakan LCR Meter *two point probe* menunjukkan rGO dari arang bambu Petung memiliki nilai konduktivitas listrik sebesar 2.16×10^{-7} S/m. Pengujian sifat magnetik menggunakan VSM menunjukkan Fe₃O₄ murni memiliki sifat kemagnetan paling tinggi dengan Magnetisasi saturasi (Ms) 49.1762 emu/g, Magnetisasi remanensi (Mr) 9.1067 emu/g dan koersivitas (Hc) 0.0138 T. Pengujian sifat magnetik juga menunjukkan penurunan sifat kemagnetan seiring dengan penurunan konsentrasi Fe₃O₄ dan adanya penambahan bahan non-magnetik rGO. Pengujian penyerapan gelombang radar menggunakan VNA pada ketebalan sampel 2 mm menunjukkan bahwa mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ (3:1) wt% memiliki *reflection loss* paling tinggi yaitu -14.30 dB pada frekuensi 10.15 GHz atau memiliki prosentase absorpsi sekitar 80.72 %. Pengukuran penyerapan gelombang radar juga menunjukkan bahwa dalam orde mikro, bahan magnetik Fe₃O₄ memiliki penyerapan gelombang radar lebih rendah dibandingkan dengan bahan dielektrik rGO masing-masing sebesar -4.25 dB atau absorpsi sekitar 38.73 % dan -12.98 dB atau absorpsi sekitar 77.56 %.

Kata kunci: mikrokomposit rGO-Fe₃O₄, bahan alam, *reflection loss*, penyerap gelombang radar.

RADAR WAVE ABSORPTION rGO-Fe₃O₄ MICROCOMPOSITE BASED ON NATURAL MATERIALS AT A FREQUENCY OF 8-12 GHZ

Name : Adam Aswin Usman
NRP : 01111750010002
Supervisor : Dr. Mashuri, M.Si

Abstract

The rGO-Fe₃O₄ microcomposite has been successfully synthesized from Lumajang iron sand and Petung bamboo to be used as radar wave absorbent material. This study utilizes natural materials as raw material for rGO and Fe₃O₄ and uses a simple synthesis method which aims to determine the effect of variations in the mass composition of rGO-Fe₃O₄ on the absorption of radar waves. Phase analysis using XRD showed that Fe₃O₄ synthesized from iron sand was a single magnetite phase. The XRD diffraction pattern also showed that Fe₃O₄ did not change the structure or shift the diffraction peak after the addition of rGO particles. Phase analysis on Petung bamboo charcoal shows the formation of rGO phases with amorphous structures at 2θ 22.93° dan 42.98°. Functional group testing using FTIR in petung bamboo charcoal confirmed the formation of rGO as indicated by the presence of a C=C double bond with a benzene ring functional group. FTIR spectroscopy also showed the success of the formation of rGO-Fe₃O₄ composites in the absence of Fe-C bonds. Testing of electrical conductivity using LCR Meter two point probes shows that the rGO of Petung bamboo charcoal has an electrical conductivity value of 2.16×10^{-7} S/m. The testing of magnetic properties using VSM shows that pure Fe₃O₄ has the highest magnetic properties with saturation magnetization (Ms) 49.1762 emu/g, remanence magnetization (Mr) 9.1067 emu/g and coercivity (Hc) 0.0138 T. The testing of magnetic properties also showed a decrease in magnetic properties along with a decrease in the concentration of Fe₃O₄ and the addition of rGO non-magnetic materials. Testing the absorption of radar waves using VNA at 1.5 mm sample thickness indicates that the rGO-Fe₃O₄ microcomposite (3:1) wt% has the highest reflection loss of -14.30 dB at a frequency of 10.15 GHz or has an absorption percentage of around 80.72%. The measurement of radar wave absorption also showed that in the micro-order, magnetic material Fe₃O₄ had a lower absorption of radar waves than the dielectric material of rGO of -4.25 dB or absorption of about 38.73% and -12.98 dB or absorption of about 77.56%.

Keywords: rGO-Fe₃O₄ microcomposite, natural material, *reflection loss*, radar wave absorption.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis di Departemen Fisika Fakultas Sains ITS dengan judul:

“Penyerap Gelombang Radar Mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ Berbasis Bahan alam Pada Frekuensi 8-12 GHz”

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Mashuri, M.Si selaku dosen pembimbing yang sangat luar biasa dalam memberi bimbingan, wawasan dan dukungan sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis tepat waktu.
2. Bapak Dr. Malik Anjelh Baqiya, M.Si, Ph.D dan bapak Dr. Zaenal Arifin, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan pemahaman lebih mengenai Tesis.
3. Kedua orangtua tercinta, Bapak Aspar dan Ibu Dewi Khofivah, yang telah memberi dukungan dan doa terbaik kepada Penulis.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Prof. Dr. Bagus Jaya Santosa, selaku Ketua Departemen dan Ketua Prodi S2 Departemen Fisika Fakultas Sains ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tesis ini.
5. Segenap teman-teman S2 Fisika yang telah memberikan pengalaman riset dan membantu dalam hal berdiskusi mengenai Tesis.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Sehingga penulis menerima kritik dan saran untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II.....	5
LANDASAN TEORI	5
2.1 Penyerapan Gelombang Radar.....	5
2.2 Grafena Oksida Tereduksi (rGO) dan Sifat Penyerapannya.....	8
2.2.1 Bambu Sebagai Bahan Karbon.....	9
2.2.2 Karakteristik Bahan Karbon.....	10
2.2.3 Proses Pembuatan Bahan Karbon.....	11
2.2.4 Konduktivitas Listrik Karbon Arang Bambu	11
2.3 Magnetit (Fe_3O_4) dan Sifat Penyerapannya	12
2.3.1 Pasir Besi Sebagai Bahan Magnetite (Fe_3O_4).....	14
2.3.2 Karakteristik Bahan Magnetite (Fe_3O_4).....	15
2.3.3 Proses Pembuatan Bahan Magnetite (Fe_3O_4).....	16
2.3.4 Kurva Histerisis dan Sifat Magnetik Bahan Ferrimagnetik.....	16
BAB III	21
METODE PENELITIAN	21

3.1	Alat dan bahan.....	21
3.1.1	Alat.....	21
3.1.2	Bahan	21
3.2	Metodologi Penelitian	21
3.2.1	Sintesis Serbuk Arang Bambu	22
3.2.2	Sintesis Pasir Besi.....	23
3.2.3	Pengujian Komposisi Unsur (XRF).....	23
3.2.4	Pengujian Kandungan Fasa (XRD).....	24
3.2.5	Pengujian Morfologi dan Ukuran Partikel (SEM).....	24
3.2.6	Pengujian Gugus Fungsi (FTIR).....	24
3.2.7	Pengujian Konduktivitas Listrik (LCR Meter <i>two point probe</i>)	25
3.2.8	Pengujian Sifat Magnetik (VSM).....	25
3.2.9	Pengujian Penyerapan Gelombang Radar (VNA).....	26
3.3	Diagram alir penelitian.....	27
BAB IV.....		29
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Analisis Komposisi Unsur Magnetite (Fe_3O_4)	29
4.2	Analisis Kandungan Fasa	30
4.2.1	Analisis Fasa <i>Magnetite</i> (Fe_3O_4).....	30
4.2.2	Analisis Fasa <i>Reduced Graphene Oxide</i> (rGO).....	34
4.3	Analisis Gugus Fungsi.....	35
4.4	Analisis Konduktivitas Listrik.....	38
4.5	Analisis Morfologi dan Ukuran Partikel.....	39
4.6	Analisis Sifat Kemagnetan.....	40
4.7	Analisis Penyerapan Gelombang Radar	43
BAB V.....		49
KESIMPULAN DAN SARAN		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		51
LAMPIRAN.....		57
BIOGRAFI PENULIS.....		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Karakterisasi penyerapan gelombang mikro graphite dan rGO	8
Gambar 2.2	Tanaman bambu petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>)	9
Gambar 2.3	Struktur grafit.....	10
Gambar 2.4	Struktur dan unit sel magnetite (Fe_3O_4).....	13
Gambar 2.5	Struktur kubik ferit	14
Gambar 2.6	Skema lapis tunggal absorber pada metal konduktor	14
Gambar 2.7	Bahan magnetik skala mikro	16
Gambar 2.8	Arah domain magnetik pada bahan ferrimagnetik	17
Gambar 2.9	Kurva histerisis pada bahan ferrimagnetik	17
Gambar 2.10	Kurva histerisis pada magnetik lemah dan magnetik kuat	18
Gambar 3.1	Proses pembakaran bambu petung.....	22
Gambar 3.2	Skema pembuatan sampel rGO- Fe_3O_4	27
Gambar 3.3	Skema variasi komposisi dan pengujian sampel rGO- Fe_3O_4	28
Gambar 4.1	Pola Difraksi XRD.....	30
Gambar 4.2	Refinement data terukur (hasil XRD) dengan data terhitung (model) menggunakan <i>software</i> Rietica	32
Gambar 4.3	Pola penghalusan Fe_3O_4 menggunakan <i>software</i> MAUD	33
Gambar 4.4	Pola difraksi arang bambu Petung dan rGO referensi	34
Gambar 4.5	Data spektroskopi FTIR rGO dan rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt%	35
Gambar 4.6	Nilai konduktivitas listrik rGO pada frekuensi 50-10.000 Hz.....	39
Gambar 4.7	Mapping rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt%	39
Gambar 4.8	Kurva histerisis pada sampel Fe_3O_4 , rGO- Fe_3O_4 (1:3) wt%, rGO- Fe_3O_4 (1:2) wt% dan rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt%	40
Gambar 4.9	<i>Reflection Loss</i> dengan ketebalan 1.5 mm pada sampel Fe_3O_4 , rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt%, rGO- Fe_3O_4 (2:1) wt%, rGO- Fe_3O_4 (3:1) wt%, rGO, rGO- Fe_3O_4 (1:2) wt% dan rGO- Fe_3O_4 (1:3) wt%	43

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Kandungan unsur pada pasir besi Lumajang.....	29
Tabel 4.2	Posisi 2θ pola difraksi <i>magnetite</i> (Fe_3O_4).....	31
Tabel 4.3	Data spektroskopi FTIR pada rGO dan rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt%	37
Tabel 4.4	Nilai magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanen (M_r) dan koersivitas (H_c)	41
Tabel 4.5	<i>Reflection Loss</i> rGO- Fe_3O_4	44
Tabel 4.6	Prosentase gelombang refleksi, absorpsi dan transmisi	44
Tabel 4.7	Perbandingan penyerapan gelombang radar rGO- Fe_3O_4 dengan beberapa literatur	47

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	57
----------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Sistem pertahanan negara merupakan aspek yang sangat penting dalam menjaga keamanan serta kedaulatan bangsa. Pembangunan teknologi dalam bidang militer turut membantu kinerja TNI dalam menjaga keutuhan NKRI. Disinilah peran para peneliti dalam melakukan penelitian berupa material-material yang bermanfaat untuk pembangunan teknologi militer. Semakin maju teknologi militer, maka semakin kokoh pula tingkat keamanan negara tersebut.

Salah satu teknologi pertahanan yang sangat penting dalam dunia militer yaitu sistem radar. Radar digunakan untuk mendeteksi posisi dan kecepatan dari suatu objek yang berada pada jarak tertentu seperti pesawat terbang. Proses deteksi dapat tercapai dengan menganalisis respon dari gelombang radio dengan frekuensi tinggi yang dipantulkan objek. Istilah RADAR diciptakan pada tahun 1940 oleh angkatan laut Amerika yang merupakan akronim dari *R*adio *D*etection *A*nd *R*anging (Knott et al., 2004). Meskipun radar diciptakan untuk teknologi militer sebagai alat pendeteksi ancaman pesawat terbang, namun teknologi radar mulai banyak digunakan untuk kemudahan pekerjaan manusia. Contoh yang paling sering adalah sebagai perlengkapan kapal, alat navigasi, membantu memperkiraan cuaca dan memetakan komposisi lapisan bumi. Namun, radar tetap merupakan teknologi pertahanan yang sangat penting untuk perlengkapan militer.

Seiring kemajuan sistem radar yang semakin pesat, penelitian untuk menghambat efektifitas radar mulai dikembangkan. Penelitian ini terfokus pada pengurangan jumlah refleksi gelombang elektromagnetik dari objek dengan cara menyerap gelombang yang ditransmisikan, tentunya melalui penggunaan material dan desain yang sesuai. Material-material tersebut didefinisikan sebagai *Radar Absorbing Materials* (RAMs) (Kangal, 2013).

Pada awal tahun 1980-an, pengembangan RAM didasarkan pada ferit atau besi karbonil. Pada mulanya, RAM digunakan dalam pengembangan F-117 Nighthawk yang mulai beroperasi pada tahun 1981. Selain itu, kombinasi partikel

ferit dan besi karbonil juga melahirkan armada F-117 yang dipublikasikan sebagai "pejuang siluman". Kemampuan menyerap gelombang radar pada umumnya disebut sebagai "siluman" atau "teknologi siluman" (Knott et al., 2004).

Pada awal tahun 2000-an, penelitian tentang RAM mengalami kemajuan. Perpaduan ferrimagnetik dan karbon berbasis material dielektrik mulai diteliti. Besi karbonil dan serbuk ferrit seperti *barium hexaferrite* menjadi populer sebagai bahan magnetik untuk RAM (Pinho et al. 2002; Kim et al., 2003; Meshram et al. 2004). Selain itu, penelitian berbasis material dielektrik termasuk graphite, karbon hitam, serat karbon nano yang dicampur dengan epoxy, karet atau silikon matriks diteliti lebih lanjut pada pertengahan tahun 2000-an (Oh et al., 2004; Rosa et al., 2010; Park et al., 2009).

Menurut (Nicolaeescu, 2006), terdapat dua aspek agar suatu objek tidak terdeteksi oleh paparan gelombang radar yaitu, obyek/pesawat dirancang dengan geometri bersudut *Radar Absorbing Structure* (RAS) sehingga pantulan gelombang radar tidak dapat ditangkap kembali oleh *receiver* atau badan pesawat dilapisi oleh material penyerap gelombang radar atau *Radar Absorbing Material* (RAM) sehingga jika masih terjadi pantulan pun akan sangat lemah.

Suatu objek dapat menyerap gelombang radar apabila memenuhi beberapa syarat yaitu, material tersebut dapat berinteraksi dengan medan magnet atau medan listrik dari radiasi gelombang radar, serta bahan tersebut memiliki rugi refleksi yang cukup besar. Rugi refleksi dapat terjadi jika suatu material memiliki sifat magnetik dan sifat dielektrik. Secara umum material yang memiliki sifat magnetik dapat ditemui pada bahan metal seperti ferit, nikel, cobalt, sedangkan sifat dielektrik dapat ditemui pada bahan seperti karbon dan polimer konduktif. Selain itu penyerap gelombang elektromagnetik yang ideal yaitu memiliki fitur-fitur seperti tingkat penyerapan yang kuat, rentang frekuensi penyerapan yang lebar, densitas rendah dan tipis (Huang et al., 2016).

Secara umum diketahui bahwa komponen yang terdapat didalam gelombang radar adalah gelombang mikro yang mana terdiri dari gelombang magnetik dan gelombang dielektrik. Agar suatu material berfungsi sebagai penyerap gelombang radar, maka dibutuhkan material yang dapat berinteraksi dan menyerap kedua jenis gelombang tersebut. Oleh karena itu material penyerap

gelombang radar harus memiliki bahan magnetik dan bahan dielektrik agar dapat menyerap paparan gelombang magnetik dan gelombang dielektrik radar.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan yaitu; Ma et al., (2013) membuat absorber rGO-Fe₃O₄ dengan berat 10 wt%, dengan ketebalan 2,0 mm dan menghasilkan *Reflection Loss* ($R_{L \text{ min}}$) sebesar -22,2 dB pada rentang frekuensi 3,7 (GHz). Selanjutnya Zong et al., (2013) membuat absorber rGO-Fe₃O₄ dengan berat 50 wt%, dengan ketebalan sampel 3,9 mm dan menghasilkan *Reflection Loss* ($R_{L \text{ min}}$) sebesar -44,6 dB pada rentang frekuensi 2,0 (GHz). Penelitian oleh Chen et al., (2014) membuat absorber rGO-Fe₃O₄ dengan berat 40 wt%, dengan ketebalan sampel 2,0 mm dan menghasilkan *Reflection Loss* ($R_{L \text{ min}}$) sebesar -9,2 dB pada rentang frekuensi 0 (GHz).

Sejauh ini, para peneliti berlomba-lomba untuk membuat RAM dengan memanfaatkan bahan organik yang tersedia di alam. Selain ketersediaannya yang melimpah, pemanfaatan bahan alam sebagai bahan baku pembuatan RAM juga memperhatikan faktor ekonomis serta mudah untuk dikembangkan di Indonesia. Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan pasir besi yang berasal dari Lumajang dan bambu petung yang berasal dari Jombang, Jawa Timur sebagai bahan baku RAM.

Pemilihan pasir besi lumajang sebagai bahan magnetit (Fe₃O₄) didasarkan bahwa Fe₃O₄ bersifat ferrimagnetik, memiliki permitivitas dan permeabilitas yang tinggi, memiliki kemurnian sekitar 80-90 % (Lestari, 2015) dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyerap gelombang radar (Feng et al., 2007). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lestari (2015), menunjukkan bahwa pasir Lumajang dapat digunakan sebagai bahan baku material RAM. Selanjutnya, pemilihan bambu Petung didasarkan pada persentase massa C (karbon) cukup tinggi sekitar 77,74 %, memiliki konduktivitas listrik sebesar $4,49 \times 10^{-6}$ S/cm dan bambu petung bersifat bahan semikonduktor sehingga dapat mengubah gelombang radar yang datang menjadi energi panas (Ningsih, 2016). Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ningsih (2016) menunjukkan bahwa bambu petung dapat digunakan sebagai bahan baku material RAM karena memiliki rugi refleksi sebesar -52,88 dB pada frekuensi 8,56 Hz dan memiliki serapan yang baik pada ketebalan 0,3 mm.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan *Radar Absorbing Materials* (RAMs) pada umumnya disintesis menggunakan bahan komersial dan melalui tahap yang rumit, sehingga membutuhkan biaya penelitian yang tinggi.
2. Perlunya mengetahui komposisi yang ideal pada mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ sebagai penyerap gelombang radar.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat bahan penyerap gelombang radar berbahan baku rGO-Fe₃O₄ dari bambu petung dan pasir besi Lumajang menggunakan metode sintesis yang mudah dan murah.
2. Mengetahui pengaruh variasi perbandingan komposisi massa rGO-Fe₃O₄ (0:1, 1:1, 2:1, 3:1, 1:0, 1:2, 1:3) wt% terhadap nilai serap gelombang radar.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai acuan untuk menjadi alternatif penelitian bahan penyerap gelombang radar berbasis bahan alam dengan metode sintesis yang mudah dan murah serta dapat meningkatkan nilai sumber daya pasir besi dan bambu petung.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penyerapan Gelombang Radar

Gelombang radar merupakan salah satu contoh penerapan gelombang mikro yang digunakan untuk mendeteksi posisi dan kecepatan sebuah objek pada jarak tertentu. Prinsip kerja sistem gelombang radar yaitu dengan memancarkan gelombang elektromagnetik kemudian menganalisa respon frekuensi gelombang yang direfleksikan objek (Kangal, 2013). Gelombang radar memiliki panjang gelombang antara 1 mm hingga 1 meter dengan frekuensi antara 300 MHz hingga 300 GHz. Gelombang radar banyak dimanfaatkan pada dunia militer, navigasi dan perkiraan cuaca. Seiring meningkatnya teknologi saat ini, memungkinkan untuk menciptakan teknologi tandingan sistem radar yaitu salah satunya dengan membuat bahan penyerap gelombang radar.

Gelombang radar memiliki dua komponen dasar yaitu gelombang magnetik dan gelombang dielektrik (Khasanah, 2012). Won-Jun et al., (2005) menyatakan bahwa, suatu material dapat menyerap gelombang radar melalui dua cara, yaitu dengan menyerap medan magnetik oleh material magnetik dan mengubah gelombang yang masuk menjadi energi panas oleh bahan dielektrik. Selain itu, material juga harus dapat berinteraksi dengan medan listrik dari radiasi dan komponen listrik radiasi gelombang radar.

Material penyerap gelombang radar yang ideal memiliki fitur yang kuat, rentang frekuensi penyerapan yang lebar, kerapatan yang rendah dan tipis (Huang et al., 2016). Selain itu, faktor intrinsik bahan yaitu konduktivitas, permeabilitas dan permitivitas serta faktor ekstrinsik bahan yaitu ketebalan dan frekuensi pas turut mempengaruhi tingkat penyerapan gelombang mikro (Mashuri, 2012). Permitivitas dan permeabilitas merupakan karakteristik yang mendefinisikan besaran dielektrik dan magnetik pada suatu bahan (Wang et al., 2011). Permitivitas adalah ukuran medan listrik yang mempengaruhi media dielektrik, sedangkan permeabilitas adalah derajat magnetisasi yang terkandung pada material. Kedua besaran tersebut dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r = \varepsilon_0 (\varepsilon_r' - j\varepsilon_r'') \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r = \mu_0 (\mu_r' - j\mu_r'') \dots \dots \dots (2.2)$$

Gelombang radar yang mengenai suatu material akan mematuhi hukum-hukum optik yaitu transmisi, refleksi dan atau absorpsi. Agar suatu material dapat berperan sebagai penyerap energi, material harus bertindak seperti resistor pada rangkaian listrik sederhana, selanjutnya energi terserap dari pancaran energi elektromagnetik akan didisipasi atau disimpan dalam bentuk panas (Kangal, 2013). Mekanisme penyerapan gelombang radar secara mikroskopis diakibatkan oleh interaksi antar dipol listrik. Interaksi dipol listrik akan menghasilkan beda energi potensial yang berbeda-beda bergantung pada jarak antar dipol listrik yang berinteraksi. Perbedaan energi potensial inilah yang mengakibatkan frekuensi gelombang radar dapat diserap dalam bentuk panas. Variasi penyerapan frekuensi gelombang radar memenuhi persamaan berikut ini:

$$\theta_{ij} = \frac{\mu_0 m_i m_j}{h \pi r_{ij}^3} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan $i \neq j = 1, 2, 3, \dots, N-1, N$ (Mashuri, 2011).

Tinjauan secara makroskopis menjelaskan terdapat dua konsep yang memenuhi keadaan refleksi nol ketika gelombang elektromagnetik mengenai suatu material yaitu kesesuaian impedansi gelombang (*matched wave impedance*) dan kesesuaian impedansi karakteristik (*matched characteristic impedance*). Pada kesesuaian impedansi gelombang, impedansi gelombang pada permukaan absorber didesain agar sebanding dengan impedansi intrinsik ruang bebas. Sedangkan pada kesesuaian impedansi karakteristik, impedansi karakteristik bahan didesain agar sesuai dengan impedansi karakteristik ruang bebas (Saville et al., 2005). Kesesuaian impedansi tersebut digunakan untuk meminimalkan gelombang pantul dan memperbesar gelombang yang diserap pada bahan (Mashuri, 2012). Koefisien refleksi bahan penyerap memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\Gamma = \frac{\frac{Z_m - 1}{Z_0}}{\frac{Z_m + 1}{Z_0}} = \frac{Z_{in} - 1}{Z_{in} + 1} \text{ dengan } \frac{Z_m}{Z_0} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} = Z_{in} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana $Z_{in} = Z \tanh \gamma d$

dengan Z_{in} : impedansi input yang diukur dari bahan penyerap, Z , γ , dan d adalah impedansi, konstanta propagasi dan ketebalan bahan penyerap, Z_m : impedansi bahan, Z_0 : impedansi ruang vakum $= (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2} = 377 \Omega$.

Persamaan di atas menunjukkan bahwa koefisien refleksi akan bernilai nol (gelombang tidak mengalami pemantulan) jika nilai permitivitas dielektrik dan permeabilitas magnetiknya sama ($|\mu_r| = |\epsilon_r|$) atau nilai impedansi masukan Z_{in} bernilai satu. Untuk mendapatkan daya absorpsi yang maksimal dapat dilakukan dengan cara menyamakan ketebalan bahan dan frekuensi.

Secara umum, sifat penyerapan gelombang mikro bergantung pada nilai permitivitas dan permeabilitas bahan yang sesuai dengan perumusan sebagai berikut:

$$Rl = 20 \log|\Gamma| = 20 \log \left| \frac{Z_{in}-1}{Z_{in}+1} \right| \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan $Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \left(\frac{2\pi f d}{c} \right) \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \right]$ (Xu, 2012)

dimana c adalah kecepatan cahaya dan d adalah ketebalan material penyerap gelombang (Wang et al., 2011).

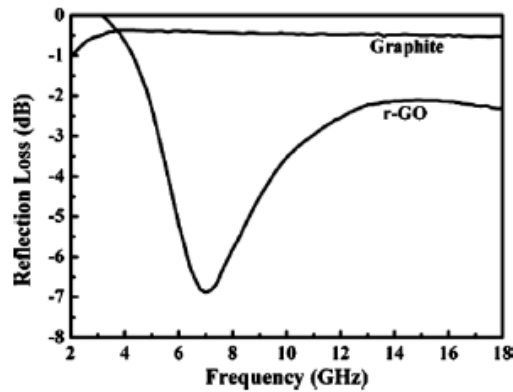
2.2 Grafena Oksida Tereeduksi (rGO) dan Sifat Penyerapannya

Grafena Oksida Tereeduksi (rGO) merupakan oksida grafena yang mengalami reduksi dari atom-atom oksigen dan hidrogen sehingga diperoleh struktur dan sifat yang menyerupai grafena. Menurut Wang et al., (2011), grafena adalah selembar atom karbon yang memiliki dua dimensi dan terikat bersama dalam kisi heksagonal. Terdapat metode preparasi bahan karbon seperti metode solvothermal, pencampuran fisik, sintesis kimia dan CVD (Zhu et al., 2017).

Perkembangan grafena telah menarik banyak perhatian karena memiliki sifat fisik dan kimia yang unik sejak ditemukan pada tahun 2004 silam. Sebagai jenis bahan karbon baru serta material tertipis dalam keluarga karbon, grafena adalah material yang sangat menjanjikan untuk digunakan salah satunya sebagai material penyerap gelombang mikro (Huang et al., 2016).

Karakteristik penyerapan gelombang mikro pada rGO bergantung pada sifat dielektrik dan karakteristik kesesuaian impedansi (Wang et al., 2011). Dengan tidak adanya sifat kemagnetan pada rGO, menyebabkan sifat serapan gelombang mikro

rGO sangat lemah dan kurang efektif untuk dijadikan sebagai bahan penyerap gelombang mikro. Oleh karena itu, menurut Liu et al., (2013), salah satu cara yang efektif untuk meningkatkan penyerapan dari rGO adalah dengan menambahkan bahan magnetik seperti Fe_3O_4 , Co_3O_4 dan NiFe_2O_4 .



Gambar 2. 1 Karakterisasi penyerapan gelombang mikro dari graphite dan rGO pada ketebalan 2mm (Wang et al., 2011)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan rGO jauh lebih baik dari pada grafit. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh Xu et al., (2008) dan Berenger, (1994), selain rugi refleksi dan rugi magnetik, konsep penting yang berkaitan dengan penyerapan gelombang mikro adalah karakteristik kesesuaian impedansi. Permittivitas penyerap yang terlalu tinggi akan berpengaruh pada kesesuaian impedansi dan menimbulkan refleksi yang besar sehingga menghasilkan penyerapan yang lemah (Che et al., 2004). Ini membuktikan bahwa rGO dengan permittivitas yang rendah mampu menghasilkan tingkat penyerapan gelombang mikro yang lebih baik dari pada grafit (Wang et al., 2011).

Nilai rugi refleksi menunjukkan besarnya daya serap suatu material terhadap gelombang radar. Nilai negatif pada skala rugi refleksi menunjukkan bahwa material tersebut mampu menyerap gelombang radar, dimana semakin besar nilai negatif rugi refleksi maka semakin besar daya penyerapan gelombang radar (Wu et al., 2008).

2.2.1 Bambu Sebagai Bahan Karbon

Salah satu tumbuhan asli Indonesia yang banyak dijumpai diberbagai wilayah Indonesia adalah tumbuhan bambu. Lebih dari 160 jenis bambu yang terdapat di Indonesia dapat ditemukan di dataran tinggi maupun di dataran rendah. Bambu adalah tanaman jenis rumput-rumputan yang berbentuk pohon kayu atau perdu dengan batang biasanya tegak dan bercabang. Batang bambu terdiri dari ruas-ruas berongga yang dipisahkan oleh buku-buku. Berdasarkan usianya, bambu dibedakan menjadi tiga macam yaitu bambu muda, bambu dewasa dan bambu tua. Bambu muda berusia sekitar 0-2 tahun, bambu dewasa berusia 2-3 tahun, dan bambu tua berusia lebih dari 3 tahun. Secara visual, usia bambu tua dapat diketahui pada permukaan kulit bambu bercorak putih dan berubah dari warna aslinya, sedangkan bambu muda terdapat pelepah batang dan berwarna hijau (Morisco, 1999). Pada penelitian ini menggunakan bambu petung yang berasal dari desa Watu Galuh, kecamatan Diwek, Jombang. Berdasarkan hasil penelitian Ningsih (2016), bambu yang dipilih adalah jenis bambu petung dewasa yang telah berusia 2-3 tahun karena menghasilkan penyerapan gelombang radar yang efektif.

Di Indonesia, bambu dengan nama botani *Dendrocalamus Asper* dikenal dengan nama bambu petung. Bambu jenis ini dapat ditemui di dataran rendah maupun pegunungan dengan ketinggian mencapai 2000 mdpl. Bambu petung memiliki ciri-ciri fisik dengan warna kulit batang hijau kekuning-kuningan, memiliki panjang rata-rata 10-14 m, panjang ruas 40-60 cm, diameter 6-15 cm, tebal dinding 10-15 mm dan memiliki massa jenis 0,717 gr/cm³ (Morisco, 1999). Selain itu kandungan kimia yang terdapat dalam bambu petung antara lain kadar selulosa 52,9 %, lignin 24,8 %, pentosan 18,8 %, abu 2,63 % dan silica 0,20 %. Berikut merupakan contoh tanaman bambu petung.



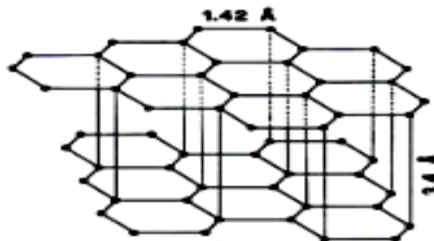
Gambar 2. 2 Tanaman bambu Petung (*Dendrocalamus Asper*)

2.2.2 Karakteristik Bahan Karbon

Karbon merupakan material padat berpori yang terkandung dalam arang yang terbentuk melalui proses pembakaran. Pori-pori karbon terdiri dari senyawa hidrokarbon, ter, campuran, bahan organik lainnya, dan komponen ikatan karbon lainnya seperti air, nitrogen dan sulfur (Rampe et al., 2010).

Karbon dapat ditemui pada material organik seperti kayu, batu bara, atau serat alam. Untuk dapat menghasilkan karbon dari material organik dilakukan proses karbonisasi yaitu konversi material organik menjadi arang melalui proses pemanasan, sehingga senyawa kompleks penyusun material organik dapat terurai menjadi arang dengan kandungan karbon yang tinggi. Senyawa-senyawa kompleks penyusun material organik terdiri dari hemiselulosa, selulosa dan lignin. Senyawa-senyawa tersebut dapat terurai pada suhu yang berbeda-beda. Senyawa hemiselulosa terurai paling cepat yakni pada suhu 200 °C-260 °C, kemudian senyawa selulosa terurai pada suhu 240 °C-350 °C dan lignin terurai pada suhu 280 °C-500 °C (Browne, 2000).

Unsur karbon merupakan karbon amorf dari lembaran-lembaran datar tersusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya. Struktur dasar karbon menyerupai struktur grafit murni yakni heksagonal datar dan berlapis. Tiga elektron valensi atom C yang saling berikatan membentuk lapisan heksagonal. Satu electron valensi yang bebas menyebabkan terjadinya ruang kosong antar lapisan satu dengan lapisan lainnya. Struktur kristal grafit yang paling sempurna memiliki lapisan penumpukan heksagonal secara teratur ABABAB (Salamah, 2008).



Gambar 2.3 Struktur grafit (Salamah, 2008)

2.2.3 Proses Pembuatan Bahan Karbon

Berikut merupakan proses pembuatan karbon dari arang bambu petung yang terdiri dari proses dehidrasi dan karbonisasi.

1. Proses Dehidrasi

Proses dehidrasi adalah proses menghilangkan kadar air yang terkandung dalam sebuah bahan. Cara yang paling sederhana yaitu dengan memanaskan bahan dibawah sinar matahari. Melalui proses dehidrasi, dapat diperoleh bahan dengan massa yang relatif konstan karena kandungan air dalam bahan berkurang bahkan jumlahnya sangat sedikit (Cheremisinoff, 1993).

2. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi adalah proses pemanasan yang dilakukan pada temperatur 350°-1000° C dan dilakukan dalam *furnace* yang bertujuan untuk mengkonversi suatu zat organik ke dalam karbon melalui proses pembuatan arang berkarbon. Proses karbonisasi menghasilkan material yang tersisa di dalam *furnace* berupa karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang besar.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses karbonisasi adalah temperatur karbonisasi, kadar air yang terkandung dalam bahan, waktu pemanasan bahan, kekerasan bahan, ketebalan bahan dan kondisi udara sekitar pembakaran. Proses karbonisasi pada temperatur tinggi menjadikan arang bambu memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, luas permukaan yang besar dan dapat digunakan sebagai material penyerap gelombang radar (Wu et al., 2008).

2.2.4 Konduktivitas Listrik Karbon Arang Bambu

Konduktivitas listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan listrik. Grafit digolongkan kedalam bahan semikonduktor karena memiliki konduktivitas listrik sekitar $0,1 \times 10^6$ S/m. Bahan semikonduktor sangat baik digunakan sebagai penyerap gelombang radar karena dapat mengubah energi gelombang radar menjadi energi panas.

Mekanisme ketika gelombang radar mengenai material yang dilapisi bahan penyerap gelombang radar, maka medan listrik akan terbentuk pada permukaan bahan penyerap. Arus yang mengalir pada permukaan bahan penyerap merupakan

arus permukaan. Ketika arus permukaan mengalir pada bahan penyerap, energi gelombang radar akan berubah menjadi energi panas.

Berdasarkan teori elektron bebas, bahan yang memiliki konduktivitas yang rendah akan menghasilkan permitivitas rendah, itulah mengapa rGO menunjukkan sedikit penurunan seiring meningkatnya frekuensi dibandingkan dengan grafit (gambar 2.1) (Tung et al., 2009 dan Xu et al., 2008).

Nilai konduktivitas suatu bahan dapat diukur menggunakan LCR meter menurut persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{L}{RA} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan σ adalah konduktivitas listrik bahan ($\Omega \text{ m}$)⁻¹, R adalah resistensi (Ω), L adalah ketebalan sampel (m) dan A adalah luas penampang sampel (m²) (Mustafa, 2007).

2.3 Magnetit (Fe₃O₄) dan Sifat Penyerapannya

Magnetit (Fe₃O₄) merupakan salah satu oksida besi selain hematit (α -Fe₂O₃) dan maghemit (γ -Fe₂O₃). Magnetit (Fe₃O₄) dikenal sebagai *black iron oxide* atau *ferrous ferrite* yang menunjukkan sifat kemagnetan paling kuat diantara oksida-oksida besi lainnya, sehingga magnetit banyak dimanfaatkan di berbagai bidang (Teja et al., 2009).

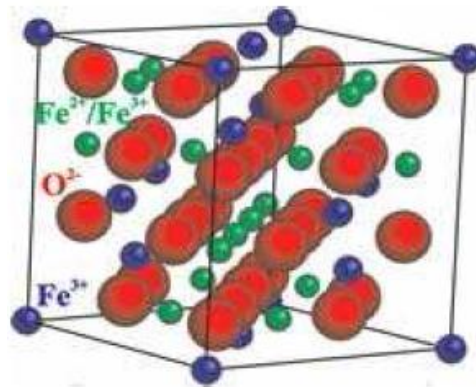
Magnetit (Fe₃O₄) menjadi bahan kajian yang menarik perhatian para peneliti karena memiliki peluang aplikasi yang luas seperti keramik, katalis, *energi storage*, *magnetic data storage*, ferrofluida, bidang medis maupun sebagai bahan penyerap gelombang mikro (Abu Bakar et al., 2007). Selain itu, menurut Nuzully et al., (2013), salah satu kelebihan bahan magnetit yaitu memiliki sifat ferromagnetik yang dapat menyerap gelombang elektromagnetik melalui mekanisme kemagnetan terhadap atom-atom atau ion-ion logam yang bersifat paramagnetik.

Struktur (Fe₃O₄) dapat ditulis FeO. Fe₂O₃ yang membentuk spinel invers dalam bentuk kubik. Besi (II) oksida (FeO) disebut dengan wustite dalam bentuk mineral yang bersifat mudah terbakar. Besi (III) oksida (Fe₂O₃) dikenal sebagai bijih besi atau *hematite* (α -Fe₂O₃) dan *maghemite* (γ -Fe₂O₃) dalam bentuk mineral dan pada umumnya digunakan sebagai lapisan media audio dan computer setelah

melalui proses pemurnian. Besi (II, III) oksida (Fe_3O_4) atau dikenal sebagai *magnetite* atau magnet dalam bentuk mineral (Sholihah, 2010).

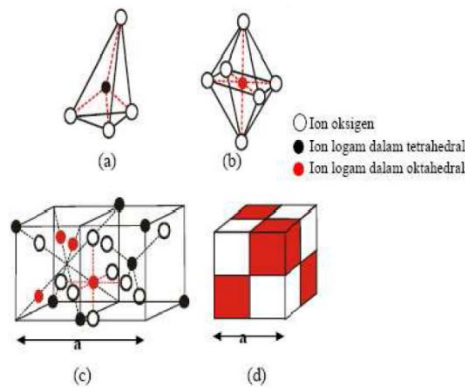
Sesuai ICSD dengan kode 30860 diketahui (Fe_3O_4) memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*), *space group* $Fd-3m$ dengan nomor 227, parameter kisi kristal $a=b=c$ sebesar $8,396 \text{ \AA}$ dan sudut $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$.

Secara detail struktur magnetit (Fe_3O_4) ditunjukkan pada Gambar berikut:



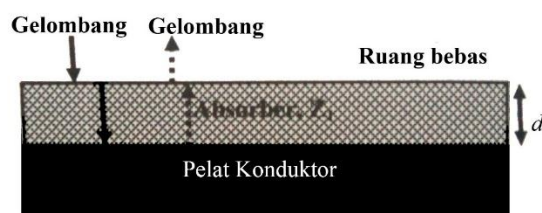
Gambar 2.4 Struktur dan unit sel magnetite (Fe_3O_4) (Blaney, 2007)

Magnetit (Fe_3O_4) memiliki struktur kristal spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, dimana bagian celah-celahnya diisi oleh ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} . Delapan ion Fe^{3+} dalam tiap sel berada pada bagian tetrahedral (2.5a), karena berlokasi di tengah sebuah tetrahedron yang keempat sudutnya ditempati ion oksigen (gambar 2.5a). Sisanya delapan ion Fe^{3+} dan delapan ion Fe^{2+} berada pada bagian octahedral (b), karena ion-ion oksigen disekitarnya menempati sudut-sudut sebuah oktahedron (gambar 2.5b) yang sudut-sudutnya ditempati oleh enam atom oksigen (Hook, J, R & Hall, H, E, 1991). Tiap-tiap unit sel berisi sejumlah ion, dimana satu sel terbagi menjadi 8 oktan (kubus spinel), masing-masing berukuran $a/2$ (gambar 2.5c), empat oktan yang berarsir memiliki ukuran kisi yang sama, dengan cara yang sama, tetrahedral di oktan terarsir dan oktahedral di oktan tidak terarsir (gambar 2.5d) (Cullity, 1972).



Gambar 2.5 Struktur kubik ferit (s) posisi ion logam dalam kristal tetrahedral, (b) posisi ion logam dalam oktahedral, (c) gabungan tetrahedral dan oktahedral, (d) kubik magnet (Cullity, 1972)

Menurut Chen et al., (2014), bahan magnetit (Fe_3O_4) dapat digunakan sebagai material penyerap gelombang elektromagnetik yaitu dengan memadukan bahan rGO yang merupakan bahan dielektrik. Mekanisme penyerapan energi gelombang radar pada bahan magnetik sangat dipengaruhi oleh kandungan momen dipol magnetik. Ketika gelombang radar mengenai material yang dilapisi bahan magnetik, momen dipol magnetik dalam bahan tersebut saling berinteraksi dan memungkinkan untuk bertransisi (berpindah) dari satu tingkat energi rendah menuju tingkat energi yang lebih tinggi. Besaran penyerapan frekuensi gelombang radar akan bervariasi sesuai dengan beda energi potensial yang diakibatkan interaksi antar dipol magnetik (Mashuri, 2012).



Gambar 2.6 Skema lapis tunggal absorber pada lempeng metal konduktor (Mashuri, 2012)

2.3.1 Pasir Besi Sebagai Bahan Magnetite (Fe_3O_4)

Pasir besi merupakan sumber daya alam yang sangat melimpah di Indonesia, khususnya di kabupaten Lumajang, Jawa Timur. Ketersediaan pasir besi di kabupaten Lumajang memiliki cadangan terbesar dan terluas di Indonesia, dan terbentang di pesisir pantai selatan Pulau Jawa. Besarnya cadangan pasir besi di Lumajang sangat erat kaitannya dengan keberadaan Gunung Semeru. Limpan

pasir yang berasal dari muntahan material vulkanik Gunung Semeru terbawa air hujan hingga ke laut selatan dan terjadi penumpukan pasir besi di kawasan pantai selatan.

Pada umumnya, pasir besi mempunyai komposisi utama besi oksida yaitu magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), silicon oksida (SiO_2), serta senyawa lain dengan kadar rendah seperti fosfor, sulfur, aluminium (Al_2O_3), titanium dan kromium. Berdasarkan studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan mineral yang dominan dalam pasir besi adalah magnetit (Fe_3O_4) dengan kadar Ferum (Fe) yang sangat tinggi, yaitu sekitar 80-90%. Selain itu, menurut Feng et al., (2007), pasir besi memiliki kandungan magnetit (Fe_3O_4) yang dapat diaplikasikan dalam penyerapan gelombang mikro. Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan pasir besi sebagai bahan baku magnetit (Fe_3O_4) sebagai bahan penyerap gelombang radar agar dapat meningkatkan nilai guna dan nilai jual pasir besi Lumajang.

2.3.2 Karakteristik Bahan Magnetite Fe_3O_4

Material ferrimagnetik atau dikenal sebagai ferit merupakan bahan magnetik yang mempunyai sifat yang khas yaitu keras, rapuh, tahan terhadap panas dan zat kimia, mempunyai tahanan jenis listrik yang tinggi, sehingga banyak digunakan dalam bidang elektronika. Ferit dapat termagnetisasi secara spontan pada temperatur *Currie* dan bersifat paramagnetik ketika diatas temperatur *Currie*. Pada fasa ferrimagnetik dapat terbentuk domain magnetik dan membentuk histerisis. Ferit merupakan bagian terpenting dari ferrimagnetik. Ferit adalah gabungan ion-ion dan memiliki kemampuan magnetik yang berasal dari ion magnetik yang disebut kation.

Struktur kristal bahan magnetik alami dan buatan pada skala mikro berwarna hitam buram seperti pada gambar 2.7. Densitas bahan magnetit (Fe_3O_4) diketahui sebesar $5,18 \text{ g/cm}^3$, lebih ringan dari hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang memiliki densitas sebesar $5,26 \text{ g/cm}^3$, sedangkan besi murni ($\alpha\text{-Fe}$) memiliki densitas sebesar $7,87 \text{ g/cm}^3$. Ditinjau dari ukurannya, partikel berskala mikro dengan diameter sekitar $0,2 \mu\text{m}$ mempunyai area permukaan sebesar $6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Blaney, 2007).



Gambar 2.7. Bahan magnetik skala mikro

2.3.3 Proses Pembuatan Bahan Magnetit (Fe_3O_4)

Berikut merupakan proses pembuatan bahan magnetit (Fe_3O_4) dari pasir besi Lumajang yang terdiri dari proses pemisahan dari unsur *non-ferrous* dan reduksi ukuran partikel.

1. Pemisahan Unsur *Non-ferrous*

Preparasi bahan magnetit (Fe_3O_4) didapatkan melalui pemisahan kandungan *ferrous* dan *non-ferrous* pada pasir besi dengan menggunakan magnet permanen. Proses ekstraksi pasir besi dilakukan secara berulang-ulang menggunakan magnet permanen dapat menghasilkan Fe_3O_4 dengan kemurnian sekitar 80-90%.

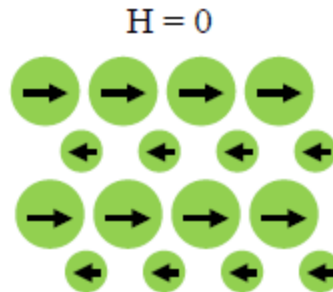
2. Reduksi Ukuran Partikel

Proses reduksi ukuran partikel merupakan metode yang digunakan untuk memperkecil ukuran partikel bahan magnetit (Fe_3O_4) hasil proses pemisahan unsur *non-ferrous*. Pada proses ini serbuk bahan magnetit (Fe_3O_4) digerus menggunakan mortar hingga ukurannya menjadi kecil. Agar dapat memperoleh ukuran partikel yang homogen, serbuk bahan magnetit (Fe_3O_4) yang telah digerus kemudian disaring menggunakan penyaring 200 *mesh*.

2.3.4 Kurva Histerisis dan Sifat Magnetik Bahan Ferrimagnetik

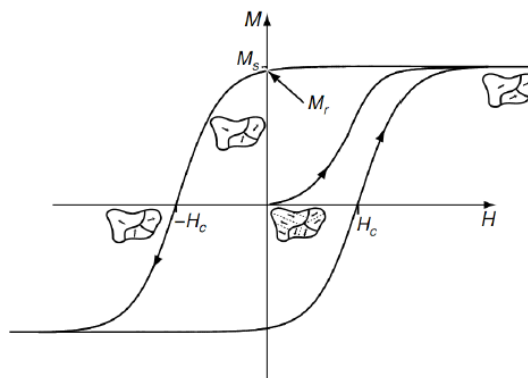
Material ferrimagnetik memiliki susunan dipol magnetik yang mirip dengan antiferromagnetik dimana momen magnetiknya berdekatan dengan arah antiparalel, namun magnetisasinya tidak nol. Hal ini disebabkan karena terdapat perbedaan magnitudo pada bahan ferrimagnetik. Sifat material ferrimagnetik

terdapat dalam material seperti ferit atau bahan magnetik yang komponen utamanya adalah oksida logam.



Gambar 2.8. Arah domain magnetik pada bahan ferrimagnetik

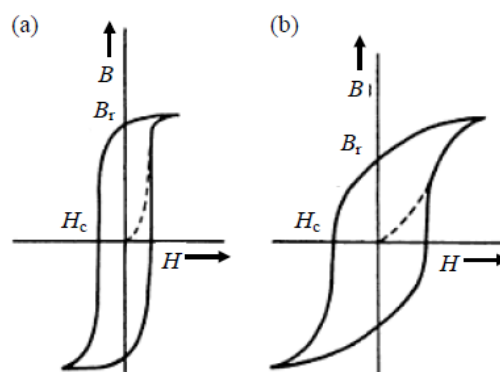
Domain magnet merupakan daerah di dalam material magnetik dimana dipol magnetik pada daerah tersebut memiliki orientasi yang seragam. Domain-domain magnetik dipisahkan oleh dinding domain (*domain wall*). Ketika tidak ada pengaruh medan magnet eksternal yang berinteraksi dengan domain-domain magnetik, maka orientasinya acak (*random*) dengan magnetisasi bernilai nol. Sedangkan material magnetik ketika dipengaruhi medan magnet eksternal, domain-domain magnetik akan membesar dan dinding-dinding domain menyempit, sehingga magnetisasinya tidak bernilai nol. Dengan melakukan proses magnetisasi (proses penurunan medan magnet eksternal menjadi nol dan meneruskannya pada arah yang berlawanan, serta meningkatkan medan magnet eksternal pada arah tersebut dan menurunkannya kembali ke nol kemudian membalikkan kearah semula), maka magnetisasi atau polarisasi magnet permanen membentuk lopp. Loop ini yang dikenal sebagai kurva histeresis, seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.9. Kurva histeresis pada bahan ferrimagnetik.

Koersivitas (H_c) merupakan besarnya medan magnet yang dibutuhkan untuk menurunkan magnetisasi pada material yang termagnetisasi hingga nilai magnetisasi kembali nol. Magnetisasi saturasi (M_s) merupakan besarnya magnetisasi maksimum yang dicapai pada saat seluruh momen magnetiknya selaras. Dan magnetisasi remanen (M_r) merupakan magnetisasi residu dalam material setelah medan magnet diturunkan hingga nol.

Kurva histerisis merupakan acuan dalam mengidentifikasi sifat magnet suatu material magnetik. Berdasarkan kurva tersebut dapat dibedakan antara material magnet keras (*hard magnetic*) dan material magnet lunak (*soft magnetic*) berdasarkan kekuatan medan koersivitasnya. Dimana diketahui berdasarkan nilai koersivitasnya, material magnet keras memiliki nilai koersivitas yang kuat ($H_c > 1\text{ kA/m}$), sedangkan material magnet lunak memiliki nilai koersivitas yang lemah ($H_c < 1\text{ kA/m}$).



Gambar 2.10. Kurva histerisis (a) material magnetik lemah, (b) material magnetik kuat

Medan magnet H diperlukan untuk menginduksi medan berkekuatan B dalam sebuah material. Setelah medan magnet H diadakan, dalam spesimen tersisa magnetisme residual B_r . Titik H_c disebut sebagai gaya koersif atau koersivitas bahan yang diterapkan pada arah berlawanan untuk mengembalikan medan B menjadi nol. Apabila siklus ini diteruskan maka akan didapatkan kurva dengan bentuk simetris yang dikenal dengan fenomena histerisis seperti pada gambar 2.10.

Pada gambar di atas dapat dibedakan antara magnet lunak dan magnet keras melalui bentuk kurva histerisis. Material magnet lunak mudah dimagnetisasi sekaligus mudah di demagnetisasi. Pada gambar (a) nilai H yang rendah dapat

menginduksi medan B yang kuat dalam logam dan memerlukan medan magnet H_c yang kecil untuk menghilangkannya. Material magnet lemah cenderung tertarik ke magnet lain dan sifat magnetiknya hanya bertahan apabila magnet berada dalam suatu medan magnetik. Dengan kata lain, material magnet lemah tidak mengalami magnetisasi secara permanen.

Material magnet kuat atau biasa dikenal dengan magnet permanen dapat menarik material logam lain yang mengalami magnetisasi. Material magnet kuat dapat mempertahankan kemagnetannya dalam jangka waktu yang lama. Ketika suatu material magnetik dipengaruhi medan magnetik H , garis-garis gaya yang berdekatan dihimpun dalam material tersebut sehingga meningkatkan induksi magnetik B . Peningkatan induksi yang terjadi tidak linier tetapi mengikuti hubungan $B-H$ yang naik cukup besar menuju level yang lebih tinggi kemudian bertahan ketika mendekati konstan. Pada kurva histeresis material magnet kuat, terdapat perbedaan yang signifikan. Ketika medan magnetik H dihilangkan, sebagian besar induksi dipertahankan agar menghasilkan induksi remanen B_r . Oleh karena itu, diperlukan medan magnet terbalik $-H_c$, sebelum induksinya turun menjadi nol.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan karbon rGO yaitu kualiti pembakar, ayakan 200 *mesh*, neraca O'haus digital, spatula, gelas beker, mortar, *plastic wrap*, kursibel 50 ml, furnace *Carbolite 1400*, *hot plate*, *ultrasonic cleaner Cole-Parmer*, *X-Ray Fluorocencies*, Difraktometer Sinar X Philips, LCR Meter *two point probe*, SEM-EDX Phenom ProX dan VNA Advantest R-3770.

Sedangkan peralatan yang digunakan dalam pembuatan magnetit (Fe_3O_4) yaitu magnet permanen, *hot plate*, spatula, gelas beker, neraca digital, mortar, cawan petri dan ayakan 200 *mesh ultrasonic cleaner Cole-Parmer*, Difraktometer Sinar X Philips, LCR Meter *two point probe*, SEM-EDX Phenom ProX, VSM OXFORD, VNA Advantest R-3770.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan bahan karbon rGO yaitu bambu petung (*Dendrocalamus Asper*) dan aquades. Sedangkan bahan yang digunakan untuk pembuatan bahan magnetit (Fe_3O_4) yaitu pasir besi Lumajang dan aquades.

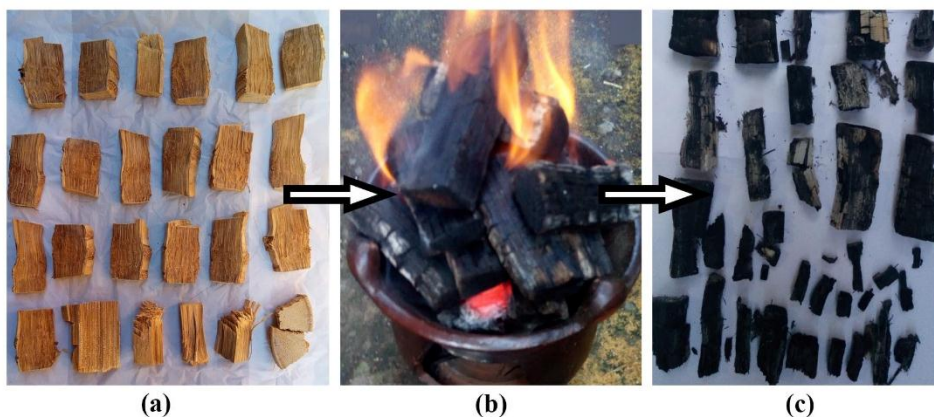
3.2 Metodologi Penelitian

3.2.1 Sintesis Serbuk Arang Bambu

Arang bambu dibuat dari jenis bambu petung (*Dendrocalamus Asper*). Bambu petung yang digunakan dalam penelitian ini telah berusia 3-5 tahun dan berasal dari desa Watu Galuh, kecamatan Diwek, Jombang. Bambu yang telah berusia 3-5 tahun masuk dalam kategori dewasa dan memiliki kandungan selulosa dan lignin yang dominan dibanding pada usia muda maupun usia tua. Kadar selulosa dan lignin inilah yang paling banyak menghasilkan karbon. Proses pembuatan arang bambu dilakukan dengan menggunakan metode karbonisasi.

Proses karbonisasi bertujuan untuk menghasilkan karbon dan menghilangkan unsur non karbon (Ningsih, 2016).

Tahap awal yaitu preparasi bambu dengan potongan melintang yang bertujuan untuk mempercepat proses pembakaran. Bambu yang telah dipotong melintang, selanjutnya di bakar menggunakan tungku pembakar pada kondisi udara sekitar. Pembakaran bambu menggunakan bahan bakar minyak tanah sehingga pembakaran berlangsung pada suhu dibawah 1000°C. proses pembakaran ini menghasilkan arang dan abu seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3.1. (a) Potongan bambu melintang, (b) pembakaran bambu pada tungku pembakar, (c) arang dan abu hasil pembakaran.

Proses selanjutnya yaitu arang bambu digerus menggunakan mortar untuk memperkecil ukuran partikel kemudian disaring menggunakan ayakan 200 *mesh* agar ukuran partikel homogen. Setelah disaring, serbuk arang bambu dilakukan pemanasan pada temperatur 600°C dan ditahan selama 45 menit yang bertujuan untuk menghilangkan impuritas. Proses pemanasan ini menggunakan *Furnace* model *FBI400* yang terdapat di laboratorium Departemen Fisika ITS. Hasil dari proses pemanasan ini adalah karbon dengan sedikit impuritas yang menjadi abu.

Pada tahap akhir, untuk memisahkan karbon dengan abu dan impuritas lainnya, dilakukan pencucian dengan aquades sebanyak 10 kali (10 jam). Proses pencucian ini menggunakan *ultrasonic cleaner* jenis *Cole-Parmer model 8891E-MTH* yang terdapat di laboratorium Departemen Fisika ITS. Serbuk arang yang telah dicuci diendapkan selama 2 hari. Proses pengendapan berlangsung lama karena massa jenis bambu hampir sama dengan massa jenis air. Selanjutnya serbuk arang dikeringkan menggunakan *hot plate* pada suhu 100 °C selama 120 menit.

3.2.2 Sintesis Pasir Besi

Sintesis pasir besi dilakukan dengan mengeringkan pasir besi Lumajang dibawah sinar matahari. Proses selanjutnya yaitu pasir besi diayak untuk memisahkan pasir dengan kerikil serta pengotor lainnya. Pasir besi kemudian di ekstrak menggunakan magnet permanen untuk memisahkan bahan magnetit (Fe_3O_4) dari bahan non magnetit yang terkandung dalam pasir besi. Magnet permanen digosok-gosokkan pada pasir besi hingga didapatkan serbuk besi yang tetap menempel pada magnet. Proses ekstraksi dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali agar serbuk besi yang didapatkan merupakan bahan magnetit (Fe_3O_4) yang kuat. Langkah selanjutnya yaitu menggerus serbuk besi menggunakan mortar untuk memperkecil ukuran partikel kemudian diayak menggunakan ayakan 200 *mesh* agar ukuran partikel homogen. Pada proses menghasilkan serbuk besi berukuran mikron.

Proses selanjutnya yaitu, pemurnian bahan magnetit (Fe_3O_4) dari pengotor menggunakan *ultrasonic cleaner* dan dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Selanjutnya tahapan akhir preparasi bahan magnetit (Fe_3O_4) yaitu melakukan pengeringan sampel menggunakan *hot plate* pada suhu 100 °C selama 120 menit.

3.2.3 Pengujian Komposisi Unsur (XRF)

Analisa komposisi unsur dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorocencies* (XRF) model model PW4030/45B. XRF meruakan suatu teknik analisis unsur-unsur yang membangun suatu material. XRF juga dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar-X yang dipancarkan kembali setelah material ditembak menggunakan energi tinggi.

Prinsip kerja XRF yaitu menggunakan sinar-X dari tabung pembangkit untuk mengeluarkan elektron dari kulit bagian dalam untuk menghasilkan sinar-X baru dari sampel yang dianalisis. Untuk setiap atom di dalam sampel, intensitas dari sinar-X karakterisasi sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom di dalam sampel. Intensitas sinar-X karakteristik dari setiap unsur, dibandingkan dengan suatu standard yang sudah diketahui konsentrasinya, sehingga konsentrasi unsur dalam sampel bias ditentukan.

3.2.4 Pengujian Kandungan Fasa (XRD)

Analisa kandungan fasa menggunakan *X Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui fasa yang terdapat pada material. Pengujian ini dilakukan dalam bentuk sampel serbuk pada material karbon rGO dan magnetit (Fe_3O_4). Pengujian difraksi sinar-X dilakukan di Laboratorium Teknik Material ITS dengan menggunakan difraktometer tipe *Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer)* dengan menggunakan radiasi Cu-K α , tegangan 40 kV dan arus 30 mA dengan target logam Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$)

3.2.5 Pengujian Morfologi dan Ukuran Partikel (SEM)

Analisa morfologi dan ukuran partikel menggunakan *Scanning Electro Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) tipe Phenom ProX. SEM merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari sebuah material. Prinsip kerja SEM adalah dengan menggambarkan permukaan suatu material melalui berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Berkas elektron yang mengenai permukaan material akan dipantulkan kembali dan mengenai detektor untuk ditampilkan melalui layar.

Dalam pengujian SEM-EDX selain untuk mengetahui morfologi atau mikrostruktur dari material dapat pula digunakan untuk mengetahui distribusi elemen secara kualitatif maupun kuantitatif yang terkandung pada material.

3.2.6 Pengujian Gugus Fungsi (FTIR)

Karakterisasi untuk mengetahui ikatan gugus fungsi dilakukan menggunakan menggunakan spektroskopi FTIR tipe 8400S SHIMADZU. Karakterisasi inframerah dilakukan di laboratorium Jurusan Kimia ITS dengan rentang bilangan gelombang 400 cm^{-1} – 4000 cm^{-1} . Karakterisasi ini diperlukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi apa saja yang terdapat didalam bahan.

3.2.7 Pengujian Konduktivitas Listrik (LCR Meter *Two Point Probe*)

Pengukuran nilai konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan LCR Meter tipe *two point probe* yang terdapat di laboratorium Keramik Departemen Fisika ITS. LCR Meter merupakan alat uji yang digunakan untuk mengukur induktansi (L), kapasitansi (C) dan resistensi (R) dari komponen atau suatu material. Karakterisasi menggunakan LCR meter bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menghantarkan arus listrik. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan metode LCR meter pada rentang frekuensi 50 Hz sampai dengan 1 MHz.

Nilai konduktivitas suatu bahan dapat diukur menggunakan LCR meter menurut persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{L}{RA} \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan σ adalah konduktivitas listrik suatu bahan ($\Omega \text{ m}$)⁻¹, R adalah resistensi (Ω), L adalah ketebalan sampel (m) dan A adalah luas penampang sampel (m²) (Mustafa, 2007).

3.2.8 Pengujian Sifat Magnetik (VSM)

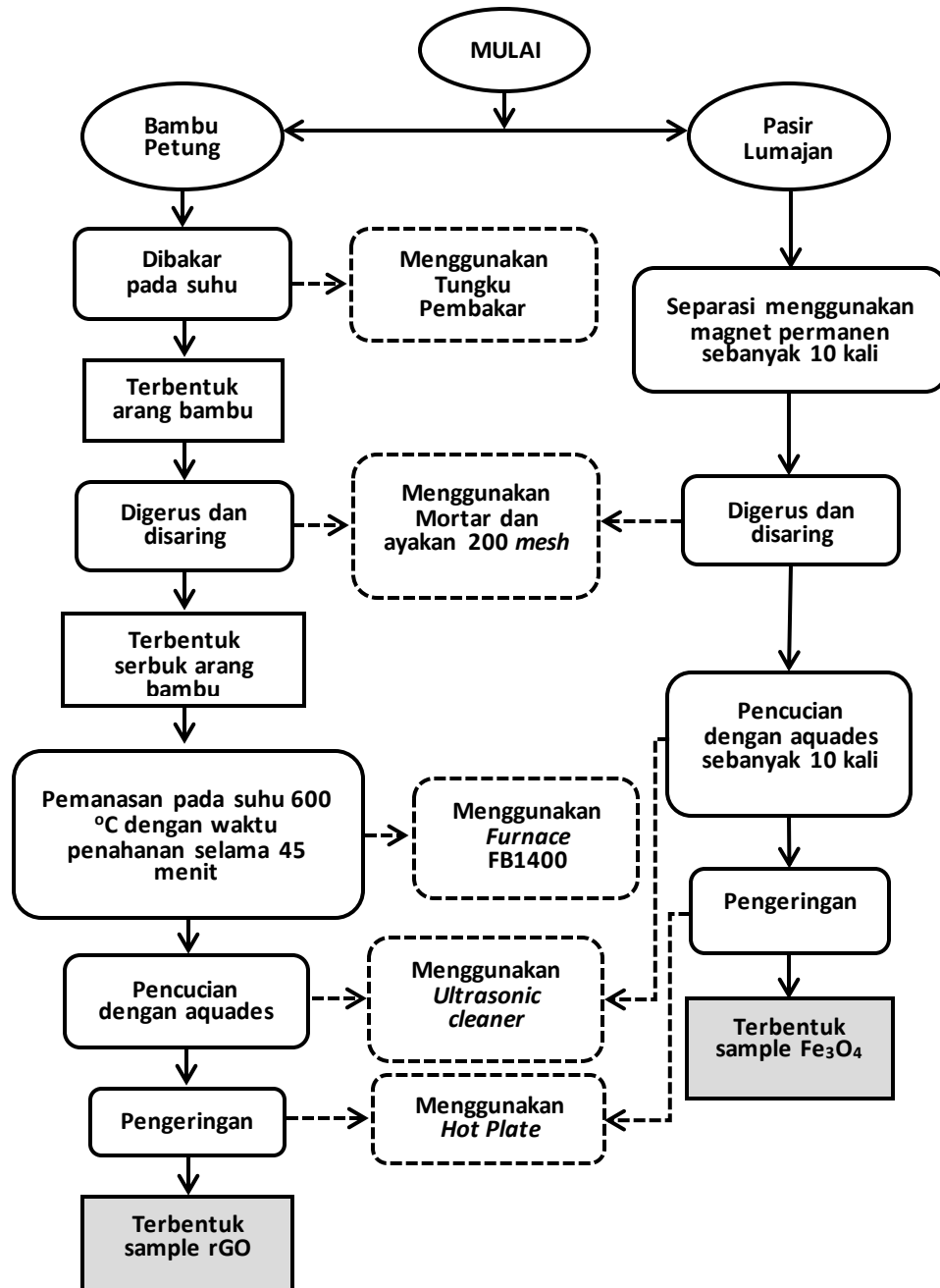
Pengujian sifat magnetic menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) yang terdapat di Batan, Serpong dengan VSM tipe OXFORD. VSM merupakan salah satu alat ukur magnetisasi yang menggunakan prinsip metode induksi. Pengujian menggunakan VSM akan memperoleh informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat adanya perubahan medan magnet eksternal yang digambarkan dalam kurva histerisis. Selain itu, besaran-besaran yang akan didapatkan melalui pengujian menggunakan VSM berupa kurva magnetik sampel, temperatur transisi magnetik (T_c) dan konstanta anisotropik material. Sifat kemagnetan suatu material dapat diketahui melalui kurva histerisis. Melalui kurva histerisis tersebut dapat ditentukan besaran-besaran kemagnetan antara lain: magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanen (M_r) dan medan koersivitas (H_c).

3.2.9 Pengujian Penyerapan Gelombang Radar (VNA)

Pengujian penyerapan gelombang radar pada bahan mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ dilakukan dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) tipe Advantest R-3770 300 KHz-20 GHz. Pengujian menggunakan VNA menunjukkan besarnya nilai *reflection loss* yang dapat menunjukkan banyaknya gelombang radar yang diserap oleh material.

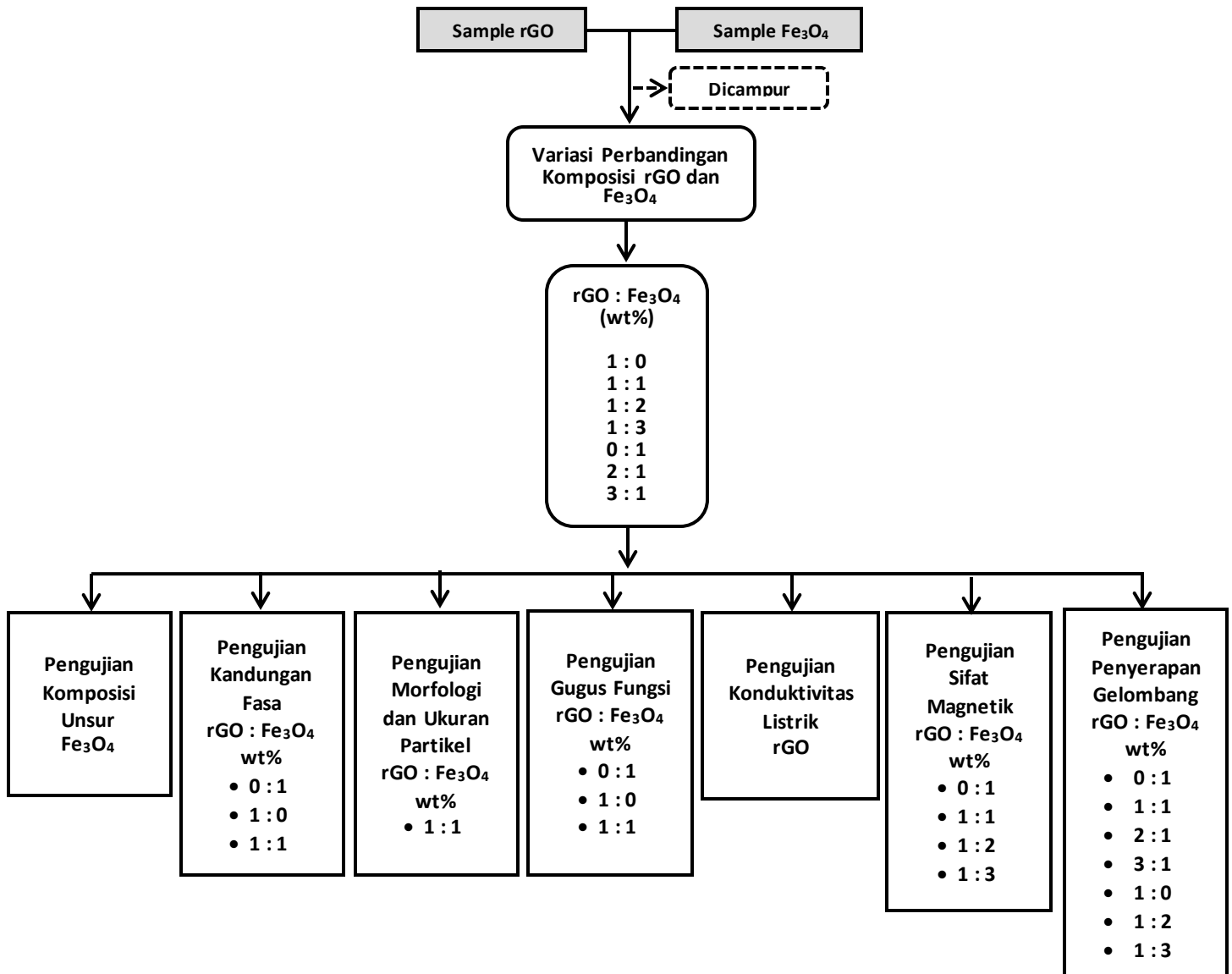
3.3 Diagram alir penelitian

- a. Skema pelaksanaan pembuatan sampel rGO-Fe₃O₄ secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema pembuatan sampel rGO-Fe₃O₄

- b. Skema pelaksanaan variasi komposisi sampel rGO-Fe₃O₄ secara khusus ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Skema variasi komposisi dan pengujian sampel rGO-Fe₃O₄

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Komposisi Unsur *magnetite* (Fe_3O_4)

Bahan dasar dalam sintesis bahan magnetit (Fe_3O_4) ini adalah pasir besi yang diperoleh dari Lumajang, Jawa Timur. Adapun komposisi unsur-unsur yang terkandung dalam pasir besi menurut pengujian XRF ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Table 4.1 Kandungan unsur pada pasir besi Lumajang

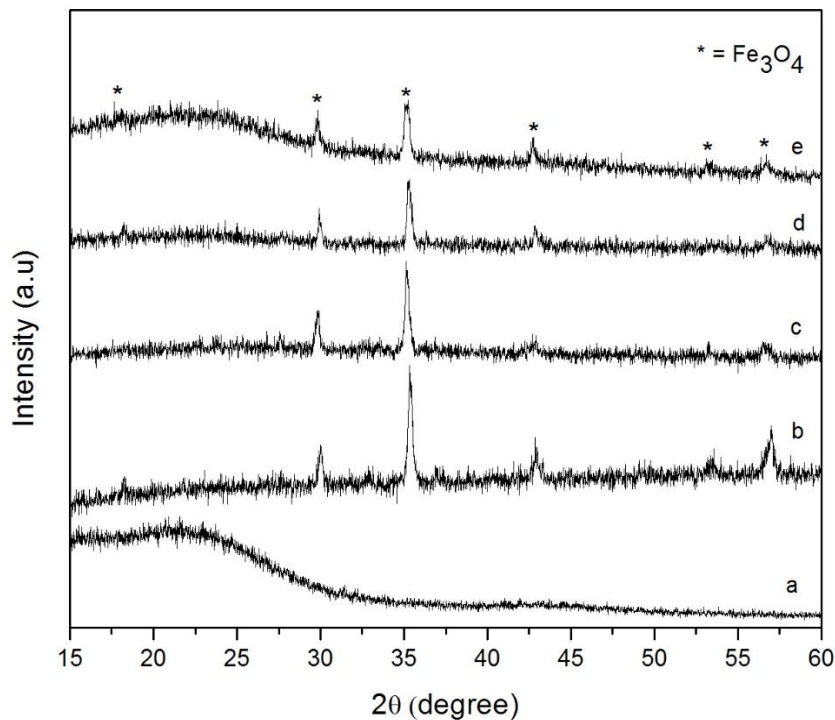
Unsur	Komposisi (%)
Fe	85.12
Ti	7.65
Si	3.30
Al	1.00
Ca	0.70
V	0.62
Mn	0.61
P	0.25
K	0.23
Zn	0.11
Cu	0.07
Cr	0.01

Hasil pengujian XRF ini menunjukkan bahwa komposisi unsur besi (Fe) pada pasir besi cukup tinggi yaitu sekitar 85.12 % dan diikuti oleh unsur-unsur impuritas (pengotor) lain seperti Ti, Si, Al, Ca, dsb yang jumlahnya relatif kecil yakni dibawah 10 %. Jumlah impuritas yang sedikit dibandingkan dengan kandungan Fe, oleh karena itu dapat dikatakan bahwa sampel pasir besi yang digunakan memiliki tingkat kemurnian kadar Fe yang cukup tinggi.

4.2 Analisis Kandungan Fasa

4.2.1 Analisis Fasa *Magnetite* (Fe_3O_4)

Hasil karakterisasi kandungan fasa pada pasir besi dilakukan menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pola difraksi XRD (a) rGO, (b) Fe_3O_4 , (c) rGO- Fe_3O_4 (1:3) wt%, (d) rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt% dan (e) rGO- Fe_3O_4 (3:1) wt%

Identifikasi fasa dilakukan dengan mencocokkan data posisi-posisi puncak pola difraksi terukur (XRD) dengan basis data yaitu kartu PDF (*Powder Diffraction File*). Proses ini dikenal dengan pencocokan (*search-match*). Pola difraksi XRD Fe_3O_4 hasil sintesis dari pasir besi ditunjukkan pada Gambar 4.1. Analisis secara kualitatif dilakukan menggunakan *software Match!* terhadap pola difraksi tersebut menunjukkan bahwa terbentuknya fasa kristal tunggal FCC sesuai dengan nomor PDF #00-079-0418. Puncak-puncak pola difraksi Fe_3O_4 terdapat pada 2θ 18,35°, 30,02°, 35,33°, 42,87°, 53,53° dan 56,99°. Pola difraksi tersebut memiliki beberapa indeks Miller (111), (220), (311), (400), (422) dan (333) yang merupakan indeks khas struktur kubik spinel bahan magnetit (Fe_3O_4) (Nuzully et al., 2013). Parameter-parameter yang didapatkan dari analisa kualitatif menggunakan *software*

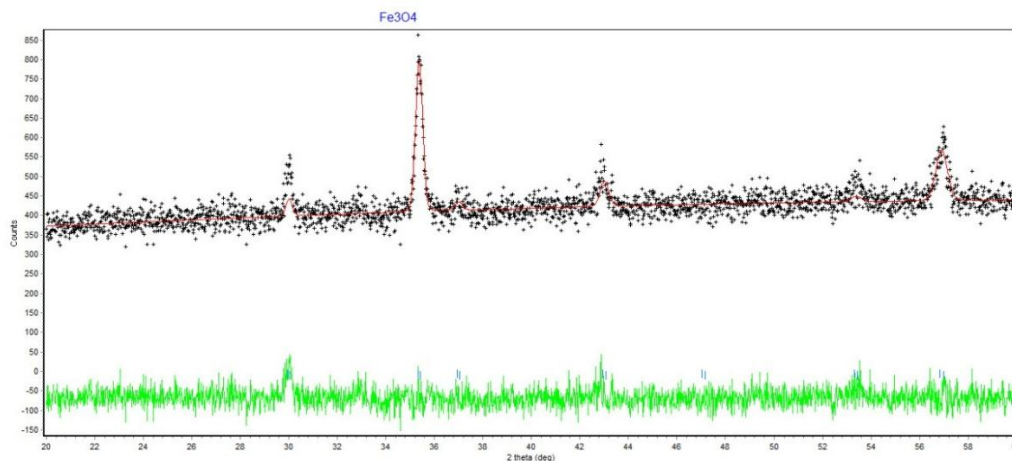
Match! yaitu berupa *space group* Fd3m (227) yang menunjukkan bahwa sampel memiliki struktur kubik dengan parameter kisi ($a=b=c$) 8,3941 Å.

Tabel 4.2 Posisi 2θ pola difraksi *magnetite* (Fe_3O_4) (PDF #00-079-0418)

No	2θ	hkl
1	18,35	111
2	30,02	220
3	35,33	311
4	42,87	400
5	53,53	422
6	56,99	511

Gambar 4.1 menunjukkan pola difraksi XRD pada sampel mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt% dengan bahan baku pembuatan rGO disintesis dari arang bambu Petung. Pola difraksi sampel mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 menunjukkan bahwa rGO bersifat amorf. Fasa amorf karbon rGO ditunjukkan dengan puncak lebar pada 2θ 22,93° dan 42,98° (Gambar 4.4a). Pada pola difraksi mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 dibandingkan Fe_3O_4 murni tidak mengalami pergeseran posisi puncak khas Fe_3O_4 (Zhu et al., 2016). Posisi puncak difraksi yang tidak mengalami pergeseran menyimpulkan bahwa struktur kristal Fe_3O_4 pada mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 tidak mengalami perubahan pada saat dilakukan penambahan rGO.

Data pola difraksi bahan magnetit Fe_3O_4 pada Gambar 4.1 dianalisis lebih lanjut secara kualitatif menggunakan *software Rietica* dan *MAUD*. Berikut merupakan hasil penghalusan (*refinement*) sampel Fe_3O_4 menggunakan *software Rietica*.

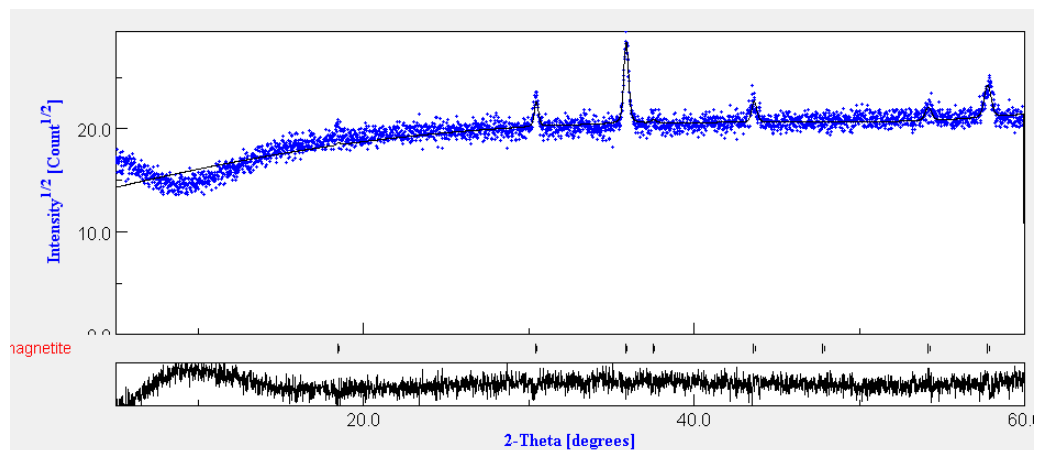


Gambar 4.2 Kecocokan grafik data terukur (hasil XRD) dengan data terhitung (model) melalui proses penghalusan (*refinement*) menggunakan software Rietica

Pada Gambar 4.2 warna hitam menunjukkan data terukur (XRD), warna merah merupakan model yang dibuat dari data CIF yang diperoleh dari *Crystallography Open Database*, dan warna hijau menunjukkan selisih antara model dengan data terukur (XRD).

Berdasarkan analisa secara kuantitatif menggunakan *software Rietica* pada sampel Fe_3O_4 (Gambar 4.3) diperoleh parameter-parameter kecocokan yaitu *R-profile* (Rp) 4,354, *R-weighted profil* (Rwp) 5,519, *Goodness-of-fit* (GoF) 1,293, *R-Bragg* 1,54 dan parameter kisi ($a=b=c$) bernilai 8,3967 Å. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat kecocokan antara model dengan data terukur (XRD) adalah *accapteble* dikarenakan memiliki nilai *Goodness-of-fit* (GoF) sebesar 1,293 atau kurang dari 4 atau 4% (Pratapa, 2011). Selain itu, parameter kisi ($a=b=c$) hasil *refinement* sebesar 8,3967 Å yang memiliki hasil identik dengan data cif Fe_3O_4 yaitu 8,3941 Å. Kecocokan ini mendukung hasil analisis *software Match!* bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa magnetit Fe_3O_4 .

Berikutnya, informasi ukuran kristal Fe_3O_4 dapat diperoleh melalui analisis menggunakan *software MAUD* (Lutteroti, 2006). Hasil pola penghalusan sampel Fe_3O_4 menggunakan *software MAUD* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Pola penghalusan sampel Fe_3O_4 menggunakan *software MAUD*

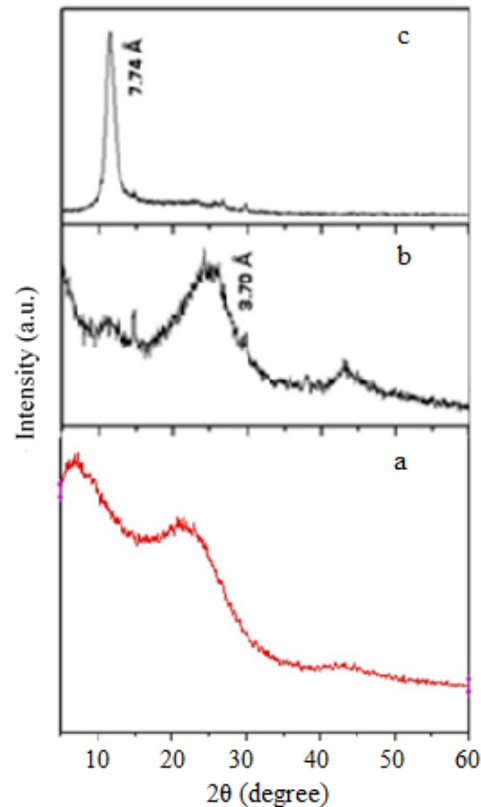
Dari pola penghalusan menggunakan *software MAUD* terdapat grafik berwarna hitam yang menunjukkan model yang diperoleh dari CIF, warna biru menunjukkan data terukur Fe_3O_4 dari karakterisasi XRD, sedangkan warna hitam tebal merupakan selisih antara model dengan data terukur (XRD).

Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software MAUD* pada sampel Fe_3O_4 (Gambar 4.3), diperoleh parameter-parameter yaitu sig 1,5036037, Rw (%) 7,6563053, Rwnb (%) 14,551347, Rb (%) 5,6392527, Rexp (%) 5,09197, ukuran kristal Fe_3O_4 sekitar 189,25831 nm dan parameter kisi ($a=b=c$) 8,2827 (5) Å. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan tingkat kecocokan antara model dengan data terukur (XRD) adalah *accaptable* dikarenakan memiliki nilai (Sig) sebesar 1,5036 atau kurang dari 2%. Selain itu, parameter kisi ($a=b=c$) hasil analisa sebesar 8,2827 (5) Å yang memiliki hasil identik dengan data cif Fe_3O_4 yaitu 8,3941 Å. Kecocokan ini mendukung hasil analisa *software Rietica dan Match!* bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa magnetit Fe_3O_4 .

Terbentuknya fasa magnetit (Fe_3O_4) yang diketahui melalui analisis secara kualitatif menggunakan *software Match!* dan secara kuantitatif menggunakan *software Rietica dan MAUD* menunjukkan bahwa melalui metode sintesis yang sederhana dapat diperoleh bahan magnetit (Fe_3O_4) dari pasir besi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sunaryono dkk (2015) namun dengan metode yang berbeda yaitu kopresipitasi.

4.2.2 Analisis Fasa *Reduced Graphene Oxide* (rGO)

Hasil karakterisasi kandungan fasa pada arang bambu Petung dilakukan menggunakan XRD ditunjukkan pada gambar 4.4.



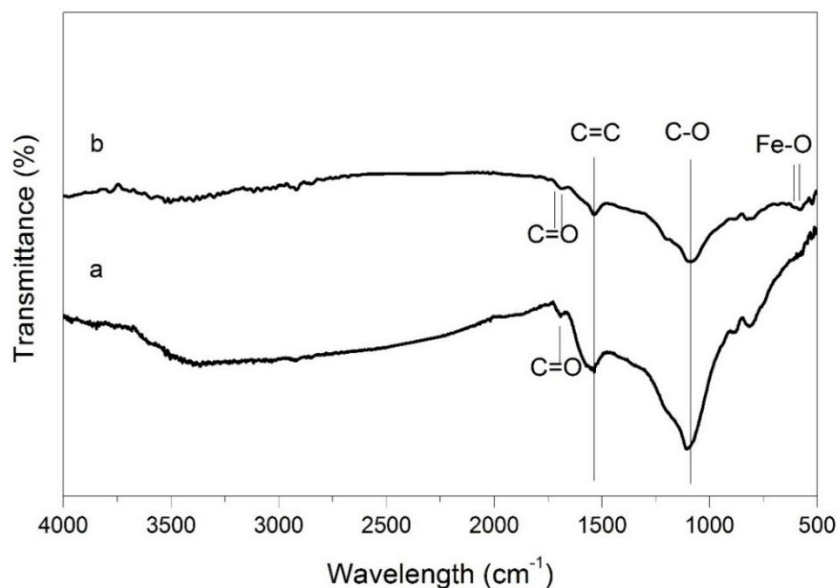
Gambar 4.4 Pola difraksi (a) arang bambu Petung, (b) pola difraksi *reduced graphene oxide* (rGO) dan (c) *graphene oxide* (GO) referensi (Fu et al., 2013)

Arang bambu Petung yang telah dikarbonisasi pada temperature 600 °C dan dikarakterisasi menggunakan XRD menghasilkan struktur amorf dengan dua puncak lebar yaitu pada 2θ 22,93° dan 42,98° yang menunjukkan bahwa pada perlakuan suhu rendah terbentuk fasa grafena oksida tereduksi (rGO) dengan bidang kristal (002) pada sudut 22,93° (Zhu et al., 2016) dan (100) pada sudut 42,98°. Analisa dilakukan dengan membandingkan pola difraksi rGO terukur (XRD) dengan penelitian yang dilakukan oleh Fu et al., (2013) menunjukkan terdapat dua puncak yang sesuai pada $2\theta=20^{\circ}-30^{\circ}$ dan $2\theta=40^{\circ}-50^{\circ}$. Kesesuaian pola difraksi ini menunjukkan telah terbentuknya fasa grafena oksida tereduksi yang disintesis dari arang bambu Petung.

4.3 Analisis Gugus Fungsi

Analisis gugus fungsi dapat dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). FTIR merupakan alat spektroskopi yang menggunakan metode transformasi *fourier* yang berfungsi mengukur resapan spektrum *infrared* yang dipancarkan dari sumber menuju material uji pada bilangan gelombang tertentu. Luaran dari spektroskopi FTIR ini diperoleh grafik hubungan antara prosentase transmisi (%T) terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}).

Analisis ikatan molekul pada grafena oksida tereduksi (rGO) digunakan untuk mendeteksi adanya ikatan molekul C=C yang merupakan ciri khas dari ikatan utama rGO dan untuk mendukung hasil karakterisasi XRD yang menyatakan terbentuknya fasa rGO. Sedangkan analisis ikatan molekul pada sampel rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt% digunakan untuk mengkonfirmasi terbentuknya mikrokomposit dengan baik yang ditandai dengan tidak adanya ikatan antara C dan Fe. Berikut merupakan hasil spektroskopi FTIR.



Gambar 4.5 Data spektroskopi FTIR (a) rGO, (b) rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt%

Data hasil pengujian ikatan molekul menggunakan FTIR menunjukkan terdapat ikatan C=C yang merupakan ikatan utama karbon. Dari kedua sampel tersebut diketahui bahwa sampel rGO dan rGO-Fe₃O₄ memiliki daerah resapan yang sama untuk ikatan C=C pada gelombang 1535.39 cm^{-1} (Skoog et al., 2007).

Ikatan C=C ini menunjukkan bahwa susunan atom-atom karbon membentuk struktur *reduced graphene oxide*, dengan ikatan C=C dalam keadaan terhibridisasi sp^2 (Narayanan et al., 2012). Hibridisasi sp^2 merupakan dasar dari semua struktur grafena dan senyawa aromatik. Hibridisasi sp^2 ini memiliki makna bercampurnya elektron dalam orbital 2s dengan orbitas 2p yang menghasilkan dua orbital 2p yang masing-masing berisi satu elektron dan satu orbital 2p yang tak terhibridisasi sehingga menghasilkan hibridisasi pada tiga orbital gabungan antara orbitas 2s dan 2px, 2py serta satu orbital 2pz yang tak terhibridisasi. Tiga orbital 2p yang terhibridisasi membentuk struktur trigonal (tiga sudut) yang menunjukkan adanya tiga atom karbon dengan tiga orbital sp^2 dan satu orbital p yang tak terhibridisasi yang tegak lurus dengan orbital sp^2 .

Struktur grafit sesuai pada Gambar 2.3 yang membentuk cincin heksagonal tersusun atas beberapa karbon yang tersusun secara paralel dan berikatan dengan tiga atom karbon lainnya sehingga termasuk dalam hibridisasi sp^2 . Setiap lapisan dari struktur grafit tersebut merupakan lapisan dari struktur grafena.

Spektroskopi FTIR juga menunjukkan adanya gugus karbonil (C=O) pada sampel rGO pada daerah resapan 1681.98 cm^{-1} , sedangkan pada rGO-Fe₃O₄ terjadi pada daerah resapan 1747 cm^{-1} dan 1685.84 cm^{-1} (Skoog et al., 2007). Gugus karbonil ini mengandung atom karbon sp^2 yang dihubungkan dengan atom oksida oleh ikatan rangkap. Gugus karbonil berbentuk planar pada sekeliling atom karbon sp^2 trigonal. Ikatan rangkap karbon dan oksigen ini mengandung ikatan phi dalam membentuk ikatan rangkapnya. Atom oksigen mengalami hibridisasi sp^3 seperti atom karbon, yang membedakan hanya dalam atom oksigen memiliki dua pasang elektron menyendiri dalam dua orbital 2p. Gugus karbonil ini lebih polar dari pada ikatan tunggal C-O karena ikatan phi yang membentuk ikatan rangkap dengan karbon lebih mudah tertarik ke atom oksigen yang lebih elektronegatif dari pada elektron sigma dari ikatan C-O. Ikatan regangan C-O ini termasuk dalam gugus fungsi alkohol dan fenol. Ikatan regangan C-O terdapat pada rGO maupun rGO-Fe₃O₄ yang masing-masing terjadi pada daerah serapan 1103.32 cm^{-1} dan 1085.96 cm^{-1} (Skoog et al., 2007). Gugus fungsi Fe-O muncul pada sampel rGO-Fe₃O₄ pada bilangan gelombang $642,32\text{ cm}^{-1}$ (Zavoiura et al., 2015) dan $583,52\text{ cm}^{-1}$ (Chae et al., 2016).

Berdasarkan hasil spektroskopi FTIR diatas dapat disimpulkan bahwa karbon rGO telah terbentuk yang ditandai adanya ikatan C=C pada rGO murni maupun rGO-Fe₃O₄ pada bilangan gelombang 1535.39 cm⁻¹. Selain itu, berdasarkan pengujina FTIR dapat juga disimpulkan terbentuknya mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ yang ditandai dengan tidak adanya ikatan molekul antara Fe-C. Hasil spektroskopi FTIR secara detail dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Data spektroskopi FTIR pada rGO dan rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt%

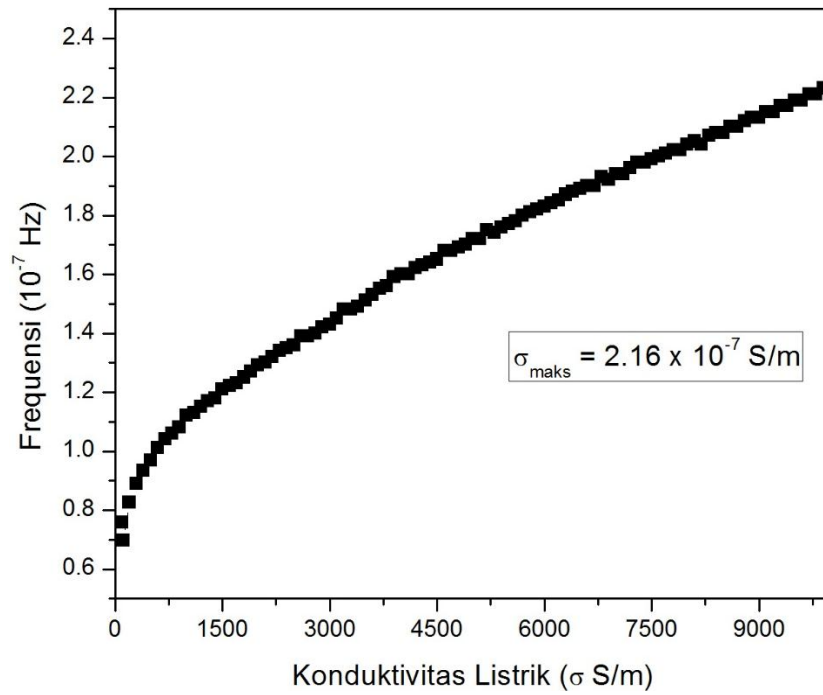
Bilangan Gombang (cm ⁻¹)		Referensi	Identifikasi
rGO	rGO-Fe ₃ O ₄ (1:1) wt%		
3387.11	3464.27	3400 [1]	O-H <i>Stretching</i>
	2918.40	2920 [2]	C-H <i>Stretching</i>
	2852.81	2855 [2]	C-H <i>Stretching</i>
	1747	1830-1650 [3]	C=O <i>Stretching</i>
1681.98	1685.84		
1535.39	1535.39	1544 [4]	C=C <i>Stretching</i>
	1195.91	1100 [5]	Si-O-Si <i>Stretching</i>
1103.32	1085.96	1100 [3]	C-O <i>Stretching</i>
877.64	887.28	1000-600 [3]	=C-H <i>Out of plane bending</i>
808.20	825.56		
	684.75	700-600 [3]	=C-H <i>Bending</i>
	642.32	633 [6]	Fe-O <i>Stretching</i>
	582.52	583 [7]	Fe-O <i>Stretching</i>
518.87	524.66	536 [8]	C-H <i>Bending</i>

- [1] [Zhang et al., 2013]
 [2] [Abu Bakar et al., 2007]
 [3] [Stuart, 2004]
 [4] [Skoog et al., 2007]
 [5] [Rahman et al., 2015]
 [6] [Zavoiura et al., 2015]
 [7] [Chae et al., 2016]
 [8] [Kusuma, 2015]

Ikatan lainnya yang ditunjukkan pada spektrum FTIR adalah tekukan keluar bidang (*out of plane bending*) ikatan =C-H dalam senyawa aromatik. Adanya ikatan =C-H yang termasuk dalam senyawa aromatik menunjukkan bahwa karbon yang dihasilkan dari arang bambu ini berikatan rangkap dengan atom lain dan berikatan kovalen tunggal dengan hidrogen yang merupakan bagian dari substitusi dalam struktur benzena. Selain itu, salah satu ciri khas suatu material organik selain adanya unsur karbon dan oksigen adalah adanya atom hidrogen. Ikatan =C-H terjadi pada rGO dengan daerah serapan 877.64 cm^{-1} dan 808.20 cm^{-1} (Stuart, 2004), sedangkan pada rGO-Fe₃O₄ terjadi pada 887.28 cm^{-1} , 684.75 cm^{-1} (Stuart, 2004). Tekukan dalam bidang =C-H yang terdapat pada daerah serapan tersebut termasuk dalam kelompok gugus fungsi *Alkenes* pada senyawa *Aliphatic Hydrocarbon*. Terdapat juga getaran ikatan regangan *methylene asymmetric* C-H. Ikatan C-H asimetri pada rGO hanya terjadi pada daerah 518.87 cm^{-1} (Kusuma, 2015) sedangkan pada rGO-Fe₃O₄ terjadi pada daerah 2918.40 cm^{-1} , 2852.81 cm^{-1} (Abu Bakar et al., 2007) dan 524.66 cm^{-1} (Kusuma, 2015). Ikatan O-H muncul pada sampel rGO dan rGO-Fe₃O₄ yang masing-masing berada pada bilangan gelombang 3387.11 cm^{-1} dan 3464.27 cm^{-1} (Zhang et al., 2013). Ikatan ini termasuk dalam gugus fungsi alkohol dan fenol.

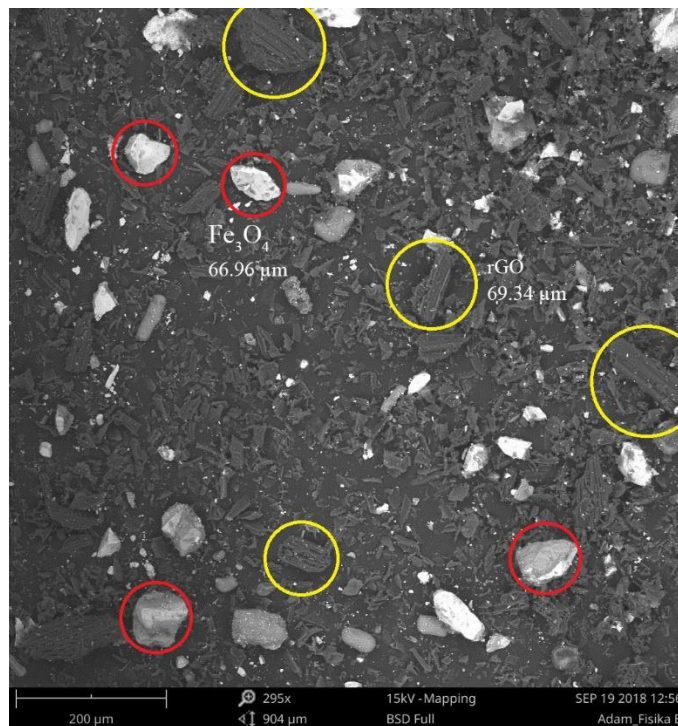
4.4 Analisis Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu material dalam menghantarkan arus listrik. Pada saat beda potensial ditempatkan pada ujung-ujung sebuah material konduktor, maka muatan-muatan bergerak menghasilkan arus listrik. Dalam pengujian konduktivitas listrik diperoleh luaran berupa nilai resistensi dari suatu material. Pengukuran konduktivitas listrik menggunakan *Two Point Probe* yang terlebih dahulu harus dilakukan preparasi sampel dalam bentuk pelet. Pengujian konduktivitas listrik rGO dilakukan pada frekuensi 50-10.000 Hz yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Nilai konduktivitas listrik rGO pada frekuensi 50-10.000 Hz

4.5 Analisis Morfologi dan Ukuran Partikel

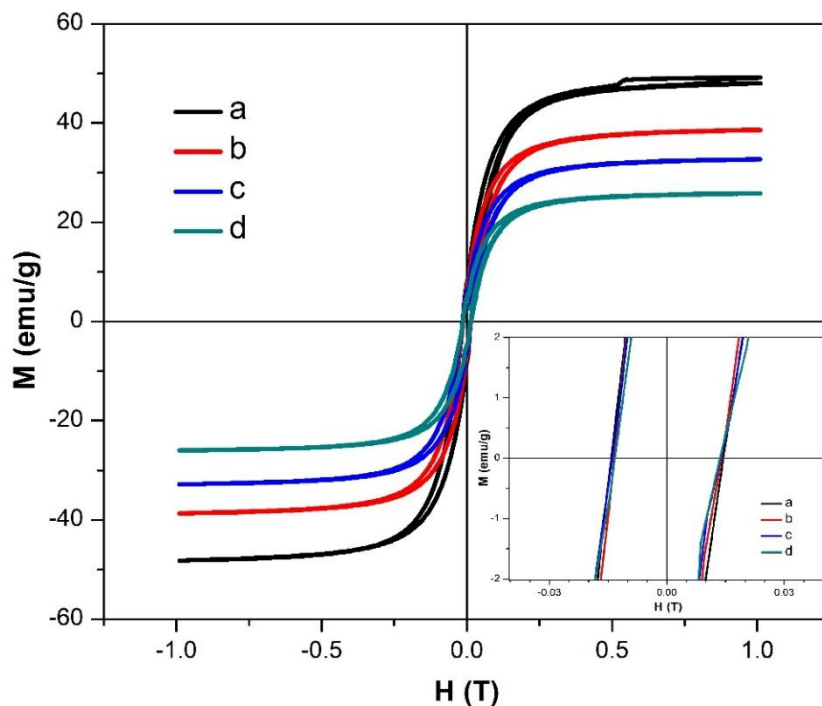


Gambar 4.7 Morfologi sampel rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt%

Gambar 4.7 menunjukkan morfologi, ukuran dan distribusi partikel pada mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt% yang dikarakterisasi menggunakan SEM dengan perbesaran 200 μm . Bahan karbon rGO ditunjukkan pada lingkaran kuning, sedangkan bahan magnetit (Fe₃O₄) ditunjukkan pada lingkaran merah. Hasil pengukuran SEM menunjukkan ukuran rata-rata partikel rGO sebesar 69.34 μm , sedangkan ukuran rata-rata partikel Fe₃O₄ sebesar 66.96 μm . Morfologi permukaan sampel menunjukkan distribusi partikel pada mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ memiliki persebaran yang cukup merata.

4.6 Analisis Sifat Kemagnetan

Identifikasi sifat kemagnetan bahan magnet dapat diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*). Melalui pengujian ini didapatkan hasil berupa kurva histerisis yang merupakan hubungan antara medan magnet eksternal (H) dan magnetisasi (M) pada 1 T seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Dari kurva histerisis dapat diketahui besaran-besaran penting mengenai sifat kemagnetan suatu bahan yaitu, magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanen (M_r) dan medan koersivitas (H_c).



Gambar 4.8 Kurva histerisis (a) Fe₃O₄, (b) rGO-Fe₃O₄ (1:3) wt%, (c) rGO-Fe₃O₄ (1:2) wt%, (d) rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt%

Berdasarkan kurva histerisis tersebut menunjukkan sampel Fe_3O_4 murni memiliki sifat magnetik paling tinggi dengan nilai magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 49.1762 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) sebesar 9.1067 emu/g dan koersivitas (H_c) sebesar 0.0138 T. Mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 (1:3) wt% memiliki magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 38.6050 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) sebesar 4.3367 emu/g dan koersivitas (H_c) sebesar 0.0136 T. Mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 (1:2) wt% memiliki magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 32.6734 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) sebesar 3.3142 emu/g dan koersivitas (H_c) sebesar 0.0137 T. Mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt% memiliki magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 25.8325 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) sebesar 2.6232 emu/g dan koersivitas (H_c) sebesar 0.0133 T. Parameter-parameter kemagnetan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Magnetisasi Saturasi (M_s), Magnetisasi Remanen (M_r) dan Koersivitas (H_c).

No	Sampel	M_s (emu/g)	M_r (emu/g)	H_c (Tesla)
1	Fe_3O_4	49.176	9.107	0.013
2	rGO- Fe_3O_4 (1:3) wt%	38.605	4.337	0.013
3	rGO- Fe_3O_4 (1:2) wt%	32.673	3.314	0.013
4	rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt%	25.832	2.623	0.013

Penelitian ini menggunakan bahan *magnetite* (Fe_3O_4) memiliki ukuran rata-rata partikel sebesar 66.96 μm . Ukuran partikel yang besar (mikrometer) terdiri dari domain jamak yang memiliki momen-momen magnetik tertentu yang berbeda arah setiap domainnya. Ketika partikel Fe_3O_4 diberi medan magnet luar (H), momen-momen magnetik akan berusaha meyearahkan sesuai dengan arah garis gaya magnet luar tersebut. Akibatnya, semakin banyak momen magnetik yang tidak searah, energi yang dibutuhkan untuk memagnetisasi menjadi lebih besar. Hal ini mengakibatkan magnetisasi saturasi (M_s) meningkat (Sunaryono et al., 2013).

Pada Tabel 4 diketahui sampel Fe_3O_4 memiliki sifat kemagnetan yang tinggi karena memiliki konsentrasi bahan magnetik sebesar 100%. Tingginya nilai

magnetisasi saturasi pada sampel Fe_3O_4 menunjukkan semakin banyak kandungan bahan magnetik, maka kemampuan partikel untuk mempertahankan arah domain-domain magnetiknya sangat besar, sehingga dibutuhkan medan magnet luar (H) yang cukup besar pula untuk dapat menyearahkan domain-domain tersebut. Sebaliknya, konsentrasi bahan magnetik yang lebih rendah dalam komposit menunjukkan jumlah domain-domain magnetik lebih sedikit sehingga domain-domain magnetiknya lebih mudah untuk disearahkan oleh medan magnet luar (H).

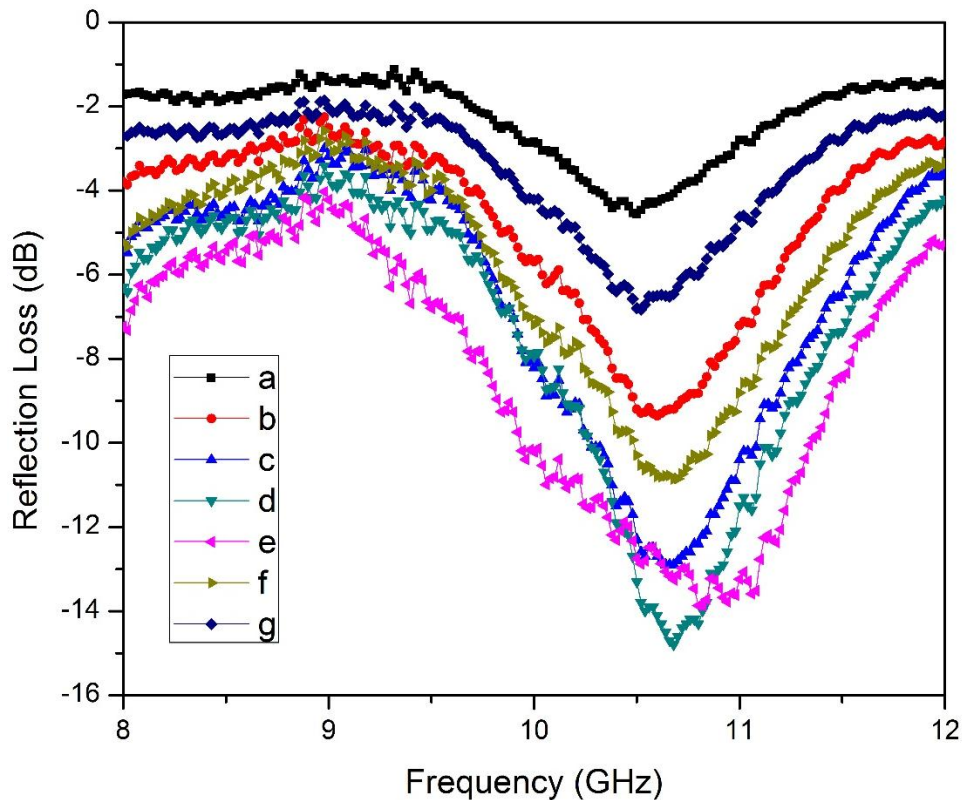
Pengujian sifat magnetik ini juga menunjukkan penurunan sifat kemagnetan pada mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 yang disebabkan adanya penambahan bahan rGO (Prasad et al., 2017). RGO adalah bahan non-magnetik yang memiliki konduktivitas listrik sebesar 2.16×10^{-7} S/m (berdasarkan pengukuran LCR Meter), sehingga memiliki momen magnetik lebih lemah jika dibandingkan dengan Fe_3O_4 . Oleh karena itu, penambahan rGO pada Fe_3O_4 dapat mengurangi efek induktif dari medan magnet luar (Zhu et al., 2017). Alasan lain yang menyebabkan penurunan sifat kemagnetan ini yaitu partikel rGO yang melingkupi partikel Fe_3O_4 akan mengurangi interaksi dipol magnetik antar partikel magnetik yang berdekatan.

Pada penelitian ini, material magnetik dapat diklasifikasikan kedalam material bersifat magnet lunak, karena memiliki medan koersivitasnya (H_c) kecil sehingga dihasilkan luasan kurva yang kecil (kurus) (Fiorillo et al., 1999). Luasan kurva tersebut menandakan bahwa besarnya energi yang diperlukan untuk magnetisasi cukup kecil. Beberapa sampel yang telah dilakukan pengujian menunjukkan nilai koersivitas (H_c) yang hampir sama, menandakan bahwa sampel-sampel tersebut memiliki sifat kemagnetan yang sama yaitu magnet lunak.

Karakterisasi sifat magnetik pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Zong et al., (2013) yang menyatakan bahwa magnetisasi saturasi (M_s) dan magnetisasi remanen (M_r) meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi Fe_3O_4 . Meskipun penelitian ini menggunakan bahan mikropartikel rGO- Fe_3O_4 dari bahan alam, namun sifat kemagnetannya dapat bersaing dengan bahan nanopartikel rGO- Fe_3O_4 (Chen et al., 2014).

4.7 Analisis Penyerapan Gelombang Radar

Karakterisasi sifat penyerapan rGO-Fe₃O₄ terhadap gelombang radar dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) pada range frekuensi X-band (8-12 GHz). *Reflection loss* dari suatu material dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5. Berikut merupakan hasil pengukuran penyerapan gelombang radar menggunakan VNA.



Gambar 4.9 *Reflection Loss* dengan ketebalan 2 mm pada (a) Fe₃O₄, (b) rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt%, (c) rGO-Fe₃O₄ (2:1) wt%, (d) rGO-Fe₃O₄ (3:1) wt%, (e) rGO, (f) rGO-Fe₃O₄ (1:2) wt% dan (g) rGO-Fe₃O₄ (1:3) wt%

Gambar 4.9 merupakan pola grafik RL dari hasil karakterisasi VNA pada ketebalan 2 mm. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan sampel yang memiliki *reflection loss* optimum pada sampel rGO-Fe₃O₄ (3:1) wt% sebesar -14.30 dB pada frekuensi 10.5 GHz. Sampel rGO sebesar -12.98 dB, rGO-Fe₃O₄ (2:1) wt% sebesar -12.67 dB, rGO-Fe₃O₄ (1:2) wt% sebesar -10.67 dB, rGO-Fe₃O₄ (1:1) wt% sebesar -8.95, rGO-Fe₃O₄ (1:3) wt% sebesar -6.39 dB dan Fe₃O₄ sebesar -4.25 dB

pada frekuensi 10.42 GHz yang berada pada rentang frekuensi 10.15-10.73 GHz. Penyerapan gelombang radar pada sampel dapat dilihat berdasarkan nilai *reflection loss*, semakin besar nilai negatif *reflection loss* menunjukkan semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang radar (Phang et al., 2008). Data *reflection loss* secara lengkap dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5 *Reflection Loss* rGO-Fe₃O₄

Sampel	RL Maks (dB)	Frekuensi Pas, fm (GHz)	Lebar pita (GHz) f1-f2	Δf (RL \leq -20 dB)
Fe ₃ O ₄	-4.25	10.42	10.15-10.73	0.58
rGO-Fe ₃ O ₄ (1:1) wt%	-8.95	10.15	10.15-10.73	
rGO-Fe ₃ O ₄ (2:1) wt%	-12.67	10.15	10.15-10.73	
rGO-Fe ₃ O ₄ (3:1) wt%	-14.30	10.15	10.15-10.73	
rGO	-12.98	10.15	10.15-10.73	
rGO-Fe ₃ O ₄ (1:2) wt%	-10.67	10.15	10.15-10.73	
rGO-Fe ₃ O ₄ (1:3) wt%	-6.05	10.15	10.15-10.73	

Berikut merupakan tabel perhitungan prosentase gelombang refleksi, transmisi atau absorpsi.

Tabel 4.6 Prosentase gelombang refleksi, absorpsi dan transmisi.

SAMPEL (%)	RL (dB)	LOG (Γ)	Γ	Refleksi (%)	Absorpsi (%)
Fe ₃ O ₄	-4.25	-0.21	0.61	61.27	38.73
rGO-Fe ₃ O ₄ (1:1)	-8.95	-0.45	0.36	35.69	64.31
rGO-Fe ₃ O ₄ (2:1)	-12.67	-0.63	0.23	23.26	76.74
rGO-Fe ₃ O ₄ (3:1)	-14.30	-0.72	0.19	19.28	80.72
rGO	-12.98	-0.65	0.22	22.44	77.56
rGO-Fe ₃ O ₄ (1:2)	-10.67	-0.53	0.29	29.28	70.72
rGO-Fe ₃ O ₄ (1:3)	-6.39	-0.32	0.48	47.92	52.08

Sifat penyerapan gelombang radar dipengaruhi oleh sifat dielektrik dan sifat magnetik material. Pada penelitian ini menggunakan bahan dielektrik dari arang bambu Petung yang disintesis menjadi *reduced graphene oxide* (rGO) yang berfungsi untuk mengubah gelombang radar menjadi energi panas melalui mekanisme polarisasi arah medan listrik. Ketika medan listrik berubah-ubah terhadap waktu, maka polarisasi juga berubah sehingga terjadi gesekan antara molekul yang mengakibatkan timbulnya panas (Z. Wang et al., 2016). Pada penelitian ini juga menggunakan bahan magnetik yang berasal dari pasir besi Lumajang yang disintesis menjadi bahan *magnetite* (Fe_3O_4) yang berfungsi untuk menyerap gelombang radar melalui mekanisme interaksi dipol-dipol magnetik. Ketika terjadi keadaan momen dipol magnetik yang berinteraksi dari tingkat energi rendah ke tingkat energi lebih tinggi pada semua interaksi dipol magnetik, berupa perputaran arah dipol magnet, maka dibutuhkan energi yang sesuai dengan masing-masing interaksi dipol magnetik. Interaksi momen dipol magnetik ini kemudian menimbulkan beda potensial yang berbeda sesuai dengan jarak masing-masing momen dipol yang berinteraksi, sehingga menghasilkan tingkat penyerapan gelombang mikro yang berbeda (Mashuri, 2012).

Berdasarkan pengukuran *reflection loss* dan perhitungan penyerapan gelombang pada orde mikro, diketahui bahwa tingkat penyerapan gelombang Fe_3O_4 sangat kecil yaitu sebesar -4.25 dB atau memiliki prosentase penyerapan sebesar 38.73 %. Secara umum, hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen et al., (2014), Huang et al., (2016) dan Ma et al., (2013) yang menunjukkan bahwa nilai RL mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 lebih tinggi dari pada Fe_3O_4 . Menurut penelitian yang dilakukan Chen (2014), kontribusi Fe_3O_4 murni terhadap penyerapan gelombang sangat kecil karena tingginya permitivitas rGO- Fe_3O_4 yang mempengaruhi *impedance matching* (kesesuaian impedansi) sehingga menghasilkan refleksi yang kuat dan penyerapan yang lemah.

Fenomena *reflection loss* juga dipengaruhi oleh keberadaan rGO sebagai bahan non-magnetik yang bersifat konduktif yang memiliki konduktivitas listrik sebesar 2.16×10^{-7} S/m (berdasarkan pengukuran LCR Meter). Pengukuran *reflection loss* pada rGO menunjukkan tingkat penyerapan gelombang radar sebesar -12.98 dB pada frekuensi 10.15 GHz, sedangkan Fe_3O_4 memiliki *reflection loss* sebesar

sebesar -4.25 dB pada frekuensi 10.42 GHz. Frekuensi pass yang tinggi pada Fe_3O_4 menunjukkan perlu adanya energi yang besar untuk mengubah arah momen dipol magnetik, sedangkan frekuensi pass yang rendah pada rGO menunjukkan dibutuhkan energi yang kecil untuk merubah arah momen dipol listrik sehingga timbul adanya polarisasi. Dengan menggunakan pendekatan ini, maka rGO lebih mudah menyerap gelombang radar daripada Fe_3O_4 atau dengan kata lain *dielectric loss* lebih dominan daripada *magnetic loss*.

Selain konsep *dielectric loss* dan *magnetic loss*, konsep penting lain yang berkaitan dengan penyerapan gelombang radar sangat bergantung pada permitivitas relatif dan permeabilitas yang saling melengkapi (Chen et al., 2009). Menurut teori gelombang EM, permitivitas relatif dan permeabilitas diharuskan memiliki nilai yang sama agar memungkinkan terjadinya mekanisme refleksi nol atau tidak ada gelombang yang dipantulkan (Huang et al., 2016). Permitivitas adalah ukuran medan listrik yang mempengaruhi media dielektrik, sedangkan permeabilitas adalah derajat magnetisasi yang terkandung pada material.

Bahan *magnetite* (Fe_3O_4) memiliki ukuran kristalin yang besar yaitu sekitar 66.96 μm . Ukuran partikel terkait dengan luas permukaan, semakin besar ukuran partikel semakin kecil luas permukaan. Luasan permukaan yang kecil akan menyebabkan kontak antara dipol-dipol magnetik dengan gelombang datang menjadi kecil, sehingga penyerapan energi gelombang radar oleh momen dipol magnetik menjadi kecil. Pengukuran *reflection loss* pada Fe_3O_4 murni menunjukkan penyerapan yang rendah. Hal ini membuktikan kontribusi *magnetic loss* pada penyerapan gelombang radar sangat kecil (Chen et al., 2014). Untuk meningkatkan penyerapan gelombang (EM) elektromagnetik berbasis bahan magnetik, bahan absorber harus memiliki permeabilitas awal yang tinggi. Permeabilitas dapat dioptimalkan dengan meningkatkan magnetisasi atau mengurangi koersivitas (Saini et al., 2012 dan Saini et al., 2015).

Berdasarkan pengukuran *reflection loss* juga diketahui terdapat peningkatan penyerapan gelombang radar terjadi pada sampel mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 . Penyerapan gelombang radar tertinggi terjadi pada sampel rGO- Fe_3O_4 (3:1) wt% sebesar -14.30 dB atau prosentase absorpsi sebesar 80.72 % (tabel 4.6) dari total

gelombang yang datang. Hal ini diindikasikan karena adanya penambahan bahan rGO yang memiliki *dielectric loss* yang tinggi (Liu et al., 2016), sehingga meningkatkan penyerapan gelombang radar pada Fe₃O₄ (Chen et al., 2014).

Mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ memiliki sifat *dielectric loss* dan *magnetic loss* yang saling melengkapi, sehingga membantu meningkatkan *impedance match* (kesesuaian impedansi). Faktor inilah yang menyebabkan rGO-Fe₃O₄ memiliki penyerapan gelombang radar yang kuat dibandingkan Fe₃O₄ maupun rGO. Peningkatan penyerapan gelombang radar rGO-Fe₃O₄ ditunjukkan dengan nilai negatif *reflection loss*-nya yang tinggi. Hasil pengukuran *reflection loss* mikrokomposit rGO-Fe₃O₄ sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Xu et al., (2012), Ma et al., (2013), Sun et al., (2013), Zong et al., (2013) dan Xue et al., (2014) yang menunjukkan perpaduan bahan karbon graphene dengan bahan magnetik dapat meningkatkan sifat penyerapan gelombang (EM) elektromagnetik karena dapat meningkatkan *impedance match* (kesesuaian impedansi).

Berikut merupakan perbandingan penyerapan gelombang radar rGO-Fe₃O₄ berorde mikro dengan beberapa penelitian yang memiliki orde nano.

Tabel 4.7 Perbandingan penyerapan gelombang radar rGO-Fe₃O₄ dengan beberapa literatur.

SAMPEL	Komposisi (Fe wt%)	Ukuran Partikel (nm)	Ketebalan (mm)	RL (dB)	Frekuensi (GHz)	Absorpsi (%)
rGO-Fe ₃ O ₄	10	10-40	2.0	-22.2 [1]	17.3	92.24
rGO-Fe ₃ O ₄	50	15-25	3.9	-44.6 [2]	6.6	99.41
rGO-Fe ₃ O ₄	40	5-10	2.0	-9.2 [3]	15.2	65.33
rGO-Fe ₃ O ₄	30	395	2.0	-24.0 [4]	12.9	93.69
rGO-Fe ₃ O ₄ this work	25	66.96 μm	2.0	-14.30	10.42	80.72

[1] Ma et al., 2013

[2] Zong et al., 2013

[3] Chen et al., 2014

[4] Xu et al., 2012

Berdasarkan hasil perbandingan *reflection loss* rGO-Fe₃O₄ dengan beberapa literatur menunjukkan bahwa rGO-Fe₃O₄ yang disintesis dari bambu Petung dan pasir besi berorde mikro memiliki nilai RL yang cukup besar dan prosentase penyerapan yang cukup tinggi yaitu -14.30 dB dan 80.72 %. Penelitian ini memiliki hasil yang mendekati dengan penelitian-penelitian yang menggunakan bahan rGO-Fe₃O₄ dari bahan komersial serta berorde nanopartikel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan alam bambu Petung dan pasir besi dengan menggunakan metode sintesis yang mudah, dapat digunakan sebagai bahan penyerap gelombang radar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. RGO dapat disintesis dari bahan dasar bambu Petung menggunakan metode karbonisasi, sedangkan Fe_3O_4 dapat disintesis dari bahan dasar pasir besi menggunakan metode separasi magnet permanen.
- 2.a Bahan karbon rGO memiliki *reflection loss* (RL) sebesar -12.98 dB pada frekuensi 10.15 GHz, sedangkan bahan magnetit (Fe_3O_4) memiliki *reflection loss* (RL) sebesar -4.25 dB pada frekuensi 10.42 GHz. Frekuensi pass yang tinggi pada Fe_3O_4 menunjukkan perlu adanya energi yang besar untuk mengubah arah momen dipol magnetik, sedangkan frekuensi pass yang rendah pada rGO menunjukkan dibutuhkan energi yang kecil untuk merubah arah momen dipol listrik. Oleh karena itu, *dielektric loss* pada rGO lebih dominan daripada *magnetic loss* pada Fe_3O_4 .
- 2.b Mikrokomposit rGO- Fe_3O_4 (3:1) wt% dengan ketebalan 2 mm memiliki *reflection loss* (RL) paling ideal sebesar -14.30 dB pada frekuensi 10.15 GHz. Nilai RL ini lebih tinggi dibandingkan dengan sampel lain seperti rGO- Fe_3O_4 (2:1) wt% dengan RL sebesar -12.67 dB, rGO- Fe_3O_4 (1:1) wt% dengan RL sebesar -8.95 dB, rGO- Fe_3O_4 (1:2) wt% dengan RL sebesar -10.67 dB dan rGO- Fe_3O_4 (1:3) wt% dengan RL sebesar -6.39 dB.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dengan menambahkan cat pelapis untuk diaplikasikan pada material penyerap gelombang radar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Bakar, M., Tan, W.L. and Abu Bakar, N.H.H. (2007), "A simple synthesis of size-reduce magnetite nano-crystals via aqueous to toluene phase-transfer method", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 314 No. 1, pp. 1–6.
- Berenger, J.-P. (1994), "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves", *Journal of Computational Physics*, Vol. 114 No. 2, pp. 185–200.
- Browne, F. L. 2000. "*Theories of the Combustion of Wood and its Control*". No:2136, University of Wisconsin.
- Chae, H.S., Kim, S.D., Piao, S.H. and Choi, H.J. (2016), "Core-shell structured Fe₃O₄@SiO₂ nanoparticles fabricated by sol-gel method and their magnetorheology", *Colloid and Polymer Science*, Vol. 294 No. 4, pp. 647–655.
- Che, R.C., Peng, L.-M., Duan, X.F., Chen, Q. and Liang, X.L. (2004), "Microwave Absorption Enhancement and Complex Permittivity and Permeability of Fe Encapsulated within Carbon Nanotubes", *Advanced Materials*, Vol. 16 No. 5, pp. 401–405.
- Chen, T., Qiu, J., Zhu, K., Che, Y., Zhang, Y., Zhang, J., Li, H., et al. (2014), "Enhanced electromagnetic wave absorption properties of polyaniline-coated Fe₃O₄/reduced graphene oxide nanocomposites", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 25 No. 9, pp. 3664–3673.
- Chen, Y.J., Gao, P., Zhu, C.L., Wang, R.X., Wang, L.J., Cao, M.S. and Fang, X.Y. (2009), "Synthesis, magnetic and electromagnetic wave absorption properties of porous Fe₃O₄/Fe/SiO₂ core/shell nanorods", *Journal of Applied Physics*, Vol. 106 No. 5, p. 054303.
- Cheremisinoff, P. N., Cheremisinoff, N. P. 1993. "*Water Treatment and Waste Recovery*". New Jersey: Prentice hall, Englewood Cliffs.
- Cullity, B. D.(1972). *Introduction to magnetic materials*. Addison-Wesley Series in metalurgi and materials, University of Notre Dame.
- Ding, H.L., Zhang, Y.X., Wang, S., Xu, J.M., Xu, S.C. and Li, G.H. (2012), "Fe₃O₄@SiO₂ Core/Shell Nanoparticles: The Silica Coating Regulations with a Single Core for Different Core Sizes and Shell Thicknesses", *Chemistry of Materials*, Vol. 24 No. 23, pp. 4572–4580.
- Feng, Y.B., Qiu, T. and Shen, C.Y. (2007), "Absorbing properties and structural design of microwave absorbers based on carbonyl iron and barium ferrite", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 318 No. 1–2, pp. 8–13.
- Fiorillo, F., Bertotti, G., Appino, C. and Pasquale, M. (1999), "Soft Magnetic Materials", *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp. 1–42.
- Fu, C., Zhao, G., Zhang, H. and Li, S. (2013), "Evaluation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Nanosheets as Anode Materials for Lithium-Ion Batteries", *Int. J. Electrochem. Sci.*, Vol. 8, p. 12.
- Ghandoor, H.E., Zidan, H.M., Khalil, M.M.H. and Ismail, M.I.M. (2012), "Synthesis and Some Physical Properties of Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticles", *Int. J. Electrochem. Sci.*, Vol. 7, p. 12.

- Huang, Y., Ding, X., Li, S., Zhang, N. and Wang, J. (2016), "Magnetic reduced graphene oxide nanocomposite as an effective electromagnetic wave absorber and its absorbing mechanism", *Ceramics International*, Vol. 42 No. 15, pp. 17116–17122.
- Kangal, Serkan. 2013. "Development of Radar Absorbing Composite Structures". Thesis of Engineering and Science of İzmir Institute of Technology.
- Khasanah, Qodri Fitrotul. 2012. "Efek Substitusi Parsial Ion La Pada Material Sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O}_6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ Terhadap Sifat Absorpsi Gelombang Mikro". Depok: Tesis pada program studi material UI.
- Kim, S.-S., Yoon, Y.-C. and Kim, K.-H. (2003), "Electromagnetic Wave Absorbing Properties of High-Permittivity Ferroelectrics Coated with ITO Thin Films of 377", p. 7.
- Knott, Eugene F, John F Shaeffer, and Michael T Tuley. 2004. *Radar Cross Section*. Christmant, J. Rhicard (1988). *Fundamental of solid state physics*. John Willey & Sons, Canada, pp: 369-371
- Liu, J., Che, R., Chen, H., Zhang, F., Xia, F., Wu, Q. and Wang, M. (2012), "Microwave Absorption Enhancement of Multifunctional Composite Microspheres with Spinel Fe_3O_4 Cores and Anatase TiO_2 Shells", *Small*, Vol. 8 No. 8, pp. 1214–1221.
- Liu, J., Itoh, M., Terada, M., Horikawa, T. and Machida, K. (2007), "Enhanced electromagnetic wave absorption properties of Fe nanowires in gigahertz range", *Applied Physics Letters*, Vol. 91 No. 9, p. 093101.
- Liu, P., Huang, Y., Yan, J. and Zhao, Y. (2016), "Magnetic graphene@PANI@porous TiO_2 ternary composites for high-performance electromagnetic wave absorption", *Journal of Materials Chemistry C*, Vol. 4 No. 26, pp. 6362–6370.
- Ma, E., Li, J., Zhao, N., Liu, E., He, C. and Shi, C. (2013), "Preparation of reduced graphene oxide/ Fe_3O_4 nanocomposite and its microwave electromagnetic properties", *Materials Letters*, Vol. 91, pp. 209–212.
- Mashuri, 2012. "Partikel Nano $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ Berbahan Baku Fe_3O_4 dari Pasir Besi sebagai Bahan Penterap Gelombang Mikro pada Frekuensi Tinggi." Disertasi Program Doktor Jurusan Fisika Fakultas FMIPA ITS tahun 2012.
- Meshram, M., Agrawal, N.K., Sinha, B. and Misra, P.. (2004), "Characterization of M-type barium hexagonal ferrite-based wide band microwave absorber", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 271 No. 2–3, pp. 207–214.
- Morisco. 1999. "Rekayasa Bambu". Yogyakarta :Nafiri Offset.
- Mustafa, S. (2007). "KARAKTERISTIK SIFAT FISIKA DAN MEKANIKA BAMBU PETUNG PADA BAMBU MUDA, DEWASA DAN TUA (STUDI KASUS : BAGIAN PANGKAL)", p. 15.
- Narayanan, T.N., Liu, Z., Lakshmy, P.R., Gao, W., Nagaoka, Y., Sakthi Kumar, D., Lou, J., et al. (2012), "Synthesis of reduced graphene oxide– Fe_3O_4 multifunctional freestanding membranes and their temperature dependent electronic transport properties", *Carbon*, Vol. 50 No. 3, pp. 1338–1345.
- Nicolaescu, I. (2016). "Radar absorbing materials used for target camouflage", p. 6.

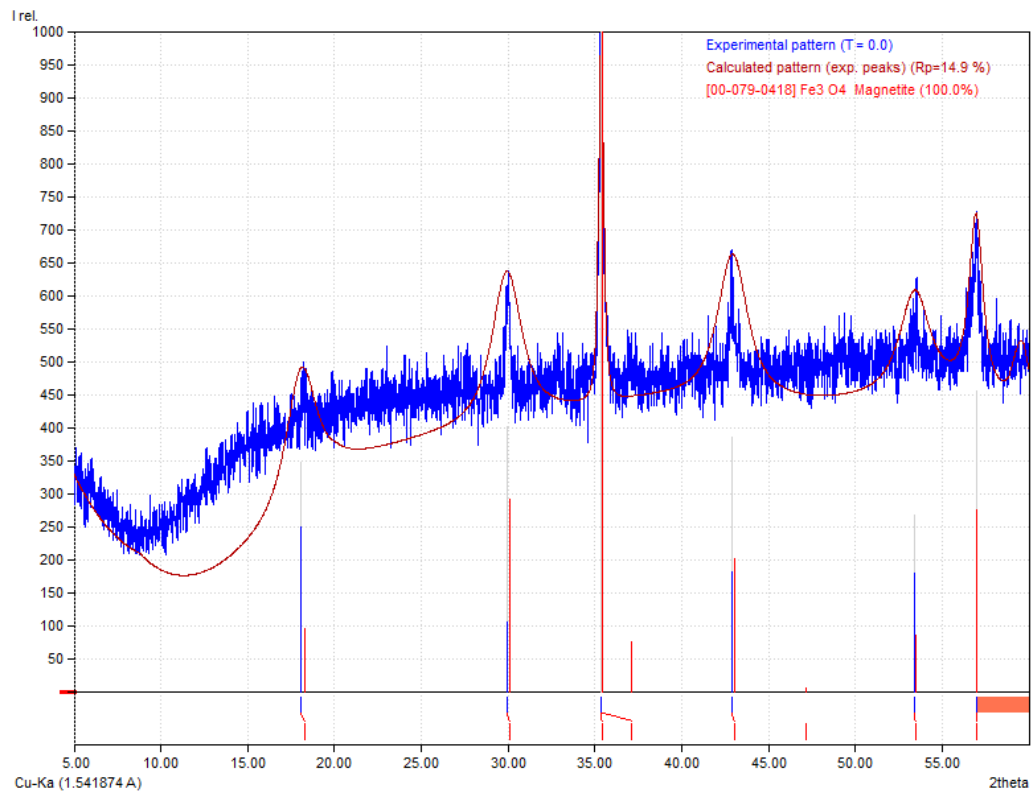
- Noverita. 2009. "Tingkat Degradasi Bambu Kuning (*Bambusa Vulgaris Scard Var. Vitata*) dan Bambu Hijau (*Bambusa Vulgaris Schard Var. Vulgaris*) oleh Jamur". Jakarta: Jurnal Penelitian Fakultas Biologi Universitas Nasional Jakarta.
- Nuzully, S., Kato, T. and Iwata, S. (2013), "Pengaruh Konsentrasi Polyethylene glycol (PEG) pada Sifat Kemagnetan Nanopartikel Magnetik PEG-Coated Fe₃O₄", No. 51, p. 6.
- Oh, J.-H., Oh, K.-S., Kim, C.-G. and Hong, C.-S. (2004), "Design of radar absorbing structures using glass/epoxy composite containing carbon black in X-band frequency ranges", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 35 No. 1, pp. 49–56.
- Park, K.-Y., Han, J.-H., Lee, S.-B., Kim, J.-B., Yi, J.-W. and Lee, S.-K. (2009), "Fabrication and electromagnetic characteristics of microwave absorbers containing carbon nanofibers and NiFe particles", *Composites Science and Technology*, Vol. 69 No. 7–8, pp. 1271–1278.
- Phang, S.W., Tadokoro, M., Watanabe, J. and Kuramoto, N. (2008), "Synthesis, characterization and microwave absorption property of doped polyaniline nanocomposites containing TiO₂ nanoparticles and carbon nanotubes", *Synthetic Metals*, Vol. 158 No. 6, pp. 251–258.
- Pinho, M.S., Gregori, M.L., Nunes, R.C.R. and Soares, B.G. (2002), "Performance of radar absorbing materials by waveguide measurements for X- and Ku-band frequencies", *European Polymer Journal*, Vol. 38 No. 11, pp. 2321–2327.
- Prasad, C., Murthy, P.K., Krishna, R.H., Rao, R.S., Suneetha, V. and Venkateswarlu, P. (2017), "Bio-inspired green synthesis of RGO/Fe₃O₄ magnetic nanoparticles using *Murrayakoenigii* leaves extract and its application for removal of Pb(II) from aqueous solution", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 5 No. 5, pp. 4374–4380.
- Rahman, N.A., Widhiana, I., Juliastuti, S.R. and Setyawan, H. (2015), "Synthesis of mesoporous silica with controlled pore structure from bagasse ash as a silica source", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 476, pp. 1–7.
- Rampe, M.J.dkk. 2010. "The Effect of Temperature on the Crystal Growth of Coconut Shell Carbon". Yogyakarta: UGM.
- Saville, P., Huber, T. and Makeiff, D. (2005). "Fabrication of Organic Radar Absorbing Materials", p. 314.
- Rosa, I.M.D., Dinescu, A., Sarasini, F., Sarto, M.S. and Tamburrano, A. (2010), "Effect of short carbon fibers and MWCNTs on microwave absorbing properties of polyester composites containing nickel-coated carbon fibers", *Composites Science and Technology*, Vol. 70 No. 1, pp. 102–109.
- Saini, P. (2015), "Intrinsically Conducting Polymer-Based Blends and Composites for Electromagnetic Interference Shielding: Theoretical and Experimental Aspects", in Saini, P. (Ed.), *Fundamentals of Conjugated Polymer Blends, Copolymers and Composites*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp. 449–518.
- Saini, P., Choudhary, V., Vijayan, N. and Kotnala, R.K. (2012), "Improved Electromagnetic Interference Shielding Response of Poly(aniline)-Coated

- Fabrics Containing Dielectric and Magnetic Nanoparticles”, *The Journal of Physical Chemistry C*, Vol. 116 No. 24, pp. 13403–13412.
- Salamah, Siti. 2008. "Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Buah Mahoni dengan Perlakuan Peredaman dalam Larutan KOH". Prosiding seminar nasional teknoin bidang teknik kimia dan tekstil.
- Sholihah, L.K. (2010). “SINTESIS DAN KARAKTERISTIK PARTIKEL NANO Fe₃O₄ YANG BERASAL DARI PASIR BESI DAN Fe₃O₄ BAHAN KOMERSIAL (ALDRICH)”, p. 15.
- Skoog, D.A., Holler, F.J. and Crouch, S.R. (2007), *Principles of Instrumental Analysis*, 6th ed., Thomson Brooks/Cole, Belmont, CA.
- Stuart, B.H. (2004). “Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications”, p. 208.
- Suhartaato, G.Sumarni, dan A. Ismanto. 2000.”Sari Hasil Penelitian Bambu”. Jakarta :Departemen Kehutanan.
- Sun, X., He, J., Li, G., Tang, J., Wang, T., Guo, Y. and Xue, H. (2013), “Laminated magnetic graphene with enhanced electromagnetic wave absorption properties”, *J. Mater. Chem. C*, Vol. 1 No. 4, pp. 765–777.
- Sunaryono, Taufiq, A., Mashuri, Pratapa, S., Zainuri, M., Triwikantoro and Darminto. (2015), “Various Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles Synthesized from Iron-Sands by Coprecipitation Method at Room Temperature”, *Materials Science Forum*, Vol. 827, pp. 229–234.
- Teja, A.S. and Koh, P.-Y. (2009), “Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles”, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, Vol. 55 No. 1–2, pp. 22–45.
- Tung, V.C., Allen, M.J., Yang, Y. and Kaner, R.B. (2009), “High-throughput solution processing of large-scale graphene”, *Nature Nanotechnology*, Vol. 4 No. 1, pp. 25–29.
- Wang, C., Han, X., Xu, P., Zhang, X., Du, Y., Hu, S., Wang, J., et al. (2011), “The electromagnetic property of chemically reduced graphene oxide and its application as microwave absorbing material”, *Applied Physics Letters*, Vol. 98 No. 7, p. 072906.
- Won-Jun L, Sang-Eui L, Chun-Gon K. 2005. “*Tensile & Electrical Properties Of Polypyrrole/Epoxy Composites For Radar Absorbing Materials*”. Fukugo Zairyo Shinpojiumu Koen Yoshishu 30: 25-26.
- Wu, K.H., Ting, T.H., Wang, G.P., Yang, C.C., Tsai, C.W.. 2008. “*Synthesis and microwave electromagnetic characteristics of bamboo charcoal/polyaniline composites in 2–40GHz*”. Synth. Met. 158, 688–694.
- Xu, H.-L., Bi, H. and Yang, R.-B. (2012), “Enhanced microwave absorption property of bowl-like Fe₃O₄ hollow spheres/reduced graphene oxide composites”, *Journal of Applied Physics*, Vol. 111 No. 7, p. 07A522.
- Xu, P., Han, X., Wang, C., Zhou, D., Lv, Z., Wen, A., Wang, X., et al. (2008), “Synthesis of Electromagnetic Functionalized Nickel/Polypyrrole Core/Shell Composites”, *The Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 112 No. 34, pp. 10443–10448.
- Xue, W., Zhao, R., Du, X., Xu, F., Xu, M. and Wei, K. (2014), “Graphene–Fe₃O₄ micro–nano scaled hybrid spheres: Synthesis and synergistic electromagnetic effect”, *Materials Research Bulletin*, Vol. 50, pp. 285–291.

- Zavoiura, O., Zaporozhets, O., Volovenko, O., Melnyk, I.V. and Zub, Y.L. (2015), "Silica-Coated Magnetite Nanoparticles Modified with 3-Aminopropyl Groups for Solid-Phase Extraction of Pd(II) Ions from Aqueous Solutions", *Adsorption Science & Technology*, Vol. 33 No. 3, pp. 297–306.
- Zhu, L., Zeng, X., Li, X., Yang, B. and Yu, R. (2017), "Hydrothermal synthesis of magnetic Fe₃O₄/graphene composites with good electromagnetic microwave absorbing performances", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 426, pp. 114–120.
- Zong, M., Huang, Y., Zhao, Y., Wang, L., Liu, P., Wang, Y. and Wang, Q. (2013), "One-pot simplified co-precipitation synthesis of reduced graphene oxide/Fe₃O₄ composite and its microwave electromagnetic properties", *Materials Letters*, Vol. 106, pp. 22–25.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN



Gambar 1 Search Match *Magnetite* (Fe₃O₄)

Entry # 00-079-0418

Phase classification

Name	Iron Oxide
Mineral Name	Magnetite
Formula	Fe ₃ O ₄
Pearson symbol	cF56
I/Ic	5.150000
Quality	C (calculated)

Bibliographic data

Publication

Reference , Calculated from ICSD using POWD-12++ 62, 75 (1997)

Crystal structure

Published crystallographic data

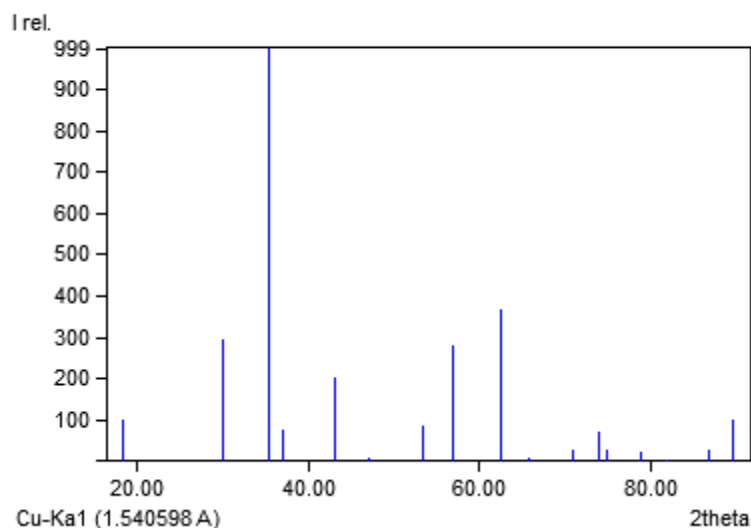
Space group	Fd-3m (227)
Crystal system	cubic
Cell parameters	a=8.398500 Å
Cell volume	592.390015 Å ³
Z	8

Diffraction data

Published diffraction lines

d [Å]	Int.	hkl	Remark
4.848880	97	1 1 1	
2.969320	293	2 2 0	
2.532240	999	3 1 1	
2.424440	77	2 2 2	
2.099630	202	4 0 0	
1.926750	6	3 3 1	
1.714340	86	4 2 2	
1.616290	277	3 3 3	
1.484660	367	4 4 0	
1.419610	8	5 3 1	
1.327920	28	6 2 0	
1.280760	69	5 3 3	
1.266120	29	6 2 2	
1.212220	22	4 4 4	
1.176030	4	7 1 1	
1.122300	29	6 4 2	
1.093390	101	7 3 1	

Diffraction pattern graphics



Experimental

Physical Properties

Calc. density 5.191000 g/cm³

Remarks

Remarks

General

At least one TF implausible..

ICSD collection code

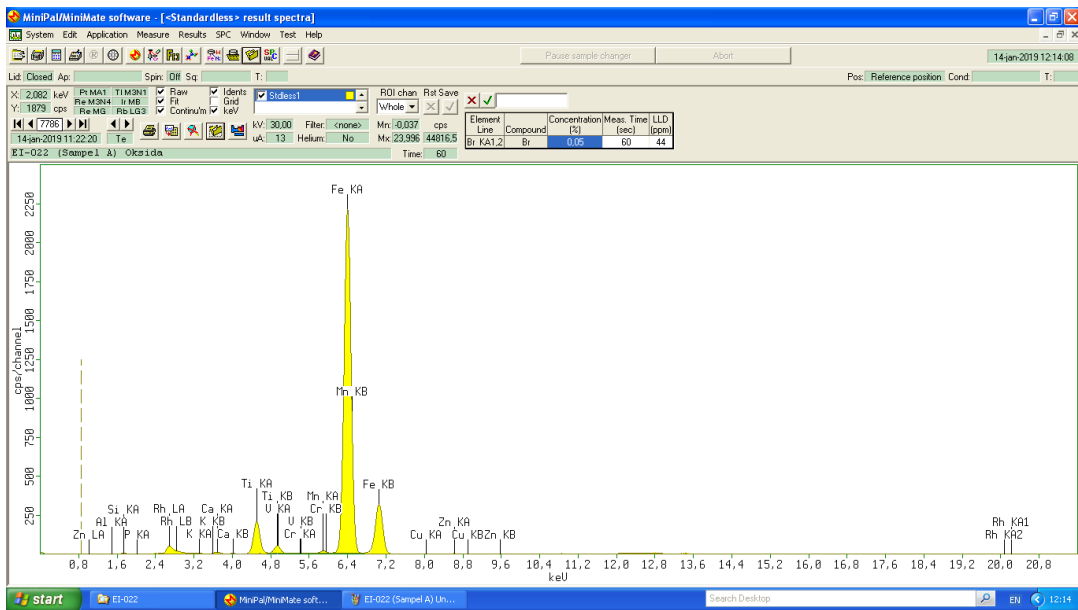
065340

Temperature factor

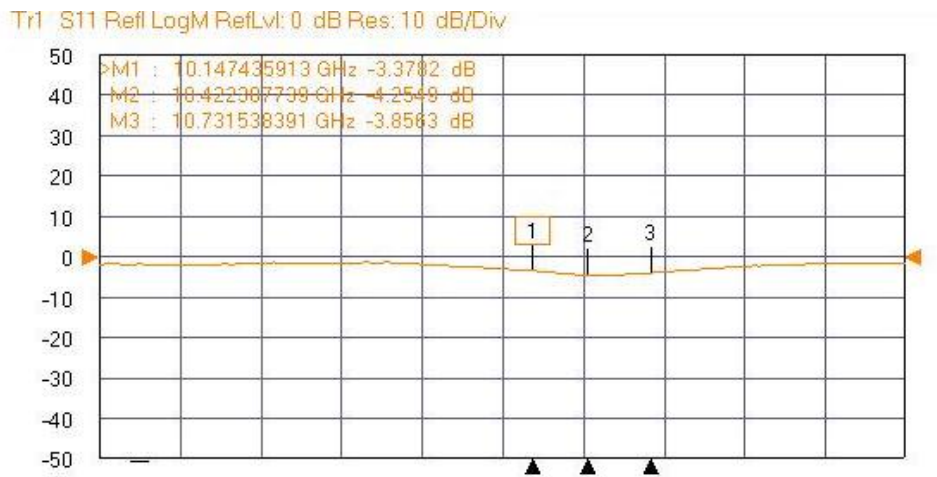
ATF

Copyright International Centre for Diffraction Data (ICDD)

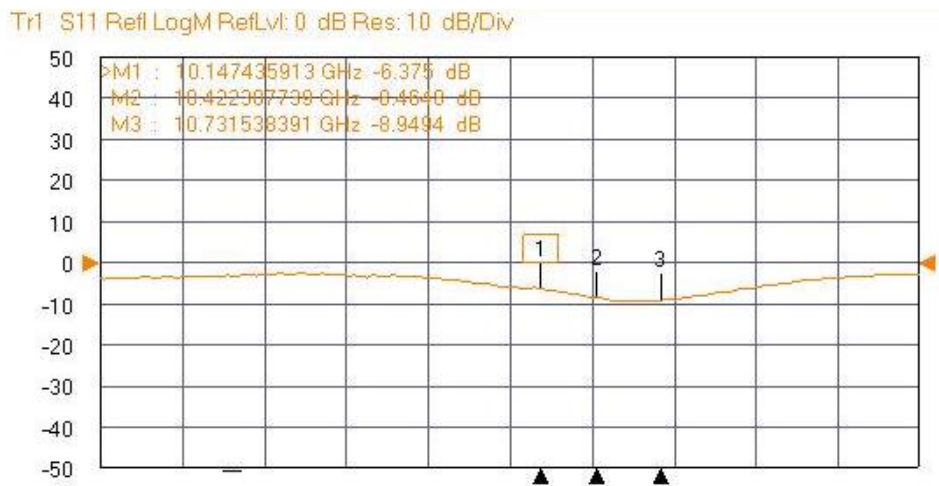
Gambar 2 COD Magnetite #00-079-0418



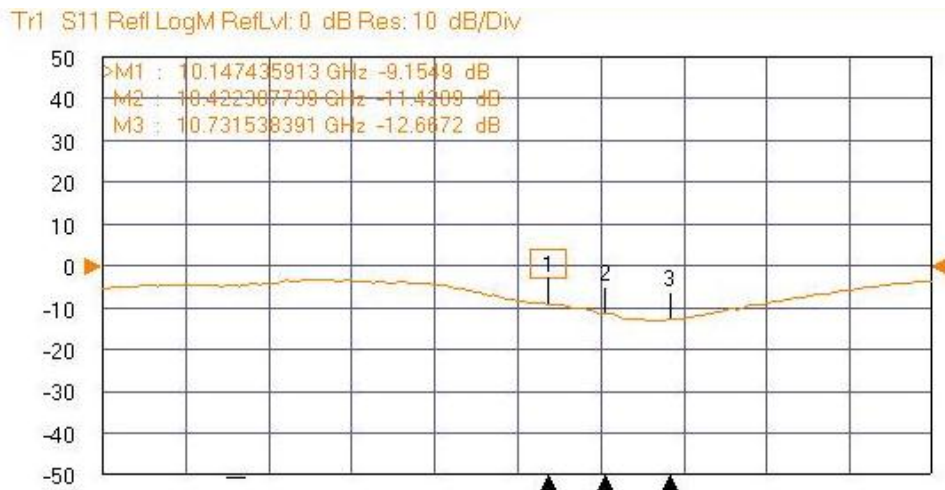
Gambar 3 Pengujian Komposisi Unsur Pada Pasir Besi Lumajang



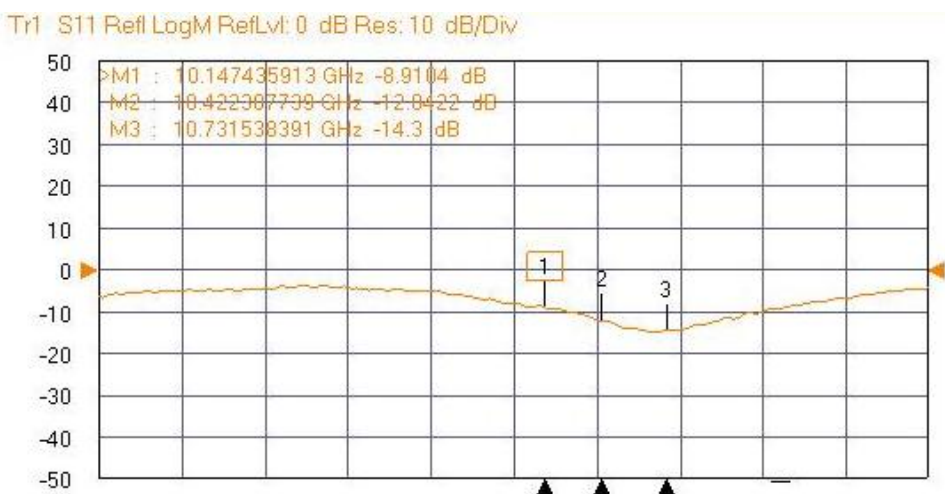
Gambar 4 Pengukuran Reflection Loss sampel Fe_3O_4



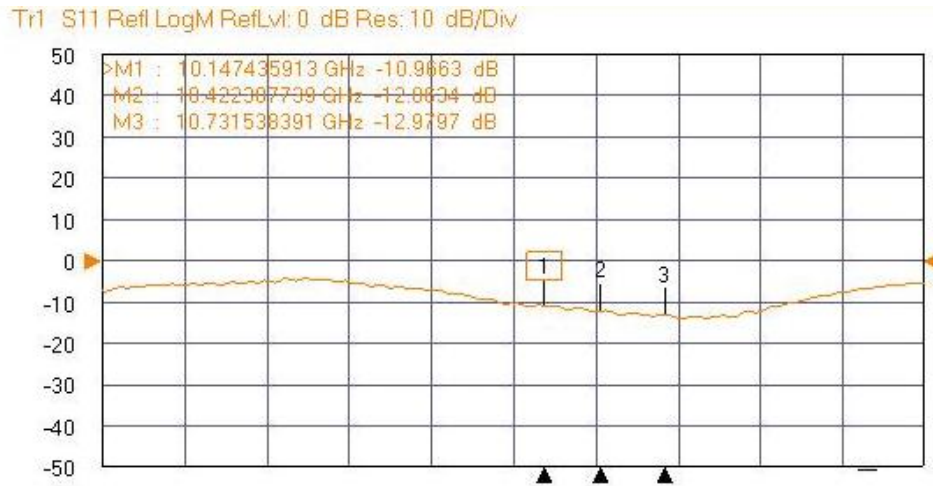
Gambar 5 Pengukuran Reflection Loss sampel rGO-Fe₃O₄ (1:1)



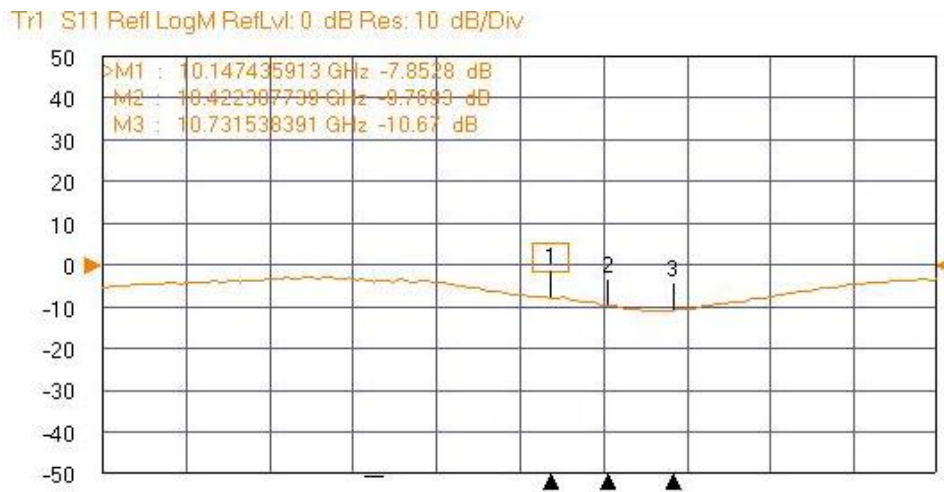
Gambar 6 Pengukuran Reflection Loss sampel rGO-Fe₃O₄ (2:1)



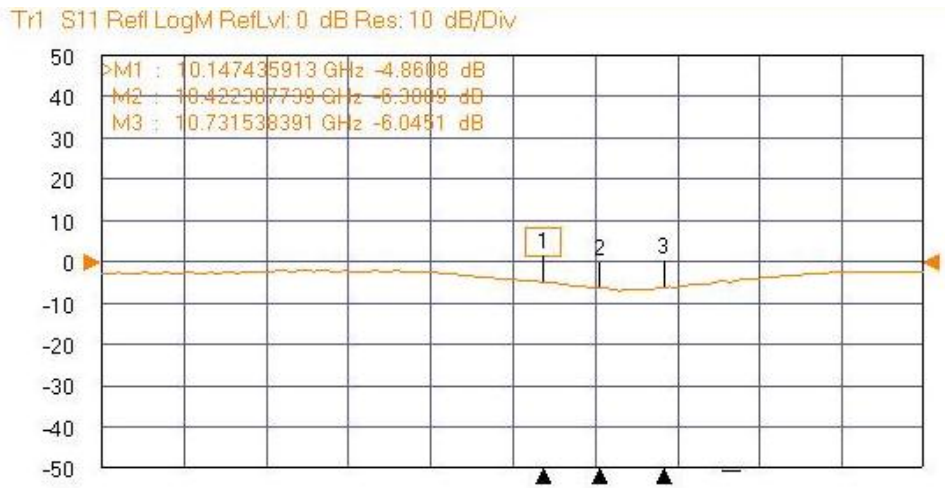
Gambar 6 Pengukuran Reflection Loss sampel rGO-Fe₃O₄ (3:1)



Gambar 7 Pengukuran Reflection Loss sampel rGO



Gambar 8 Pengukuran Reflection Loss sampel rGO-Fe₃O₄ (1:2)



Gambar 9 Pengukuran Reflection Loss sampel rGO-Fe₃O₄ (1:3)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan kelahiran Sanggau, 21 Januari 1994 bernama Adam Aswin Usman. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Aspar dan Ibu Dewi Khofifah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 71 Penyalimau Jaya, SMPN 3 Meliau dan SMAN 2 Sanggau. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, Penulis mengikuti SNMPTN Undangan dan diterima di prodi S1 Fisika FMIPA-UNESA. Kemudian pada tahun 2017 mengikuti pendaftaran S2 di Departemen Fisika Fakultas Sains-ITS melalui program mandiri dan terdaftar dengan NRP 01111750010002.

Penulis masuk ke bidang minat Fisika Material sejak jenjang S2 dengan topik penelitian material penyerap gelombang radar menggunakan bahan alam dibawah bimbingan Dr. Mashuri, M.Si. Selama menjalani kuliah, penulis juga memiliki kegiatan wirausaha berupa lesprivat dengan website www.lbbku.com. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail adamaswin@gmail.com.

