



TUGAS AKHIR - SF 141501

**KARAKTERISASI IMPEDANSI KOMPOSIT
ISOTROPIK PANi/BAM PADA PELAPISAN
DOUBLE LAYER SEBAGAI *RADAR ABSORBING
MATERIAL (RAM)***

**MUHAMMAD RIZKI ALFIRDAUS
NRP 1112 100 081**

**Dosen Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si.**

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - SF 141501

**IMPEDANCE CHARACTERIZATION OF
COMPOSITE ISOTROPIC PANi/BAM ON A
DOUBLE LAYER COATING AS RADAR
ABSORBING MATERIAL (RAM)**

**MUHAMMAD RIZKI ALFIRDAUS
NRP 1112 100 081**

**Advisor
Dr. M. Zainuri, M.Si.**

**Physics Departement
Faculty Matematics and Natural Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**KARAKTERISASI IMPEDANSI KOMPOSIT ISOTROPIK
PANI/BAM PADA PELAPISAN *DOUBLE LAYER* SEBAGAI
RADAR ABSORBING MATERIAL (RAM)**

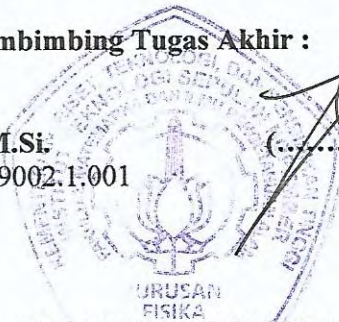
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MUHAMMAD RIZKI ALFIRDAUS
NRP. 1112 100 081

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. M. Zainuri, M.Si.
NIP. 19640130 199002.1.001



(Handwritten signature)
(.....)

SURABAYA, JUNI 2016

KARAKTERISASI IMPEDANSI KOMPOSIT ISOTROPIK PANi/BAM PADA PELAPISAN *DOUBLE LAYER* SEBAGAI *RADAR ABSORBING MATERIAL (RAM)*

Nama : Muhammad Rizki Alfirdaus
NRP : 1112100081
Jurusan : Fisika, FMIPA – ITS
Pembimbing : Dr. M. Zainuri, M.Si.

Abstrak

Karakterisasi impedansi komposit isotropik PANi/BAM pada pelapisan double layer sebagai Radar Absorbing Material (RAM) telah berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi nilai impedansi serta mengetahui kemampuan penyerapan gelombang mikro yang dihasilkan dari pelapisan double layer komposit PANi/BAM. BAM ($BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O_{19}$) berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi dan sintesis PANi dilakukan dengan metode polimerisasi in situ. Identifikasi fasa BAM dan PANi dilakukan dengan menggunakan XRD, sedangkan sifat kemagnetan material magnetik BAM diidentifikasi dengan menggunakan VSM dan diperoleh medan koersivitas sebesar 0,043 T. Karakterisasi impedansi dan kemampuan penyerapan terhadap gelombang mikro dilakukan dengan menggunakan VNA pada frekuensi X-Band. Berdasarkan hasil pengujian VNA, dihasilkan nilai impedansi dan rugi refleksi (RL) maksimum dari pelapisan P-PB, PB-P, B-PB serta PB-B berturut-turut yaitu 406,142 Ω , 478,438 Ω , 612,564 Ω serta 632,216 Ω dan -49,57 dB, -31,30 dB, -22,41 dB dan -22,07 dB. Pelapisan double layer komposit PANi/BAM sangat efektif diterapkan sebagai RAM pada rentang frekuensi X-Band, karena komposit PANi/BAM dapat meningkatkan kemampuan penyerapan serta dapat memperlebar pita penyerapan.

Kata kunci: *barium m-hexaferrite (BAM), double layer, impedansi, polianilin (PANi), radar absorbing material (RAM), rugi refleksi.*

IMPEDANCE CHARACTERIZATION OF COMPOSITE ISOTROPIC PANi/BAM ON A *DOUBLE LAYER* COATING AS RADAR ABSORBING MATERIAL (RAM)

Name : Muhammad Rizki Alfirmadaus
NRP : 1112100081
Major : Physics, FMIPA – ITS
Advisor : Dr. M. Zainuri, M.Si.

Abstract

Impedance of composite isotropic PANi/BAM on a double layer coating has been successful in characterization. This research has purpose to identify the value of impedance, and determine the ability of the microwaves absorption from double layer coating composite PANi/BAM. BAM (BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O₁₉) has been successfully synthesized by coprecipitation method and PANi was synthesized by in situ polymerization method. Phase of BAM and PANi have done identified by XRD. The magnetic properties of magnetic material BAM has identified using VSM, and has obtained the coercivity field of BAM is 0,043 T. Characterization of impedance and absorption ability of the microwave is done by using VNA on X-Band frequency. Based on test results of VNA, value of the impedance and a maximum reflection loss (RL) on coating P-PB, PB-P, B-PB and PB-B respectively are 406,142 Ω, 478,438 Ω, 612,564 Ω and 632,216 Ω then -49,57 dB, -31,30 dB, -22,41 dB and -22,07 dB. Double layer coating of composite PANi/BAM effective as RAM on the X-band frequency range, because the composite of PANi/BAM will increase the reflection loss and absorption bandwidth.

Keywords: *barium m-hexaferrite (BAM), double layer, impedance, polyaniline (PANi), radar absorbing material (RAM), reflection loss.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>Radar Absorbing Material (RAM)</i>	5
2.2 Jenis <i>Radar Absorbing Material (RAM)</i>	8
2.2.1 <i>Impedance Matching</i>	8
2.2.2 <i>Resonant Absorber</i>	9
2.3 Metode Pelapisan pada <i>Radar Absorbing Material (RAM)</i>	10
2.3.1 <i>Salisbury screen</i>	10
2.3.2 <i>Jaumann layer</i>	10
2.3.3 <i>Dallenbach layer</i>	11
2.4 Barium Hexaferrite	12
2.4.1 Barium Hexaferrite Tipe-M.....	13
2.5 Polianilin (PANi).....	16
2.6 Komposit PANi/BAM.....	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Alat dan Bahan	21
3.1.1	Alat	21
3.1.2	Bahan	21
3.2	Langkah Kerja	21
3.2.1	Preparasi dan Pemurnian Serbuk Pasir Besi	21
3.2.2	Sintesis Barium M-Hexaferrite (BAM)	22
3.2.3	Sintesis Polianilin (PANi)	22
3.2.4	Pelapisan Komposit Isotropik <i>Double Layer</i>	23
3.3	Karakterisasi Sampel	24
3.3.1	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	24
3.3.2	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	25
3.3.3	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	25
3.3.4	<i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	25
3.4	Diagram Alir Penelitian	26
3.4.1	Sintesis BAM Doping Ion Zn^{2+} $x=0.3$	26
3.4.2	Sintesis PANi dengan Doping DBSA	27
3.4.3	Pelapisan <i>Double Layer</i> pada Baja AH36	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Persiapan Sampel dan Analisis Fasa RAM	29
4.2	Analisis Mikrostruktur RAM	35
4.3	Analisis Ikatan Molekular RAM	38
4.4	Analisis Sifat Magnetik RAM	40
4.5	Karakterisasi Impedansi RAM	44
4.6	Analisis Penyerapan Gelombang pada Frekuensi <i>X-Band</i>	48

BAB V KESIMPULAN

5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55

DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	61
BIODATA PENULIS	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Pyramidal Absorber</i>	8
Gambar 2.2	(a) <i>Tapered Loading Absorber</i> dan (b) <i>Matching Layer Absorber</i>	9
Gambar 2.3	<i>Salisbury Screen</i>	10
Gambar 2.4	<i>Jaumann Layer</i>	11
Gambar 2.5	<i>Dallenbach Layer</i> untuk (a) <i>Single Layer</i> dan (b) <i>Double layer</i>	11
Gambar 2.6	Struktur Kristal Barium M-Hexaferrite	14
Gambar 2.7	Skematik Kurva Histerisis pada Bahan (a) <i>Soft Magnetic</i> dan (b) <i>Hard Magnetic</i>	15
Gambar 2.8	Struktur Polianilin dalam Bentuk (a) Basa Emeraldin dan (b) Garam Emeraldin	17
Gambar 3.1	(a-d) Desain Pelapisan <i>Double Layer</i> pada Pelat Baja	24
Gambar 3.2	Diagram Alir Sintesis BAM	26
Gambar 3.3	Diagram Alir Sintesis PANi	27
Gambar 3.4	Diagram Alir Pelapisan <i>Double Layer</i>	28
Gambar 4.1	Pola Difraksi Sinar-X BAM dan PANi	33
Gambar 4.2	Pola Pengamatan SEM pada Material RAM	36
Gambar 4.3	Hasil Pengujian SEM-EDX pada Material BAM	37
Gambar 4.4	Spektrum FTIR PANi dan BAM	39
Gambar 4.5	Kurva Histerisis (a) BAM tanpa Doping (b) BAM dengan Doping Ion Zn^{2+} dan (c) Komposit PANi/BAM	43
Gambar 4.6	Grafik Rugi Refleksi pada Pelat Baja Sebelum dan Sesudah dilapisi Material RAM	50
Gambar 4.7	Grafik Rugi Refleksi Pelapisan <i>Double Layer</i> RAM pada Frekuensi <i>X-Band</i>	53

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Kandungan Unsur Fe pada Serbuk Besi Sebelum dan Sesudah Proses Pemurnian	30
Tabel 4.2	Persentase Persebaran Elemen Penyusun RAM....	38
Tabel 4.3	Data Spektroskopi FTIR PANi dan BAM.....	39
Tabel 4.4	Nilai Remanensi dan Medan Koersivitas Material BAM.....	43
Tabel 4.5	Nilai Impedansi RAM.	45
Tabel 4.6	Nilai Rugi Refleksi Maksimum dan Koefisien Refleksi RAM.	50
Tabel 4.7	Perbandingan Pita Penyerapan RAM pada Frekuensi <i>X-Band</i>	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Hasil Pengujian XRF Pasir Besi Tanah Laut Kalimantan	61
Lampiran B	Hasil Identifikasi Fasa dengan Menggunakan Software <i>Match!</i>	63
Lampiran C	Data Kristalografi BAM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$).....	65
Lampiran D	Data ICSD Fe_2O_3	67
Lampiran E	<i>Rietveld Refinement</i> dengan Perangkat Lunak <i>Rietica</i>	69
Lampiran F	Perhitungan Impedansi Berdasarkan Metode NRW (<i>Nicholson-Ross-Weir Conversion</i>)	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi radar merupakan teknologi yang hingga saat ini masih ramai diperbincangkan oleh kalangan para peneliti. Dimana teknologi radar ini sendiri dikembangkan dengan cara memanfaatkan gelombang elektromagnetik, yang nantinya akan digunakan untuk mendeteksi posisi atau keberadaan dari suatu objek. Keberadaan suatu objek berdasarkan pantulan gelombang elektromagnetik dapat dideteksi oleh Radar (*Radio Detection and Ranging*). Dimana pantulan gelombang tersebut ditangkap oleh penerima radar yang kemudian dikonversi menjadi data lokasi dan kecepatan objek target. Pendeteksian pada target berdasarkan atas *Radar Cross Section* (RCS), yang mana RCS itu sendiri adalah daerah pada target yang memantulkan sinar datang berdasarkan bentuk, ukuran ataupun material yang digunakan pada target tersebut (Knott, 1993). Dengan hal itu, untuk menghindari deteksi radar yang diterima oleh objek dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama, dengan cara merancang desain pada objek agar tidak dapat dilacak oleh penerima radar. Dimana memanipulasi bentuk atau desain pada objek ini sangatlah penting, karena dapat mengacaukan pantulan gelombang radar yang mengenai objek sehingga tidak bisa ditangkap oleh penerima radar (Saville, 2005). Cara kedua yaitu dengan menciptakan sebuah material yang mampu menyerap radiasi gelombang mikro atau yang biasa disebut dengan RAM (*Radar Absorbing Material*) (Kaya, 2014). Dimana RAM tersebut kemudian digunakan untuk melapisi suatu objek, yang mana jika objek tersebut dikenai suatu gelombang radar maka radar tersebut akan langsung terserap sehingga tidak bisa ditangkap oleh penerima radar (Ma et al., 2010).

Material penyerap gelombang radar atau RAM yang baik dapat dibuat dari perpaduan polianilin (PANi) sebagai material konduktif dan barium m-hexaferrite (BAM) sebagai material

magnetiknya. Pelapisan komposit PANi/BAM sangat efektif digunakan sebagai material anti radar pada daerah X-Band (Sudati, 2013). Pembuatan komposit PANi/BAM dengan material magnetik BAM berbasis bahan alam (pasir besi) juga dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif material yang lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan material sintesis (Rosyidah, 2013). Polianilin (PANi) merupakan polimer konduktif yang banyak digunakan dalam penelitian pada umumnya dikarenakan mudah untuk disintesis dan memiliki sifat yang stabil terhadap lingkungan (MacDiarmid, 2001). Selain itu, PANi juga mempunyai sifat kestabilan kimia yang tinggi di udara, konduktivitas listrik tinggi dan dapat digunakan untuk perlindungan terhadap gelombang elektromagnetik (Li et al., 2006). Sedangkan barium m-hexaferrite (BAM) merupakan material dengan struktur molekul hexagonal yang digunakan untuk magnet permanen, perekam data, dan juga sebagai penyerap gelombang mikro karena magnetokristalin anisotropik yang tinggi serta memiliki ketahanan korosi yang tinggi, dengan sifat magnet dan listrik yang dapat diatur sesuai dengan yang dibutuhkan (Paul, 2007).

BAM yang awalnya memiliki sifat *hard magnetic* dapat diubah menjadi *soft magnetic* dengan cara memberikan doping ion Zn^{2+} . Konsentrasi dopan Zn $x=0,3$ pada penelitian ini dipilih karena memiliki nilai remanensi paling tinggi dibandingkan dengan konsentrasi dopan yang lainnya (Rosyidah, 2013). Dan untuk membuat penyerap dengan minimum refleksi dan pita penyerapan yang lebar, maka diperlukan impedansi medium gelombang yang datang harus sesuai dengan impedansi material penyerapnya. Selain cara yang sudah disebutkan sebelumnya, juga bisa dilakukan dengan cara yang lain yaitu dengan melemahkan gelombang elektromagnetik yang masuk kedalam material dengan menggunakan variasi ketebalan tertentu. Pada pelapisan *single layer* tidak dapat menghasilkan minimum refleksi dengan pita yang lebar. Oleh karena itu perlu dikembangkan dengan menggunakan pelapisan *multilayer*.

Menurut penelitian Feng (2007) berhasil memperlebar pita penyerapan gelombang mikro dengan menggunakan pelapisan *double layer*. Metode pelapisan *double layer* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *dallenbach layer*, karena metode ini mudah diterapkan untuk *double layer* dan dapat memperluas pita penyerapan (Saville, 2005). Selain itu, pada metode ini ketebalan lapisan yang digunakan juga memenuhi seperempat panjang gelombang sehingga sangat spesifik untuk menyerap gelombang elektromagnetik pada daerah frekuensi yang diinginkan. Untuk membuktikan itu semua, maka perlu dilakukan karakterisasi impedansi pada komposit isotropik *double layer* PANi/BAM sebagai *radar absorbing material* (RAM) guna untuk menghasilkan minimum refleksi dan pita penyerapan yang lebar.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah.

1. Bagaimana mengidentifikasi impedansi pada komposisi pelapisan *double layer* PANi/BAM sebagai material penyerap radar?
2. Bagaimana mengetahui kemampuan penyerapan gelombang mikro pada komposisi pelapisan *double layer* PANi/BAM?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah.

1. Material BAM yang digunakan merupakan material berbasis bahan alam pasir besi tanah laut Kalimantan.
2. Material BAM dengan doping ion Zn^{2+} $x=0,3$ ($BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$) disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi dengan suhu kalsinasi $1000^{\circ}C$ dan *holding time* 5 jam.
3. Material PANi disintesis secara kimia dengan doping DBSA (*Dodecyl BenzeneSulfonic Acid*).

4. Pelapisan *double layer* dengan metode *dallenbach layer*.
5. Komposit isotropik PANi/BAM dibuat berdasarkan perbandingan fraksi massa BAM dengan PANi yaitu sebesar 1:1.
6. Variasi pelapisan *double layer* yang digunakan yaitu P-PB, PB-P, B-PB, serta PB-B.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengidentifikasi impedansi pada komposisi pelapisan *double layer* PANi/BAM sebagai material penyerap radar.
2. Untuk mengetahui kemampuan penyerapan gelombang mikro pada komposisi pelapisan *double layer* PANi/BAM.

1.5 Manfaat penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang pemanfaatan sumber daya alam berupa pasir besi yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan material magnetik BAM serta diharapkan untuk dapat menghasilkan pelapisan *double layer* dari komposit PANi/BAM sebagai material penyerap radar dengan pita penyerapan yang lebih lebar.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian. Bab III metodologi penelitian, Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, serta Bab V berupa kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Radar Absorbing Material (RAM)*

RAM (*Radar Absorbing Material*) sudah dikenal sejak awal tahun 1930 dimana setelah ditemukannya radar. RAM sendiri merupakan material penyerap radar dengan sifat magnetik yang tinggi dan kerugian listrik (*loss elektrik*) yang rendah, serta memiliki keunikan dalam penyerapan gelombang mikro dan mengurangi gelombang elektromagnetik secara efektif serta dapat meminimalkan gelombang radar yang direfleksikan (Saville, 2005). Secara umum, ada beberapa sifat dari suatu gelombang elektromagnetik diantaranya yaitu gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang tanpa medium, arah medan listrik dan medan magnetik saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (transversal), serta gelombang elektromagnetik mengalami pembiasan, difraksi dan pemantulan (refleksi) (Lidström et al., 2001).

Sifat unik RAM dalam penyerapan gelombang radar dapat diperoleh dengan 2 cara yaitu melalui rekayasa teknik dan rekayasa material. Rekayasa teknik atau yang lebih umum dikenal dengan rekayasa geometri, dapat digunakan untuk menghasilkan interferensi destruktif antara gelombang yang datang dengan gelombang pantul oleh bidang-bidang yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang akan diserap. Pada dasarnya metode ini merupakan metode yang efektif, namun mempunyai keterbatasan dikarenakan untuk memenuhi syarat geometri harus memerlukan dimensi-dimensi tertentu selain itu metode ini hanya berlaku untuk material yang memiliki konduktivitas tinggi. Sedangkan pada metode rekayasa material, metode ini lebih fleksibel untuk diaplikasikan karena hanya bergantung pada faktor bentuk dan ketebalan (Pereira et al., 2009). Sedangkan dalam meminimalkan refleksi gelombang radar, ada 3 kondisi utama yang dapat meminimalkannya. Dimana kondisi pertama yaitu admitansi perambatan gelombang yang masuk sama dengan admitansi

perambatan gelombang medium penyerap atau dalam kata lain yaitu impedansi medium gelombang datang harus sama dengan impedansi medium gelombang penyerap.

$$\Gamma = \frac{\eta_m - \eta_0}{\eta_m + \eta_0} = \frac{Z_M - Z_0}{Z_M + Z_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana Γ adalah koefisien refleksi dan η adalah admitansi perambatan pada medium. Dengan koefisien refleksi mendekati nol $\eta_m = \eta_0$ yang artinya terjadi kesesuaian antara bahan absorber dengan perambatan gelombang pada medium.

Sedangkan impedansi intrinsik dari medium udara adalah :

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 377\Omega \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan E dan H adalah medan listrik dan medan magnet, begitu μ_0 dan ϵ_0 adalah permitivitas dan permeabilitas dalam ruang hampa (vakum). Jadi dari persamaan (2.2) tersebut dapat diartikan bahwa material yang mempunyai nilai impedansi 377Ω , maka material tersebut tidak akan dapat memantulkan gelombang mikro pada medium udara bebas (Saville, 2005).

Kondisi keuda yaitu jika permitivitas listrik dan permeabilitas magnetnya sama. Berdasarkan kondisi tersebut maka kesesuaian impedansi yang sempurna akan terjadi, sehingga pada keadaan ini dapat memperkecil nilai koefisien refleksi. Dimana jika nilai koefisien refleksi semakin kecil maka refleksi gelombang yang dihasilkan juga semakin sedikit atau dalam artian lain yaitu dapat meminimalkan refleksi gelombang.

$$\Gamma = \frac{\frac{Z_M}{Z_0} - 1}{\frac{Z_M}{Z_0} + 1} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan normalisasi impedansi intrinsiknya yaitu :

$$\frac{Z_M}{Z_0} = \sqrt{\frac{\mu_r^*}{\epsilon_r^*}} \dots\dots\dots (2.4)$$

apabila medium gelombang datang berupa ruang hampa dan koefisien refleksi bernilai nol, berarti $\mu_r^* = \epsilon_r^*$. Dalam kondisi ini, jika bagian riil dan imajiner pada permitivitas dan permeabilitas sama maka koefisieno refleksi adalah nol. Sedangkan untuk

kondisi yang ketiga yaitu dengan mengurangi gelombang yang merambat ke media penyerap (Saville, 2005).

Karakteristik atau ciri-ciri suatu material penyerap gelombang radar (RAM) yang baik yaitu apabila memiliki sifat magnetik dan listrik yang baik pula. Untuk itu maka material tersebut harus memiliki nilai impedansi tertentu serta kesesuaian antara nilai permeabilitas relatif (μ_r) dan juga nilai permitivitas relatifnya (ϵ_r) (Xie et al., 2009). Selain permeabilitas, permitivitas dan juga magnetisasi spontan, material penyerap radar harus memiliki nilai resistivitas listrik yang tinggi atau isolator yang baik (Pereira et al., 2009). Sedangkan untuk mengetahui besar nilai impedansi yang dimiliki oleh suatu material penyerap radar (RAM) dapat dilakukan dengan melalui perhitungan dari persamaan berikut ini.

$$Z_{in} = Z_o \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(i \left[\frac{2\pi L}{\lambda_o} \right] \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana Z_{in} adalah impedansi input ketika gelombang elektromagnetik yang datang tegak lurus dengan material, dan dalam hal ini Z_{in} merupakan impedansi karakteristik yang dimiliki oleh material penyerap radar (RAM). Dan untuk nilai permeabilitas relatif (μ_r) serta nilai permitivitas relatif (ϵ_r) diperoleh dari persamaan berikut ini.

$$\mu_r = \frac{1+\Gamma_1}{\Lambda(1-\Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_o^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\epsilon_r = \mu_r \frac{(1-\Gamma)^2}{(1+\Gamma)^2} \left(1 - \frac{\lambda_o^2}{\lambda_c^2} \right) + \frac{\lambda_o^2}{\lambda_c^2} \frac{1}{\mu_r} \dots \dots \dots (2.7)$$

dari persamaan (2.6) dan (2.7), nilai koefisien refleksi (Γ) yang digunakan, diperoleh dari perhitungan dengan persamaan (2.8) dibawah ini.

$$\Gamma = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \pm \sqrt{\left(\frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \right)^2 - 1} \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana koefisien refleksi harus bernilai kurang dari 1 ($\Gamma < 1$), dan untuk nilai parameter reflektansi (S_{11}) serta parameter transmitansi (S_{21}) yang digunakan, berasal dari hasil pengujian penyerapan gelombang mikro dengan menggunakan VNA atau

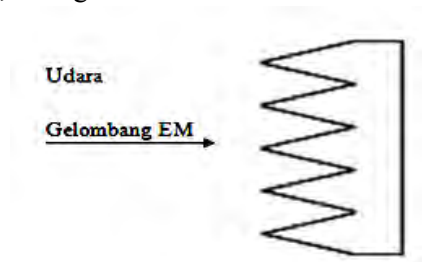
Vector Network Analyzer (Rochde-Schwarz, 2006). Selain dengan melalui perhitungan, besar impedansi juga dapat diperoleh berdasarkan diagram smith ataupun data impedansi dari hasil pengujian VNA tersebut.

2.2 Jenis Radar Absorbing Material (RAM)

Material penyerap gelombang radar atau RAM dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu *impedance matching* dan *resonant absorber*.

2.2.1 Impedance Matching

Impedance matching RAM dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam yaitu *pyramidal absorber*, *tapered loading absorber* dan *matching layer absorber*. *Pyramidal absorber* merupakan material penyerap radar dengan struktur piramida yang memiliki pola teratur yang tegak lurus dengan permukaan. Dengan struktur yang berbentuk piramida ini, maka impedansi dari udara ke media penyerap dapat berkurang. Namun penyerap jenis ini juga memiliki spesifikasi lain yaitu memiliki bentuk yang tebal dan mudan rapuh, lihat gambar 2.1.



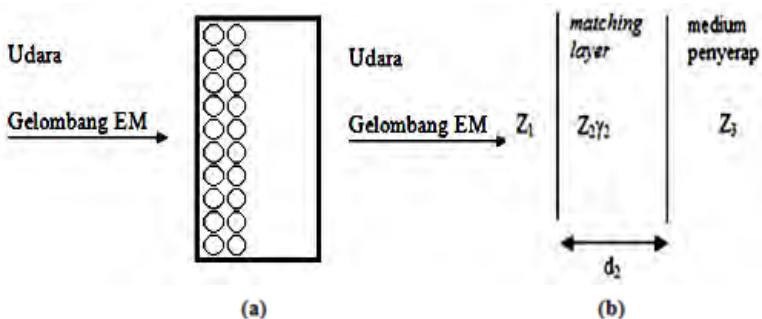
Gambar 2.1 *Pyramidal Absorber* (Saville, 2005)

Sedangkan *tapered loading absorber* merupakan material penyerap radar yang tersusun dari material berporus dan tak berporus. Letak dari material beporus pada penyerap jenis ini yaitu tersebar homogen dan paralel terhadap permukaan, lihat gambar 2.2(a). Dan untuk jenis material penyerap radar yang

ketiga (*matching layer absorber*), material ini merupakan material transisi yang diletakkan diatas medium penyerap. Dimana material transisi tersebut memiliki nilai impedansi diantara impedansi medum gelombang datang dan medium penyerap.

$$Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3} \dots \dots \dots (2.9)$$

Kesesuaian impedansi tersebut terjadi apabila ketebalan lapisan transisi bernilai seperempat dari panjang gelombang, lihat gambar 2.2(b).



Gambar 2.2 (a) *Tapered Loading Absorber* dan (b) *Matching Layer Absorber* (Saville, 2005)

2.2.2 Resonant Absorber

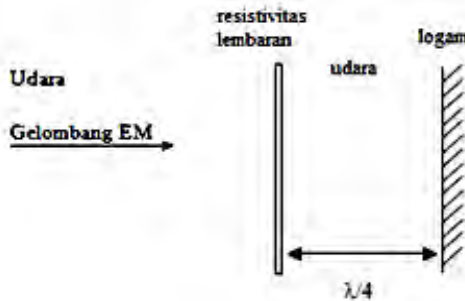
Berbeda dengan sebelumnya, material resonan merupakan material penyerap seperempat panjang gelombang. Dimana impedansi pada material ini tidak harus sesuai dengan impedansi medium gelombang datang dan medium penyerap. Prinsip kerja dari material ini yaitu, jika gelombang datang pada permukaan material resonan maka selanjutnya gelombang tersebut akan ditransmisikan ke medium penyerap dan kemudian direfleksikan kembali oleh logam yang terdapat pada material resonan. Gelombang refleksi tersebut merambat kembali ke material resonan hingga sampai ke permukaan antara material resonan dan medium gelombang datang. Dan gelombang tersebut mengalami interferensi destruktif, intensitas refleksinya nol (Saville, 2005).

2.3 Metode Pelapisan pada *Radar Absorbing Material (RAM)*

Metode pelapisan pada *radar absorbing material (RAM)* dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu *Salisbury screen*, *Jaumann layer* dan *Dallenbach (tuned) layer absorber*. Berikut ini adalah penjelasan dari jenis-jenis metode pelapisan pada RAM.

2.3.1 *Salisbury screen*

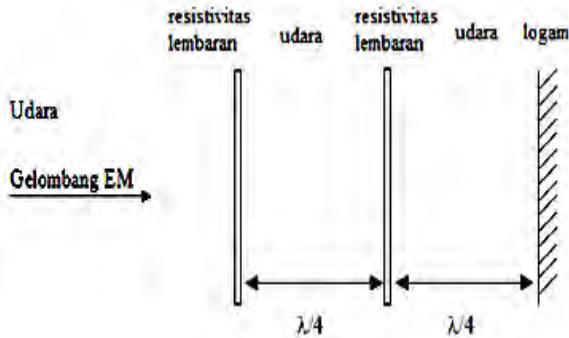
Salisbury sreen merupakan jenis metode pelapisan dengan cara meletakkan lembaran resistivitas yang dipisahkan pada jarak seperempat panjang gelombang di depan logam konduktor, tetapi biasanya dipisahkan oleh udara, lihat gambar 2.3. Namun, udara tersebut juga dapat diganti dengan material yang memiliki permitivitas tinggi. Impedansi efektif berasal dari resistivitas lembaran, apabila nilai resistivitas lembarannya adalah $377 \Omega/\text{sq}$ (setara dengan impedansi pada ruang hampa) maka kesesuaian impedansi dapat terjadi.



Gambar 2.3 *Salisbury Screen* (Saville, 2005)

2.3.2 *Jaumann layer*

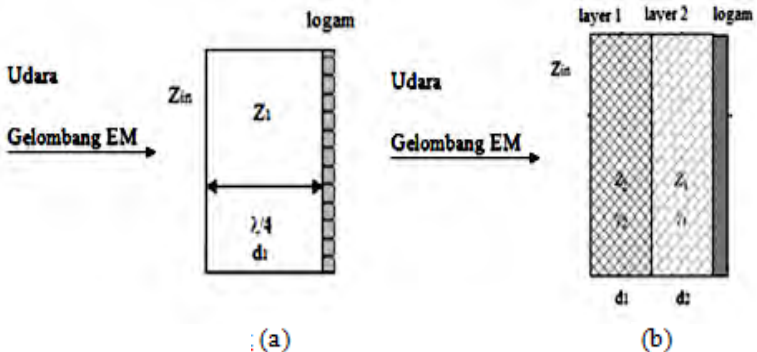
Jaumann layer terdiri dari dua atau lebih lembaran resistivitas dan juga merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan lebar pita penyerapan dari *Salisbury screen*, lihat gambar 2.4. Kedua jenis pelapisan tersebut dapat diaplikasikan ke dalam pelapisan single layer.



Gambar 2.4 Jaumann Layer (Saville, 2005)

2.3.3 Dallenbach layer

Sedangkan jenis lapisan penyerap yang lebih sering diaplikasikan ke dalam lapisan single layer, *double layer* ataupun *multilayer* adalah *Dallenbach layer*. Dimana jika semakin banyak lapisan yang digunakan maka akan semakin dapat meningkatkan lebar pita penyerapan. Dan material yang biasa digunakan sebagai material pelapisan pada jenis pelapisan ini adalah dari golongan ferit. Selain itu, lapisan *Dallenbach layer* juga merupakan lapisan penyerap yang dilapiskan diatas plat konduktor seperti logam, lihat gambar 2.4.



Gambar 2.5 Dallenbach Layer untuk (a) *Single Layer* (Saville, 2005) dan (b) *Double Layer* (Feng et al., 2007)

Dallenbach layer dapat digunakan untuk meminimalkan refleksi panjang gelombang yang diinginkan, bisa dengan mengatur besar ketebalan lapisan, permitivitas dan permeabilitas dari material yang digunakan. Selain itu juga dapat menyebabkan interferensi destruktif gelombang pantul dari permukaan pertama dan kedua. Untuk mencapai refleksi minimum *single layer* maka harus memenuhi persamaan (2.6) berikut :

$$Z_{in} = Z_1 \tanh \gamma_1 d_1 \dots\dots\dots(2.10)$$

apabila penyerap gelombang mikro tersebut *double layer* maka persamaan (2.6) menjadi

$$Z_{in} = Z_2 \frac{Z_1 \tanh (\gamma_1 d_1) + Z_2 \tanh (\gamma_2 d_2)}{(Z_1 + Z_2) \tanh (\gamma_1 d_1) \tanh (\gamma_2 d_2)} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana Z_{in} adalah impedansi masukan yang diukur dari permukaan ke penyerap. Z_1 , γ_1 , dan d_1 adalah impedansi karakteristik, tetapan rambat dan ketebalan lapisan pertama penyerap gelombang mikro (Saville, 2005). Z_2 , γ_2 , dan d_2 adalah impedansi karakteristik, tetapan tetapan rambat dan ketebalan lapisan kedua penyerap gelombang mikro (Feng et al., 2007).

2.4 Barium Hexaferrite

Barium Hexaferrite merupakan salah satu magnet keramik yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Hal ini dikarenakan, material tersebut memiliki beberapa keunggulan yaitu ketersediaan bahan bakunya yang melimpah dan pembuatannya yang relatif mudah. Barium Heksaferrit sendiri dapat disintesis dengan berbagai macam metode antara lain dengan metode kristalisasi gas, presipitasi hidrotermal, sol-gel, aerosol, pemanduan mekanik ataupun dengan menggunakan metode kopresipitasi (Susanti, 2015).

Material magnetik keramik pada umumnya banyak berasal dari golongan ferrite salah satunya yaitu barium hexaferrite, yang mana oksida pada material tersebut disusun oleh fasa hematite sebagai komponen utamanya. Material ini menunjukkan induksi magnetik spontan meskipun medan magnet yang diberikan telah dihilangkan. Selain itu ferrite juga dikenal sebagai magnet permanen. Dimana magnet ini mampu menghasilkan medan

magnet tanpa harus di berikan arus listrik terlebih dahulu. Magnet permanen ini juga menghasilkan medan yang konstan tanpa mengeluarkan daya yang kontinyu (Perdana et al., 2011). Sedangkan magnet sendiri dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu, *soft magnetic* (magnet lunak) yang merupakan suatu sifat bahan yang akan berubah dan sifat magnetnya akan hilang bila arus dilepaskan. Dan sedangkan untuk bahan *hard magnetic* (magnet keras) merupakan suatu sifat bahan yang sengaja dibuat bersifat magnet permanen (Priyono and Manaf, 2012).

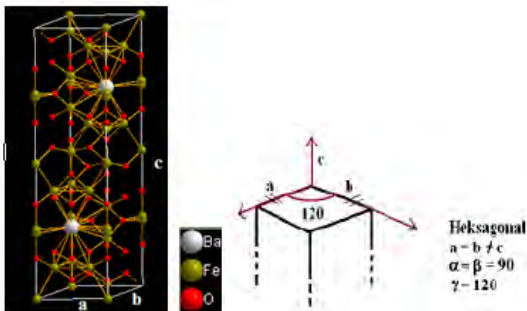
Barium Hexaferrite ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dapat dikelompokkan menjadi 5 tipe berdasarkan rumus kima dan juga struktur kristalnya, yaitu : tipe-M ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), tipe-W ($\text{BaMe}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$), tipe-X ($\text{Ba}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{28}\text{O}_{46}$), tipe-Y ($\text{Ba}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$) dan tipe-Z ($\text{Ba}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$) (Perdana et al., 2011). Setiap tipe dari barium hexaferrite memiliki karakteristik frekuensi yang berbeda-beda, dan perbedaan karakterisasinya bisa dibentuk dengan memilih struktur kimia yang sesuai, penambahan ion doping, dan juga proses pembuatannya (sintesis). Dari kelima tipe tersebut, barium hexaferrite dengan tipe-M merupakan oksida keramik yang paling banyak dimanfaatkan secara komersial. Dimana material tersebut dapat diaplikasikan sebagai media penyimpanan data (*magnetic recording*) (Wang et al., 2003).

2.4.1 Barium Hexaferrite tipe-M

Barium hexaferrite tipe-M atau yang biasa disebut dengan barium hexagonal ferrite (BAM) mempunyai rumus molekul $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, dimana barium m-hexagonal atau BAM ini merupakan bahan oksida dengan struktur kristal hexagonal yang memiliki dua parameter kisi yaitu lebar dari bidang hexagonal, $a=0,588$ nm (dengan $a=b$) dan $c= 2,32$ nm yang merupakan tinggi dari kristal (Pullar and Bhattacharya, 2002).

Struktur magnet barium m-hexaferrite terdiri atas kubik *spinel* (S) yang terpisah oleh bagian hexagonal *closed-packed* (R) dengan berisikan ion Ba (barium). Setiap bagian S terdiri dari 2

lapisan yang mengandung 4 ion O (oksigen). Dan pada bagian R terdapat 3 lapis ion oksigen, yang mana suatu ion oksigen pada tiap lapis tengah diganti dengan ion Ba. Pada setiap unit sel kristal BAM ini terdiri dari 10 lapisan oksigen, dengan ion Ba menggantikan ion O disetiap 5 lapis. Sehingga dalam bagian S, untuk satu unit sel mempunyai rumus kimia Fe_6O_8 dan untuk satu unit sel bagian R mempunyai rumus kimia $\text{BaFe}_6\text{O}_{11}$. Jadi rumus kimia totalnya adalah $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Sedangkan tempat ion Fe dalam struktur ini adalah tetrahedral dan octahedral, serta satu sisi lagi dikelilingi 5 ion oksigen untuk membentuk susunan bipiramidal trigonal (FeO_5) (Idayati and others, 2003). Selain itu, kristal BAM juga terdiri dari 64 ion per unit sel dalam 11 simetri dengan *space group* P63/mmc (Shepherd et al., 2007).

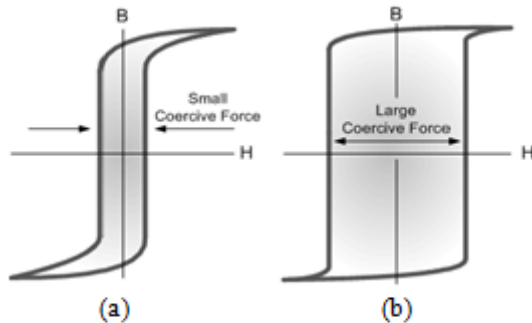


Gambar 2.6 Struktur Kristal Barium M-Hexaferrite

Barium m-hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) selain memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik juga memiliki nilai magnetisasi saturasi, temperatur curie dan medan koersivitas yang tinggi secara berturut-turut senilai 72 emu/g, 450°C dan 6700 Oe. Karena memiliki nilai medan koersivitas yang sangat tinggi, maka sifat anisotropi pada material magnetik ini akan semakin meningkat sehingga sifat serapan materialnya atau daya serapnya menjadi semakin melemah (Pillai et al., 1993). Oleh karena itu perlu dilakukan proses reduksi pada sifat anisotropi material magnetik tersebut dengan cara mensubstitusikan berbagai ion lain

seperti Zn^{+2} , Ni^{+2} , Co^{+2} , Ti^{+4} dan Mn^{+2} pada ion Fe^{3+} dalam strukturnya (Pullar, 2012). Modifikasi material BAM ($BaFe_{12}O_{19}$) oleh doping ion memungkinkan untuk mendapatkan yang unik yang tidak diketahui dari sifat bahan ini sebelumnya. Salah satu contoh aplikasi baru yang timbul seperti mungkin penggunaan barium m-hexaferrite sebagai material penyerap gelombang mikro (Vinnik et al., 2015).

Syarat material yang dapat digunakan sebagai dopan yaitu material tersebut harus memiliki jari-jari ion yang hampir sama dengan jari-jari ion yang dimiliki oleh ion Fe^{3+} dalam struktur BAM. Penambahan ion doping ini tidak akan mempengaruhi struktur kristal pada material BAM, melainkan berfungsi untuk menurunkan sifat kemagnetan yang awalnya bersifat magnet keras (*hard magnetic*) menjadi lunak (*soft magnetic*) (Pullar, 2012).



Gambar 2.7 Kurva Histeresis pada Bahan (a) *Soft Magnetic* dan (b) *Hard Magnetic* (Afza, 2011)

Perubahan sifat kemagnetan inilah yang membuat material BAM sering diaplikasikan sebagai bahan penyerap gelombang radar. Hal ini dikarenakan, disaat dalam keadaan *soft magnetic* maka sifat kemagnetan dari material ini akan dapat berubah-ubah nilainya, sesuai dengan medan magnet luar yang diberikan. Disaat terdapat medan magnet luar

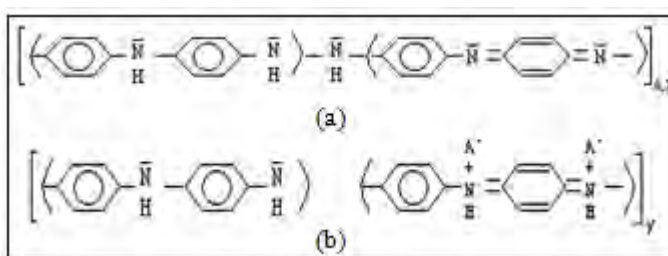
yang mengenainya, maka arah momen dipol dari material *soft magnetic* ini akan lebih mudah terarah meskipun medan magnet yang diberikan tidak terlalu besar. Keadaan ini berbeda dengan material *hard magnetic*, perbedaan ini ditandai dengan lebar sempitnya dari kurva histerisis. Pada material *soft magnetic* kurva histerisisnya lebih sempit jika dibandingkan dengan material yang bersifat *hard magnetic* (Afza, 2011).

2.5 Polianilin (PANi)

Polianilin (PANi) merupakan bahan polimer konduktif yang paling sering digunakan dalam penelitian dikarenakan polianilin sangat mudah disintesis dan stabil terhadap lingkungan (MacDiarmid, 2001). Dimana polimer konduktif itu sendiri adalah suatu material yang memiliki konduktivitas tinggi dengan mengatur tingkat konsentrasi pendoping (Wan and others, 2008), serta memiliki keadaan yang stabil mencapai $10 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ dengan fasa garam emeraldin, sehingga polianilin berpotensi tinggi sebagai bahan produksi komersial (Wibowo et al., 2007). Metode pembuatan polimer konduktif dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai proses, salah satu contohnya yaitu proses polimerisasi dan proses doping yang dilakukan secara kimiawi (Asrori, 2000).

Polianilin merupakan bahan polimer yang tersusun dari pengulangan kesatuan kimia monomer-monomer anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$), yang bergabung dengan cara berikatan kovalen (Rochimah, 1995). Struktur molekul PANi menghasilkan enam puncak dalam spektrum serapan inframerah pada bilangan gelombang 1030 dan 1316cm^{-1} . Struktur kimia polianilin secara umum bersifat isolator serta terdapat dua gugus yakni gugus tereduksi dan gugus teroksidasi, dengan cincin benzena (benzoid) dan cincin quinoid yang dihubungkan satu dengan yang lain oleh atom nitrogen (N) melalui ikatan amin (terhibridisasi sp^3) dan ikatan imin (terhibridisasi sp^2) (Asrori, 2000).

Basa emeraldin (fasa umum pada PANi) dapat dibuat menjadi bahan konduktif dengan melalui proses protonasi (proses yang bertujuan untuk meng-hasilkan cacat rantai, sehingga terdapat bipolaron yang dapat menghantarkan listrik) (Rochimah, 1995). Setelah proses protonasi, maka basa emeraldin kemudian menghasilkan polianilin yang berbentuk garam emeraldin. Dimana proses protonasi pada basa emeraldin menyebabkan polianilin (PANi) yang dihasilkan berada pada tingkatan atau level semikonduktor (Stejskal and Gilbert, 2002).



Gambar 2.8 Struktur Polianilin dalam Bentuk (a) Basa Emeraldin dan (b) Garam Emeraldin (Rochimah, 1995)

Untuk mendapatkan serbuk polianilin dapat dilakukan dengan cara mensintesis polianilin (PANi) dengan dopan DBSA melalui proses kimiawi. Keunggulan pada proses kimiawi ini yaitu mudah dalam proses sintesisnya dan alat yang digunakan relatif sederhana serta biaya relatif murah. Dan juga produk hasil sintesis lebih banyak jika dibandingkan dengan menggunakan proses secara elektrokimia (Suryaningsih, 1998). Seperti halnya pada material magnetik, pada proses pemberian doping pada material polimer konduktif dapat meningkatkan besarnya nilai konduktivitas listrik pada material tersebut. Dengan catatan konduktivitas listrik dari material tersebut akan naik jika didoping dengan dopan yang bersifat konduktor (MacDiarmid, 2001).

Konduktivitas PANi dengan dopan HCl pada temperatur ruang adalah $4.4 \pm 1.7 \text{ Scm}^{-1}$, sedangkan pada keadaan basa senilai $1.4 \times 10^{-8} \text{ Scm}^{-1}$ (Maddu et al., 2008). Selain dopan HCl, pemberian dopan asam kuat lainnya seperti DBSA (*Dodecyl*

Benzene Sulphonic Acid) juga dapat meningkatkan nilai konduktivitas PANi (Tsotra and Friedrich, 2004). DBSA disini selain berperan sebagai dopan juga berperan sebagai surfaktan (Hahn and Han, 2006).

2.6 Komposit PANi/BAM

Pembuatan material penyerap gelombang mikro atau radar ditujukan untuk meminimalkan refleksi elektromagnetik dari plat logam seperti pesawat terbang, kapal, tank dan teknologi militer yang lainnya. Material penyerap radar biasanya tersusun dari gabungan material magnetik dan dielektrik. Material Polianilin (PANi) yang bertindak sebagai material polimer konduktif, dapat diterapkan dalam pembuatan material penyerap radar. Hal ini dikarenakan polianilin (PANi) memiliki rugi listrik, namun untuk meningkatkan sifat penyerapan gelombang dan juga perluasan bandwidthnya, material polianilin (PANi) dapat dipadukan dengan menambahkan material magnetik seperti barium m-hexaferrite (BAM) sehingga nantinya dapat dibuat material komposit PANi/BAM. Selain itu komposit PANi/BAM merupakan salah satu material yang dapat dijanjikan sebagai material penyerap gelombang mikro (Ting and Wu, 2010), hal ini dikarenakan material komposit PANi/BAM mempunyai rugi magnetik dan rugi listrik yang besar pada pita frekuensi gelombang mikro sehingga dapat menyebabkan interaksi antara dipol magnet dan listrik.

Komposit isotropik adalah komposit yang penguatannya memberikan penguatan yang sama pada semua arah (baik dalam transversal maupun longitudinal) sehingga segala pengaruh tegangan maupun regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama (Sudati,2013). Penelitian oleh Ting and Wu (2010) yang mengenai sintesis dan karakterisasi komposit PANi/Barium Ferrite sebagai material penyerap gelombang mikro, diperoleh rugi refleksi -12 dB yang terjadi di rentang frekuensi gelombang mikro 2-18 GHz. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Sudati (2013), diperoleh rugi refleksi

material komposit PANi/BAM pada frekuensi *X-band* 8,2-12,4 GHz sebesar -12,8 dB. Hasil analisis material komposit PANi/BAM berdasarkan rugi refleksi menunjukkan adanya penyerapan pada pelapisan material komposit tersebut pada suatu plat baja lebih baik daripada pelapisan cat pada baja.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat Dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *siever* 170 mesh, *ultrasonic cleaner*, gelas ukur, gelas beker, gelas erlenmeyer, pipet, spatula kaca, spatula logam, corong plastik, corong kaca, cawan petri, *magnetic stirrer*, aluminium foil, kertas saring, kertas label nama, mixer, tisu, mika, *Furnace Naberthem*, timbangan digital, kertas pH, krusibel alumina, mortar keramik, kertas karton, termometer air raksa, dan botol plastik.

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir besi (Fe_3O_4) tanah laut Kalimantan, Barium Karbonat (BaCO_3) (ACS reagent grade, MP Biomedicals, LLC), serbuk Zn (pro analis, Merck), *Hydrochloric Acid* (HCl) 37 % (pro analis, Merck), Alkohol 96 %, Aquades, NH_4OH (pro analis, Merck), *Dodecyl Benzene Sulfonic Acid* (DBSA) (70% wt alution in 2-propanol, pro analis, Aldrich), Amonium Perokdisulfat (APS) (pro analis, Merck), plat baja grade A tipe AH36, cat kapal Aghata, *thinner*, Aseton (pro analis, Merck).

3.2 Langkah Kerja

3.2.1 Preparasi dan Pemurnian Serbuk Pasir Besi

Pasir besi ditumbuk untuk mereduksi ukuran kemudian dilakukan pengayakan dengan *siever* 170 mesh. Sebelum proses penumbukkan, pasir besi dikeringkan terlebih dahulu dibawah cahaya matahari dengan tujuan untuk mempermudah proses penumnu kam. Setelah itu dilakukan separasi magnet untuk memisahkan serbuk magnetik dengan serbuk non magnetik. Kemudian dilakukan pencucian menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan media aquades dan alkohol untuk menghilangkan sisa

pengotor organik yang masih menempel pada permukaan serbuk pasir besi.

3.2.2 Sintesis Barium M-Hexaferrite (BAM)

Sintesis BAM dengan doping ion Zn^{2+} ($BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$) dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi. Berikut langkah sintesis :

1. Serbuk $BaCO_3$ dilarutkan dalam HCl 37% dan diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*.
2. Serbuk Zn dan Fe masing-masing dilarutkan dengan HCl 37% kemudian diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu $70^\circ C$.
3. Larutan 1, 2, 3 yang sudah terbentuk dicampur dan diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu $70^\circ C$, dimana keadaan $pH = 3$ (dalam keadaan asam).
4. Penyaringan larutan untuk memisahkan larutan dengan sisa reaksi.
5. Dilakukan penambahan NH_4OH secara perlahan sampai pH 13 untuk membentuk endapan sempurna.
6. Endapan dicuci dengan air destilasi sampai $pH=10$ dan dikeringkan pada temperature $100^\circ C$.
7. Diperoleh serbuk prekursor BAM (Barium M-Hexaferrite).
8. Prekursor dilakukan kalsinasi pada temperature kalsinasi $1000^\circ C$ dengan waktu penahanan selama 5 jam agar diperoleh kristalin BAM.
9. Hasil kalsinasi dimortar dan didapatkan serbuk BAM.

3.2.3 Sintesis Polianilin (PANi)

Sintesis PANi dengan menggunakan metode polimerisasi in situ dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Anilin dan DBSA (*Dodecyl Benzene Sulfonic Acid*) dilarutkan dalam aquades selama 30 menit dan diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga warna menjadi putih.
2. Amonium peroksidisulfat (APS) dilarutkan dalam aquades selama 15 menit sampai terbentuk larutan yang bening.

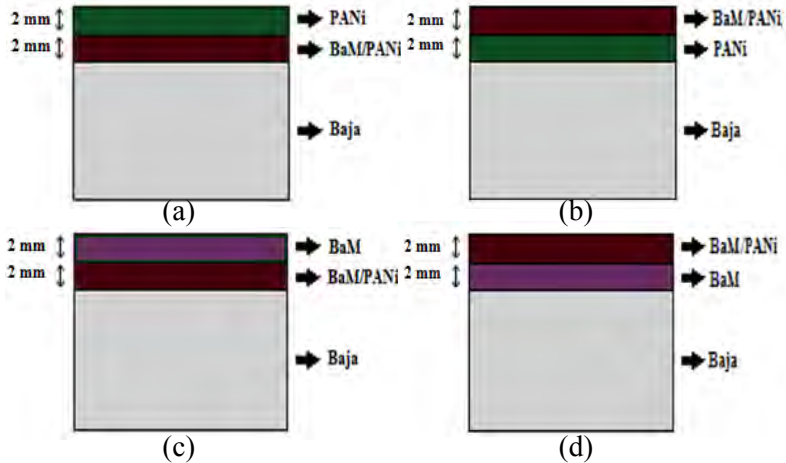
3. Proses polimerisasi terbentuk dengan menambahkan Larutan A didinginkan hingga temperatur 0 °C pada gelas labu dan distirer, kemudian ditetesi dengan larutan inisiator (APS) sampai terbentuk larutan berwarna hijau tua.
4. Larutan PANi yang terbentuk disaring dan dicuci dengan menggunakan aseton 10 ml dan aquades (air distilasi) 10 ml sampai air pencucinya bening, dan dikeringkan diatas mika.
5. Hasil pengeringan dimortar sampai didapatkan serbuk PANi.

3.2.4 Pelapisan Komposit Isotropik *Double Layer*

Pelapisan *double layer* material pada baja dilakukan sebagai berikut :

1. Pengadukan cat kapal Aghata dan material anti radar (PANi, BAM, komposit isotropik PANi/BAM) dilakukan dengan cara pencampuran mekanik (metode *hand lay up*) dengan perbandingan 1:1. Dan perbandingan massa pada komposit isotropik PANi/BAM yang digunakan yaitu 1:1. Pengadukan dilakukan selama 10 menit sampai homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan ± 8000 rpm.
2. Setelah proses pengadukan selesai, bahan kemudian dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata.
3. Lapisan material dan cat dikeringkan beberapa hari. Setelah itu baru pelapisan lapisan kedua dengan cara yang sama.
4. Variasi pelapisan komposit *double layer* yang digunakan yaitu BAM: PANi, PANi: BAM, PANi/BAM: PANi, dan PANi/BAM: BAM.

Berikut ini adalah desain pelapisan *double layer* dengan metode *Dallenbach layer* pada plat baja grade A tipe AH36 :



Gambar 3.1 (a-d) Desain Pelapisan *Double Layer* pada Pelat Baja

3.3 Karakterisasi Sampel

3.3.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD (X-Ray Diffraction) bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada material uji (BAM, dan PANi) dengan sumber radiasi yang diberikan yakni Cu α dengan panjang gelombang 1,54056 Å. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan XRD di Laboratorium Jurusan Teknik Material Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

3.3.2 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pengujian dengan FTIR pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi atau ikatan-ikatan yang terbentuk dari material uji yaitu PANi dan BAM dengan mengukur frekuensi vibrasi molekul dari masing-masing material uji tersebut. Pengujian spektroskopi FTIR ini dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA ITS.

3.3.3 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

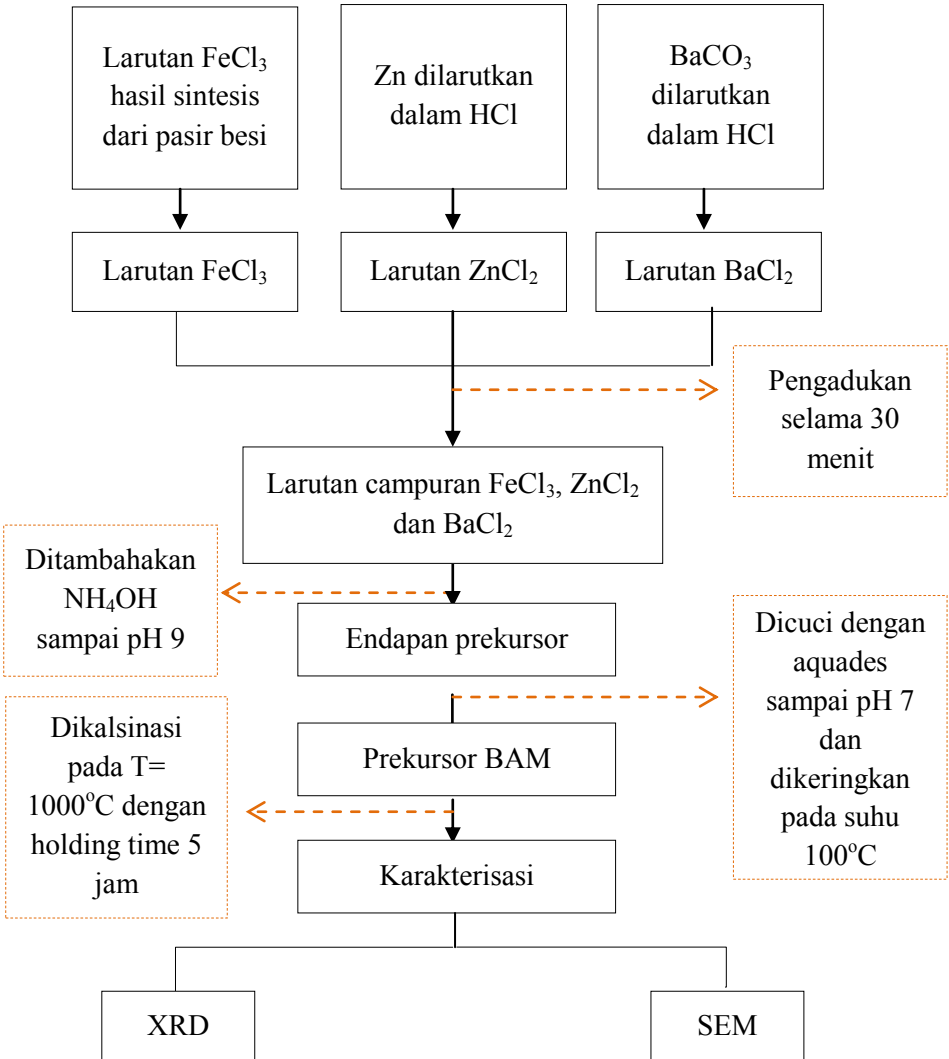
Untuk mengetahui struktur mikro atau morfologi serta ukuran butir rerata dari barium m-hexaferrite (BAM) dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan SEM. Pengujian SEM ini dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan menggunakan alat SEM EVO MA 10 hingga perbesaran 1.000.000 kali.

3.3.4 *Vector Network Analyzer (VNA)*

Pengujian *Vector Network Analyzer* (VNA) digunakan untuk mengukur gelombang mikro dan parameter *scattering* suatu bahan pada rentang frekuensi 10 MHz sampai 110 MHz. Pada pengujian ini akan didapatkan nilai rugi refleksi, dimana data rugi refleksi menunjukkan besar daya serap pada suatu material terhadap gelombang mikro. Parameter *scattering* tergantung pada nilai refleksi dan transmisi dengan (S_{11}^*) dan (S_{21}^*). Pengujian ini dilakukan di LIPI Bandung dengan menggunakan VNA ADVANTEST tipe-3770.

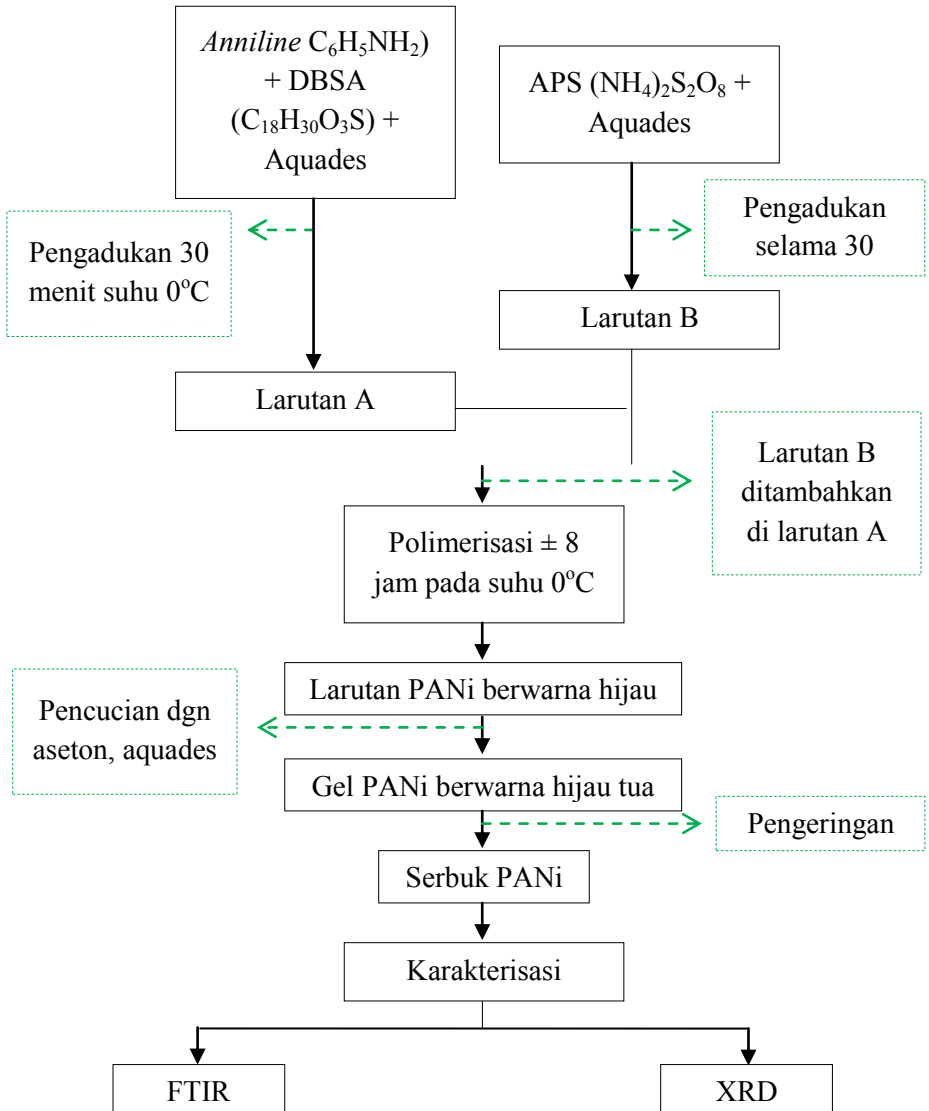
3.4 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Sintesis BAM Doping Ion Zn^{2+} $x=0.3$



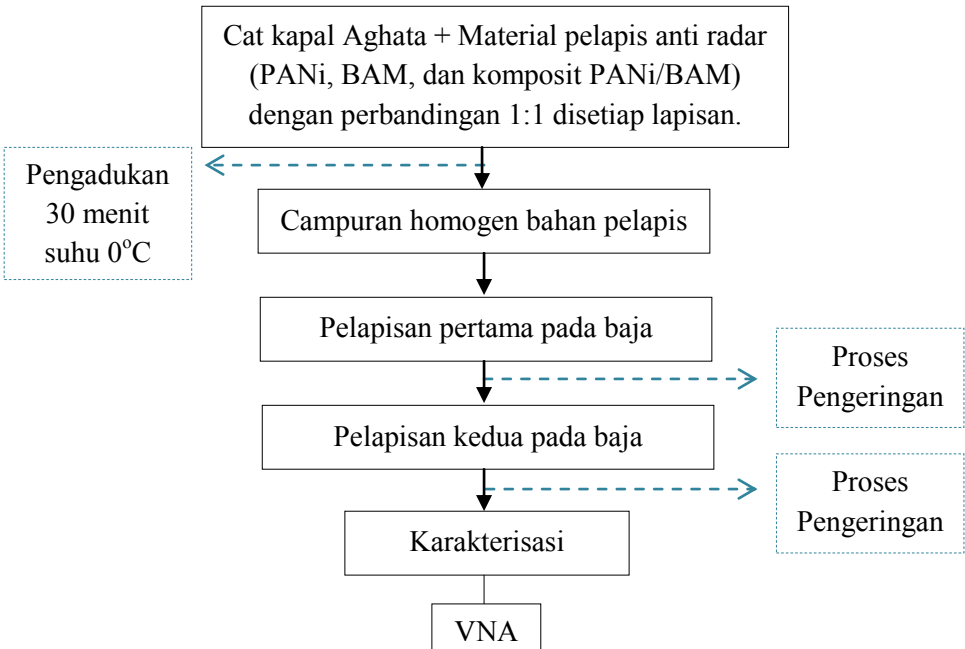
Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis BAM

3.4.2 Sintesis PANi dengan Doping DBSA



Gambar 3.3 Diagram Alir Sintesis PANi

3.4.3 Pelapisan *Double Layer* pada Plat Baja AH36



Gambar 3.4 Diagram Alir Pelapisan *Double Layer*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Sampel dan Analisis Fasa RAM

Pada penelitian ini, material penyerap radar yang akan dibuat terdiri dari dua material utama yaitu material konduktif PANi dan material magnetik BAM (barium m-hexaferrite) yang berbahan dasar alam dari pasir besi Kalimantan. Kedua material utama tersebut juga akan dijadikan material komposit PANi/BAM yang merupakan material pada penelitian ini. Sebelum dilakukan sintesis untuk mendapatkan material magnetik BAM, bahan dasar pasir besi ini diproses terlebih dahulu agar didapatkan konsentrasi unsur besi (Fe) yang lebih tinggi (proses pemurnian). Secara umum proses pemurnian ini merupakan proses gabungan dari separasi atau pemisahan antara material magnetik dan non magnetik serta proses pencucian dengan menggunakan media pelarut seperti aquades, alkohol, aseton dan sebagainya guna memisahkan dari material magnetik dengan material pengotor lainnya yang masih menempel.

Proses pemurnian yang terdapat pada penelitian ini, secara rinci dilakukan dengan melalui beberapa tahap. Langkah pertama yaitu dilakukan proses penumbukan yang bertujuan untuk mereduksi ukuran pada pasir besi, selanjutnya dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan khusus yaitu *siever* 170 mesh guna menghomogenkan ukuran pada serbuk besi, setelah itu serbuk besi dipisahkan dengan menggunakan magnet untuk memisahkan material magnetik dan nonmagnetik, yang kemudian dilakukan pencucian dengan menggunakan media aquades dan alkohol untuk menghilangkan material organik serta debu-debu yang menempel pada pasir besi dan selanjutnya dikeringkan dengan temperatur 100°C sampai didapatkan serbuk besi. Serbuk besi yang sudah diperoleh baik sebelum dan sesudah proses pe-murnian kemudian dihaluskan dengan menggunakan mortar sebelum dilanjutkan untuk karakterisasi dengan menggunakan XRF (*X-ray Flouresence*). Karakterisasi dengan

XRF dilakukan guna mengetahui prosentase (%) kandungan besi (Fe) dari serbuk besi tanah laut Kalimantan.

Tabel 4.1 Kandungan Unsur Fe pada serbuk besi sebelum dan sesudah proses pemurnian

No	Unsur	Persentase Unsur (%)	
		Sebelum	Sesudah
1	Si	3,300	-
2	P	0,200	-
3	Ca	2,460	0,350
4	V	0,035	-
5	Cr	0,100	0,097
6	Mn	0,310	0,260
7	Fe	91,04	98,55
8	Ni	0,073	0,080
9	Cu	0,760	0,100
10	Br	0,430	-
11	Rb	0,550	0,690
12	La	0,100	0,050
13	Eu	0,600	-
14	Os	0,200	-
15	Yb	-	0,080

Berdasarkan hasil pengujian XRF yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kandungan besi atau unsur Fe pada pasir besi Kalimantan sudah cukup tinggi, yaitu mencapai 91,04%. Meskipun masih ada beberapa unsur pengotor lainnya dalam persentase yang kecil seperti P, V, Cr, Ni, La, dan Os. Namun setelah dilakukan proses pemurnian, persentase unsur Fe pada pasir besi Kalimantan mengalami peningkatan yang besarnya mencapai 98,55%. Semakin meningkat konsentrasi Fe, bukan berarti jumlah atau banyaknya kandungan Fe dalam pasir besi juga semakin bertambah, hanya saja meningkatnya konsentrasi unsur Fe ini menandakan bahwa keberadaan unsur-unsur lain (pengotor) yang ada pada pasir besi sudah tidak dapat ditemukan lagi atau ikut terbuang bersama pelarut ketika berlangsungnya proses pemurnian.

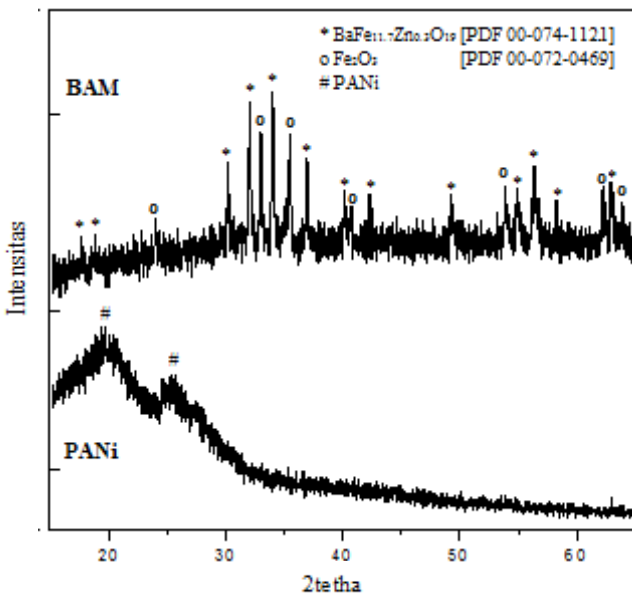
Pasir besi dengan konsentrasi yang tinggi ini kemudian digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan material magnetik barium m-hexaferrite (BAM). Proses pembuatan BAM pada dasarnya dapat dilakukan dengan menggunakan dua jenis metode yakni metode basah dan juga metode kering. Metode basah lebih sering digunakan dalam berbagai penelitian, hal ini dikarenakan metode basah lebih sederhana dan lebih efisien dibandingkan dengan metode kering. Dan dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk mensintesis material magnetik BAM dengan doping ion Zn^{2+} yaitu metode kopresipitasi, yang tidak lain merupakan salah satu jenis dari metode basah. Metode kopresipitasi memiliki banyak keunggulan, salah satunya yaitu proses pengendapannya yang sederhana yang dapat dilakukan pada temperatur rendah, sehingga waktu yang dibutuhkan relatif cepat dan juga biaya yang dibutuhkan relatif murah (ekonomis). Dari hasil kopresipitasi ini, didapatkan endapan prekursor BAM yang kemudian dikalsinasi dengan suhu $1000^{\circ}C$ yang selanjutnya dilakukan uji XRD guna mengetahui fasa-fasa apa yang akan terbentuk nantinya.

Sintesis BAM pada penelitian ini dilakukan dengan memberikan doping ion Zn^{2+} dengan konsentrasi $x=0,3$, yang mana pemberian doping pada konsentrasi tersebut mengacu dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu pada penelitian Amalia (2014). Berdasarkan penelitian tersebut, setelah dilakukan pengujian dengan XRD didapatkan fasa dominan BAM ($BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$) sebesar 85,52% dan juga fasa minor hematite (Fe_2O_3) sebesar 14,48%. Sedangkan pada penelitian ini diperoleh fasa dominan BAM [PDF 00-074-1121] sebesar 63,1% dan fasa minor hematite (Fe_2O_3) [PDF 00-072-0469] sebesar 36,9%. Adanya fasa minor pada kedua penelitian yang telah dilakukan ini menunjukkan bahwa dalam mensintesis material magnetik $BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$ dengan menggunakan metode kopresipitasi, tidak dapat menghasilkan fasa BAM ($BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$) secara utuh atau sempurna. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa faktor, salah satunya yaitu pada saat proses kalsinasi.

merupakan suatu proses pemanasan yang dilakukan untuk mendapatkan material yang diinginkan dengan meletakkan material tersebut pada suatu tungku yang tahan panas (*furnace*) yang kemudian temperatur dalam tungku diatur sesuai dengan temperatur kalsinasi dari material tersebut. Temperatur kalsinasi merupakan temperatur acuan dari suatu material tertentu untuk mendapatkan fasa yang baru atau dalam kata lain untuk menghilangkan fasa-fasa lain (fasa minor) atau pengotor dari material yang diujikan tersebut. Jika dilihat dari hasil penelitian ini, pada hasil uji XRD yang telah dilakukan masih didapatkan fasa minor atau pengotor yang cukup besar meskipun temperatur kalsinasi yang digunakan sudah sesuai dengan referensi yang ada. Dalam proses kalsinasi terdapat dua aspek yang penting yaitu temperatur kalsinasi dan juga tungku (*furnace*) atau tempat untuk kalsinasi. *Furnace* yang tidak stabil dapat menyebabkan ketidakstabilan temperatur saat berlangsungnya proses kalsinasi, sehingga dapat mengakibatkan hasil dari proses kalsinasi tidak sesuai dengan yang diinginkan bahkan juga dapat mengakibatkan kerusakan pada material yang diujikan. Namun dengan adanya fasa minor hematite (Fe_2O_3) yang terbentuk pada material BAM, diharapkan mampu memperlebar frekuensi serapan gelombang radar ketika material tersebut dijadikan sebagai *Radar Absorbing Material* (RAM).

Material penyerap gelombang radar yang baik dapat dibuat dari perpaduan material magnetik BAM dan polianilin (PANi) sebagai material konduktif. Material paduan tersebut efektif digunakan sebagai material penyerap radar pada daerah *X-Band* (Sudati, 2013). Seperti yang telah diketahui, polianilin (PANi) yang berfungsi sebagai material konduktif dapat disintesis dengan menggunakan beberapa metode. Salah satunya yaitu metode polimerisasi *in situ*, yang tidak lain merupakan metode yang telah digunakan dalam penelitian ini. Material konduktif polianilin (PANi) pada penelitian ini dibuat dari monomer anilin yang diberi doping dengan DBSA yang kemudian dilarutkan dalam air (larutan pertama). Dan proses polimerisasi dimulai saat

penambahan larutan inisiator (larutan APS) pada larutan pertama yang dilakukan selama kurang lebih 8 jam, yang kemudian hasilnya disaring dan dicuci dengan media aseton dan aquades yang selanjutnya dikeringkan selama 3 hari sampai di dapatkan serbuk PANi. Berdasarkan gambar 4.1 pola difraksi yang dihasilkan oleh material PANi pada penelitian ini, terlihat bahwa terdapat pelebaran puncak pada sudut $19,45^{\circ}$ dan $25,35^{\circ}$. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Li (2006), yang mana hasil XRD pada material PANi menunjukkan adanya pelebaran puncak pada sudut $19,6^{\circ}$ dan $25,5^{\circ}$. Perbedaan sudut yang terjadi disini dapat disebabkan karena adanya beberapa faktor yakni faktor instrumentasi dan polimerisasi, namun secara umum dapat disimpulkan bahwa sintesis material polianilin (PANi) pada penelitian ini dapat dikatakan berhasil terbentuk.



Gambar 4.1 Pola Difraksi Sinar-X BAM dan PANi

Selanjutnya untuk membuktikan bahwa doping ion Zn^{2+} telah berhasil disintesis pada material BAM, maka dapat kita lihat dari hasil analisis pada software *Rietica*. Dari hasil permodelan difraksi dengan menggunakan software tersebut, diperoleh nilai parameter kisi dan juga nilai parameter kecocokan (GoF). Dimana kedua faktor tersebut merupakan faktor utama yang dijadikan tolak ukur dari sebuah penelitian. Semakin kecil nilai GoF menandakan bahwa puncak-puncak pola difraksi dari hasil penelitian memiliki kecocokan yang tinggi dengan pola difraksi model, dan dari penelitian ini diperoleh nilai GoF senilai 2,461. Sedangkan nilai parameter kisi menunjukkan sebagai indikator berhasil atau tidaknya proses pendopongan suatu unsur dalam sebuah material.

Indikator keberhasilan pada proses pendopongan oleh ion Zn^{2+} pada material BAM, yang menggantikan posisi dari ion Fe^{3+} dapat dilihat pada nilai parameter kisinya. Sebelum dilakukan pendopongan oleh ion Zn^{2+} , material BAM memiliki parameter kisi $a=b=5,880 \text{ \AA}$ dan $c=23,123 \text{ \AA}$ dengan volume sel satuan $692,4 \text{ \AA}^3$ (Rosyidah, 2013). Sedangkan nilai parameter kisi setelah dilakukan doping dengan ion Zn^{2+} , pada penelitian ini diperoleh $a=b=5,881 \text{ \AA}$ dan $c=23,186 \text{ \AA}$ dengan volume sel satuan $694,4 \text{ \AA}^3$. Terjadinya perubahan parameter kisi dan volume sel satuan menandakan bahwa ion Zn^{2+} menggantikan posisi ion Fe^{3+} dalam struktur BAM, perubahan nilai dari parameter kisi ini terjadi disebabkan karena perbedaan jari-jari ioni antara ion Zn^{2+} ($0,074 \text{ nm}$) dan ion Fe^{3+} ($0,065 \text{ nm}$).

Pada penelitian ini, tidak dilakukan pengujian XRD pada material komposit PANi/BAM. Hal ini disebabkan, karena pola difraksi yang muncul pada material komposit PANi/BAM merupakan gabungan dari puncak-puncak utama yang dimiliki oleh PANi dan BAM, hanya saja intensitas yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan yang sebelumnya (Amalia, 2014). Hasil pengujian XRD yang menghasilkan puncak-puncak difraksi menggambarkan nilai kekristalan dari suatu material. Sedangkan lebar puncak difraksi menandakan ukuran kristal dari

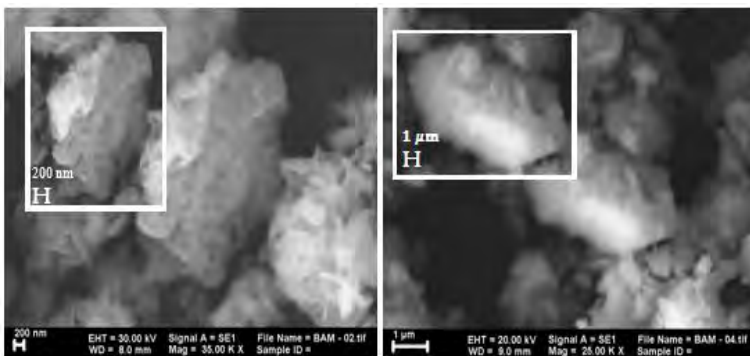
suatu material, semakin lebar puncak difraksinya maka material tersebut berorde nano begitu juga sebaliknya jika semakin sempit puncak difraksinya maka material tersebut akan berukuran mikro. Untuk mengetahui ukuran kristal atau partikel dari suatu material dapat dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan karakterisasi SEM.

4.2 Analisis Mikrostruktur RAM

Distribusi ukuran partikel dan morfologi dari RAM dapat kita amati melalui pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dari hasil pengujian SEM ini kita nantinya akan dapat mengetahui bentuk dan ukuran dari RAM, dimana dalam hal ini pengujian terhadap material BAM yang telah dibuat. Berdasarkan hasil pengamatan SEM yang terlihat pada gambar 4.2, diketahui bahwa bentuk morfologi dari partikel BAM yang telah dibuat tidak ada satupun yang berbentuk hexagonal dengan sempurna, namun disisi lain masih ada sebagian dari partikel tersebut yang berbentuk mirip dengan bentuk hexagonal. Selain itu untuk ukuran partikel BAM dari hasil pengamatan diketahui bahwa partikel BAM pada penelitian ini memiliki ukuran yang berkisar antara $\pm 2,5 \mu\text{m}$ – $\pm 4 \mu\text{m}$. Sedangkan untuk distribusi partikel-partikel dari material BAM terlihat bahwa distribusinya terdispersi dengan seragam dan juga sebagian ada yang mengumpul membentuk kumpulan banyak partikel.

Dalam pengujian dengan menggunakan SEM, ada beberapa sinyal yang perlu diperhatikan dari hasil pengujian tersebut. Pertama yaitu sinyal yang berasal dari pantulan elektron inelastis menghasilkan sebuah sinyal yang dikenal dengan sebutan sinyal elektron sekunder dan sinar x karakteristik, sedangkan yang kedua yaitu sinyal yang didapatkan dari pantulan elektron elastis disebut dengan sinyal *backscattered electron*. Perbedaan dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered* yaitu jika sinyal elektron sekunder menghasilkan topografi dari material yang dianalisis sehingga permukaan yang lebih tinggi akan berwarna

lebih cerah dibandingkan dengan permukaan yang rendah, sedangkan sinyal *backscattered electron* memberikan perbedaan berat molekul dari atom-atom atau partikel-partikel penyusun yang terdapat pada permukaan material yang dianalisis, dimana atom yang memiliki berat molekul yang tinggi akan berwarna lebih cerah dibandingkan dengan atom yang memiliki berat molekul yang rendah. Kontras warna yang terjadi ditimbulkan karena sebuah partikel yang dikenai oleh elektron akan dapat memancarkan elektron yang baru, sehingga jika elektron mengenai suatu atom atau partikel yang memiliki berat molekul yang lebih besar maka elektron yang dipantulkan tersebut juga akan bertambah banyak sehingga tampak lebih cerah jika dibandingkan dengan atom yang berdensitas rendah. Begitu juga jika elektron mengenai suatu permukaan yang lebih tinggi maka elektron yang dilepaskan juga semakin banyak sehingga menghasilkan gambar yang lebih cerah jika dibandingkan dengan permukaan yang lebih rendah. Berikut adalah gambar hasil pengujian SEM pada material BAM.

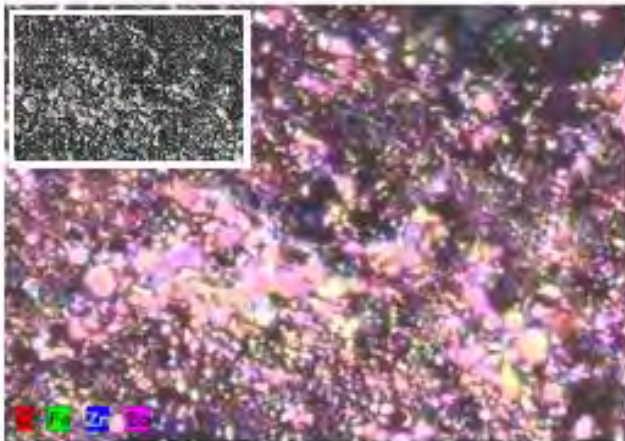


Gambar 4.2 Hasil Pengamatan SEM pada Material BAM

Selanjutnya untuk mengenali jenis-jenis atom yang terdapat pada suatu permukaan dari sebuah material yang mengandung banyak atom dapat dengan pengujian SEM EDX. EDX (*Energy Dispersive X-ray*) dihasilkan dari sinar x karakteristik dengan

menembakkan pada sebuah permukaan yang ingin diketahui komposisinya. Setelah sinar x ditembakkan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili dari setiap unsur yang terkandung pada permukaan tersebut. Dengan EDX kita dapat membuat pemetaan elemen dengan memberikan warna yang berbeda-beda dari masing-masing elemen yang terkandung pada permukaan material. Selain itu, SEM EDX juga dapat digunakan untuk menganalisis secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen atau unsur yang terkandung pada permukaan tersebut. Berikut ini gambar hasil pengujian SEM EDX pada material BAM.

Kandungan elemen ataupun unsur yang terdapat pada material BAM yang telah terdoping ion Zn^{2+} adalah Ba, Fe, Zn dan O. Berdasarkan pemetaan elemen dengan warna yang berbeda, kandungan unsur yang terdapat pada BAM tersebut akan terlihat menyebar secara merata. Adanya elemen Zn menandakan bahwa material BAM berhasil terdoping. Berikut adalah gambar dari hasil pengujian SEM-EDX dan tabel persentase persebaran unsur atau atom pada material magnetik BAM dengan doping ion Zn ($BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O_{19}$).



Gambar 4.3 Hasil Pengujian SEM EDX pada Material BAM

Tabel 4.2 Persentase Persebaran Elemen Penyusun BAM

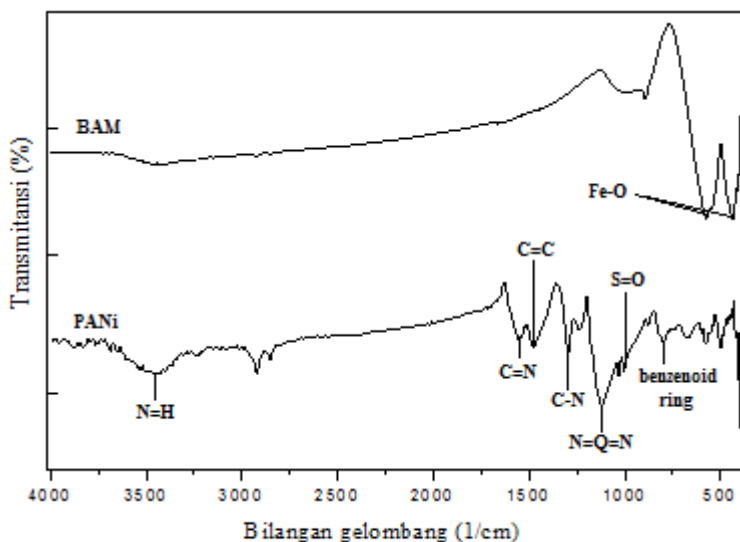
No	Elemen	Nomor atom	Atom [at.%]
1	O	8	95,08
2	Fe	26	4,44
3	Zn	30	0,24
4	Ba	56	0,24

4.3 Analisis Ikatan Molekular BAM dan PANi

Material RAM pada penelitian ini terdiri dari PANi, BAM serta komposit BAM/PANi. Perubahan warna dari putih keruh menjadi hijau tua dalam proses polimerisasi in situ pada sintesis PANi menunjukkan adanya reaksi kimia atau munculnya ikatan. Ikatan antar permukaan itu sendiri terjadi karena interaksi antara adhesi dan kohesi dari pergerakan molekuler pada material penyusunnya tersebut, begitu juga pada sintesis material BAM. Untuk mengidentifikasi jenis ikatan molekuler serta gugus fungsi yang terbentuk pada masing-masing material tersebut maka dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan FTIR. Pengujian FTIR dapat menunjukkan serapan panjang gelombang yang terjadi berdasarkan ikatan molekuler pada setiap struktur molekul dari masing-masing material.

Terbentuknya gugus fungsi dari suatu material terjadi ketika sebuah sinar inframerah dilewatkan pada suatu material, kemudian beberapa frekuensi dari sinar inframerah tersebut akan diserap oleh molekul pada material itu sedangkan frekuensi lainnya akan diteruskan. Transisi yang terjadi pada FTIR ini berhubungan dengan perubahan vibrasi yang terjadi pada molekul dari material tersebut. Untuk bervibrasi atom-atom pada material tersebut akan menyerap frekuensi tertentu dari gelombang inframerah, dan adanya ikatan molekuler dapat diketahui melalui identifikasi frekuensi sebagai puncak absorpsi dalam spektrum inframerah (Banwell, 1994). Namun demikian tidak semua ikatan dapat menyerap energi inframerah meskipun

meskipun mempunyai frekuensi radiasi yang sesuai. Hal ini dikarenakan hanya ikatan yang mempunyai momen dipole saja yang dapat menyerap radiasi inframerah (Sastrohamidjojo, 1992). Berikut ini adalah hasil pengujian FTIR dari material PANi dan BAM.



Gambar 4.4 Spektrum FTIR PANi dan BAM

Dari hasil pengujian FTIR yang telah dilakukan didapatkan bilangan gelombang dari masing-masing material yang nantinya akan dibandingkan dengan bilangan gelombang referensi, sehingga akan didapatkan gugus fungsi dari kedua material yang diujikan yakni material konduktif PANi dan material magnetik BAM.

Tabel 4.3 Data Spektroskopi FTIR PANi dan BAM

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)*	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
			BAM	PANi
1	<i>metal oxide stretching</i>	433	441,71	-

2	<i>metal oxide stretching</i>	581	576,74	-
3	<i>benzenoid ring</i>	807	-	798,56
4	<i>S=O stretching</i>	991	-	1004,95
5	<i>N=Q=N stretching</i>	1130	-	1120,68
6	<i>C-N stretching</i>	1350	-	1296,21
7	<i>C=C stretching</i>	1501	-	1471,74
8	<i>C=N stretching</i>	1639	-	1550,82
9	<i>N=H stretching</i>	3427	-	3446,91

*bilangan gelombang referensi (Yang, 2010; Ma, 2010)

Berdasarkan data hasil FTIR pada tabel 4.3, diketahui bahwa bilangan gelombang referensi dengan bilangan gelombang dari material uji dapat dibilang hampir sama. Pergeseran puncak atau perubahan nilai dari bilangan gelombang yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya yaitu saat dilakukan proses sintesis material BAM dan polimerisasi PANi. Namun dengan munculnya puncak di $441,71 \text{ cm}^{-1}$ serta $576,74 \text{ cm}^{-1}$ pada material BAM, hal ini membuktikan bahwa pembentukan sampel BAM melalui sintesis dengan metode kopresipitasi terbukti tercapai. Pasalnya kedua puncak tersebut merupakan karakteristik absorpsi ikatan Fe-O (*metal oxide stretching*) yang menandakan terbentuknya BAM.

Selain itu dengan munculnya *S=O stretching* pada PANi, hal ini menunjukkan bahwa adanya ikatan yang terbentuk oleh dopan DBSA. Sehingga pada proses pembuatan material polianilin (PANi) dengan pemberian dopan DBSA terbukti menunjukkan keberhasilan. Sedangkan untuk material komposit PANi/BAM pengujian FTIR ini tidak dilakukan, hal tersebut dikarenakan bahwa puncak-puncak yang akan muncul nantinya merupakan gabungan dari puncak-puncak yang dimiliki oleh masing-masing material penyusunnya yaitu material PANi dan BAM, hanya saja intensitas absorpsinya lebih rendah (Amalia, 2014).

4.4 Analisis Sifat Magnetik BAM

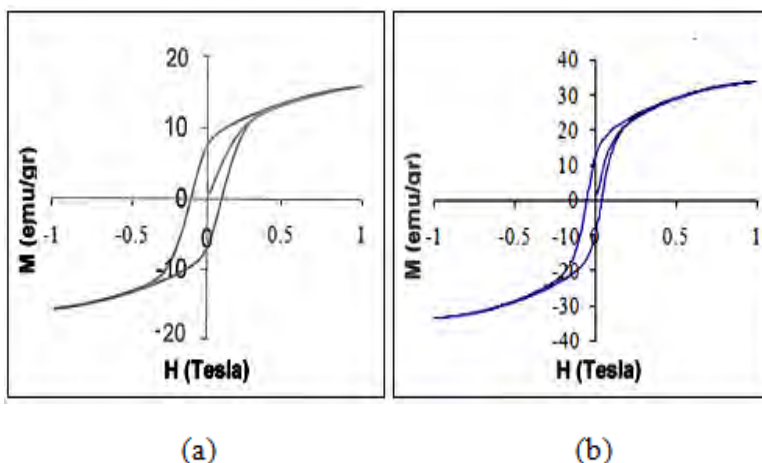
Material magnetik BAM yang berperan sebagai RAM dapat diketahui sifat magnetiknya dengan melakukan pengujian VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*). Adanya proses pendopongan pada material BAM dapat memengaruhi sifat kemagnetannya. Dan sifat kemagnetan dari material magnetik BAM ini dapat dianalisis dari kurva histerisis yang diperoleh dari hasil pengujian VSM tersebut, dimana pada kurva histerisis nantinya dapat kita ketahui besar dari nilai magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanensi (M_r) dan juga medan koersivitas (H_c) dari masing-masing material. Nilai magnetisasi saturasi atau magnetisasi jenuh (M_s) yang dihasilkan menunjukkan suatu keadaan dimana keadaan tersebut sudah dalam keadaan jenuh sehingga nilai medan magnet (B) akan selalu konstan walaupun medan eksternal (H) terus dinaikkan. Selain itu nilai magnetisasi saturasi ini juga dapat mempresentasikan dari kemampuan partikel untuk mempertahankan kesearahan domain-domain magnetiknya ketika masih dikenai medan magnet luar atau dalam kata lain bisa diartikan besarnya medan magnet luar yang dibutuhkan untuk proses magnetisasi. Sedangkan untuk magnetisasi remanensi atau remanensi magnetik merupakan sisa dari medan magnet (M) yang ada dalam proses magnetisasi saat medan magnet luar (H) dihilangkan atau telah bernilai nol. Dan untuk medan koersivitas sendiri merupakan besarnya medan magnet luar yang dibutuhkan untuk menghilangkan sifat magnet dari suatu material ketika sedang dimagnetisasi atau membuat magnetisasi menjadi nol. Nilai medan koersivitas ini mampu menunjukkan sifat kemagnetan dari suatu material dimana sifat kemagnetan ini bergantung pada ukuran, orientasi kristal, struktur, kristalinitas, serta morfologi dari material tersebut.

Material BAM ($BaFe_{12}O_{19}$) yang merupakan bahan ferromagnetik serta memiliki struktur hexagonal ini, kemudian akan dilakukan proses pendopongan dengan ion doping Zn^{2+} yang bertujuan untuk menggantikan posisi ion Fe^{3+} yang ada dalam material BAM. Adanya proses pendopongan dengan ion Zn^{2+}

dapat menyebabkan perubahan sifat magnetik pada material BAM, dimana sifat dari material BAM yang awalnya bersifat keras (*hard magnetic*) dapat tereduksi menjadi *soft magnetic* atau bersifat lemah. Perbedaan dari kedua sifat magnetik ini terletak pada nilai medan koersivitasnya (H_c), dimana pada material dengan sifat *hard magnetic* memiliki nilai medan koersivitas serta magnetisasi yang relatif besar sehingga agar magnetisasi bernilai nol maka medan luar yang dibutuhkan pada proses magnetisasi ini juga harus bernilai besar pula. Medan koersivitas yang besar menandakan bahwa arah dari orientasi dipol-dipol magnetik yang dimiliki oleh material magnetik tersebut memiliki arah orientasi yang sama, oleh karena itu untuk menyearahkan kembali dari arah dipol-dipol magnetik tersebut maka diperlukan medan magnet luar yang besar. Keadaan seperti ini berkebalikan dengan material yang memiliki sifat *soft magnetic* dimana arah dari dipol-dipol magnetik pada material tersebut terlihat memiliki arah yang acak. Sehingga untuk menyearahkan arah dari dipol-dipol magnetik tersebut cukup dengan memberikan nilai medan magnet luar yang bernilai rendah sudah dapat mengubah atau menyearahkan arah dari dipol-dipol magnetik yang terdapat pada material tersebut.

Berdasarkan pembahasan yang sebelumnya, diketahui bahwa material BAM dengan doping ion Zn^{2+} ($BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O_{19}$) yang diperoleh dari penelitian ini tersusun atas dua fasa, dimana dari hasil analisis kuantitatif dengan menggunakan software *Rietica* diperoleh persentase fasa yang terbentuk pada material BAM. Untuk fasa pertama yaitu fasa hematit sebesar 97,67% sedangkan fasa yang kedua yaitu fasa BAM sebesar 2,33%. Dari hasil analisis tersebut fasa yang berperan sebagai fasa dominan pada material ini adalah fasa hematit. Hematit pada suhu ruang bersifat *soft ferromagnetik* dan juga bersifat superparamagnetik. Sifat superparamagnetik ini termasuk dalam *soft magnetic*, tetapi masih memiliki nilai magnetisasi saturasi yang tinggi. Dengan adanya fasa hematit yang terbentuk pada material BAM ini, dapat menunjukkan bahwa material BAM ($BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O_{19}$) yang

diperoleh dari hasil sintesis pada penelitian ini memiliki sifat magnetik yang lemah (*soft magnetic*). Oleh karena itu, maka perlu dilakukan pengujian VSM untuk mengetahui kemagnetan dari masing-masing material yang telah dihasilkan. Berikut ini adalah hasil pengujian VSM dari material magnetik BAM baik sebelum dan sesudah dilakukan proses pendopingan dengan ion Zn^{2+} .



Gambar 4.5 Kurva Histerisis (a) BAM tanpa Doping dan (b) BAM Doping Ion Zn^{2+}

Tabel 4.4 Nilai Remanensi dan Medan Koersivitas Material BAM

Material	Remanensi (emu/gr)	Medan Koersivitas (T)
BAM tanpa doping	8,334	0,107
BAM ($BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O_{19}$)	12,38	0,043

Berdasarkan data hasil VSM pada tabel 4.4, diketahui bahwa medan koersivitas dari material BAM yang dihasilkan setelah dilakukan proses pendopingan dengan ion Zn^{2+} mengalami penurunan. Hal seperti ini disebabkan, karena penambahan ion Zn^{2+} dapat mereduksi sifat anisotropik dari material BAM dengan

mengurangi jumlah magneton bohr yang mana awalnya sebesar $5\mu_B$ (Fe^{3+}) menjadi $2\mu_B$ (Zn^{2+}) setelah dilakukannya proses pendopingan tersebut. Dengan berkurangnya magneton bohr maka dapat mengakibatkan nilai medan koersivitasnya juga ikut menurun (Raosler, 2003). Ion Zn^{2+} yang tersubstitusikan ke dalam material BAM cenderung menempati posisi tetrahedral dalam struktur kristal BAM, sehingga dengan adanya peristiwa ini dapat membuat momen magnetik negatif pada material magnetik BAM mengalami penurunan dan penurunan ini menyebabkan medan koersivitasnya juga mengalami penurunan serta mengakibatkan sifat magnetik BAM yang *hard magnetic* tereduksi menjadi *soft magnetic* (Pullar, 2012).

4.5 Karakterisasi Impedansi RAM

Impedansi karakteristik atau impedansi yang dimiliki oleh suatu material penyerap radar (RAM) mempunyai hubungan dengan *reflection loss* yang dimiliki oleh material tersebut. Dimana untuk mengetahui *reflection loss* atau rugi refleksi maka kita harus mengetahui impedansi karakteristik material tersebut terlebih dahulu. Impedansi karakteristik merupakan konsekuensi dari permeabilitas relatif (μ_r) dan permitivitas relatif (ϵ_r) yang mempunyai nilai kompleks pada suatu bahan. Sehingga kita harus memerlukan suatu material yang memiliki μ_r dan ϵ_r yang cocok dengan μ dan ϵ udara atau vakum agar terjadi resonansi impedansi sehingga dihasilkan *reflection loss* yang cukup besar. Pada penelitian ini, untuk mengetahui nilai impedansi dari material penyerap radar dilakukan pengujian dengan menggunakan VNA dan LCR. Dari hasil pengujian VNA nantinya akan didapatkan nilai parameter reflektansi (S_{11}) serta parameter transmitansi (S_{21}) yang kemudian akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.5) guna mendapatkan nilai impedansi dari masing-masing variasi komposisi RAM yang digunakan, dan variasi komposisi RAM yang digunakan adalah PANi-PANi/BAM (P-PB), PANi/BAM-PANi (PB-P), BAM-PANi/BAM (B-PB) serta PANi/BAM;BAM (PB-B). Sedangkan

pada pengujian LCR, nantinya juga akan didapatkan nilai impedansi dari masing-masing material penyusun pada RAM yaitu PANi, BAM dan komposit PANi/BAM. Namun nilai impedansi yang dihasilkan pada pengujian LCR ini nilainya terbatas dan juga bergantung dari frekuensi yang ada pada alat tersebut, dimana frekuensi yang terdapat hanya berkisar dari 50Hz sampai dengan 1MHz. Berikut ini adalah hasil perhitungan nilai impedansi yang didapatkan berdasarkan dari hasil pengujian dengan VNA pada rentang frekuensi *X-Band*.

Tabel 4.5 Nilai Impedansi RAM

No	Variasi Komposisi RAM	Impedansi (Ω)
1	P-PB	406,142
2	PB-P	478,438
3	B-PB	612,564
4	PB-B	632,216

Berdasarkan nilai impedansi pada tabel 4.4, komposisi P-PB memiliki nilai impedansi yang paling rendah diantara variasi komposisi RAM yang lainnya. Dimana pada komposisi tersebut material PANi dilapiskan pada lapisan pertama sedangkan untuk komposit PANi/BAM pada lapisan kedua (lapisan terluar). Sehingga secara otomatis jika ada gelombang elektromagnetik yang menembus material tersebut, maka akan langsung mengenai komposit PANi/BAM terlebih dahulu. Komposit PANi/BAM merupakan perpaduan dari material konduktif PANi dan material magnetik BAM. Jika suatu gelombang elektromagnetik mengenai PANi yang berperan sebagai material konduktif, maka medan listrik yang terdapat pada gelombang tersebut akan diserap oleh material PANi serta menyebabkan timbulnya gaya coulomb. Adanya gaya coulomb dapat menimbulkan adanya arus listrik, dimana arus listrik tersebutlah yang menyebabkan timbulnya

panas sehingga dapat dikatakan bahwa energi dari gelombang elektromagnetik terkonversi menjadi energi panas. Selain itu, dengan adanya arus listrik juga dapat menimbulkan adanya medan magnet, dan medan magnet yang ditimbulkan oleh material konduktif PANi ini diperkuat oleh medan magnet yang berasal dari material magnetik BAM. Sehingga kedua medan magnet tersebut akan saling bersuperposisi destruktif dengan medan magnet yang berasal dari gelombang elektromagnetik (dalam hal ini gelombang mikro) yang datang sehingga gelombang mikro tersebut tidak akan dapat diterima kembali oleh *receiver* radar. Hal seperti ini merupakan prinsip dari *active loading* yang tidak lain yaitu untuk meminimalkan *radar cross section*.

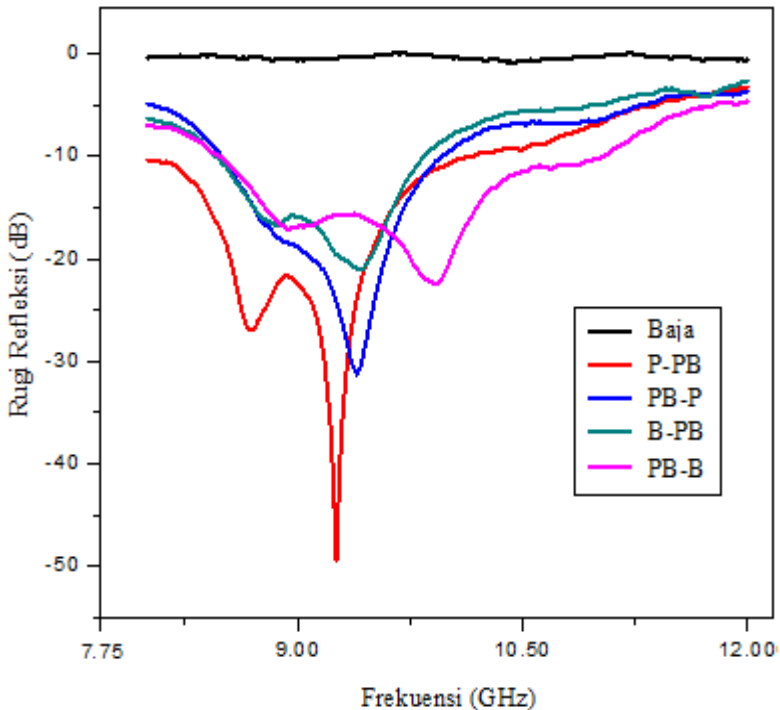
Menurut penelitian Phang (2008), disebutkan bahwa material penyerap gelombang mikro yang terdiri dari bagian sifat yang dapat membuat gelombang mikro tersebut tertembus ke daerah medan magnet dan medan listrik dapat mengakibatkan energi yang dibawa gelombang mikro tersebut hilang atau energinya terserap oleh material RAM. Semakin besar rugi energi yang hilang menandakan terjadinya resonansi impedansi. Sedangkan resonansi impedansi dapat terjadi ketika permeabilitas dan permeativitas yang dimiliki oleh material pada RAM memiliki nilai yang sesuai dengan permeabilitas dan permeativitas pada udara. Sehingga dapat disimpulkan bahwa material RAM yang memiliki nilai impedansi yang hampir sama dengan impedansi udara menyebabkan semakin besarnya rugi refleksi yang dihasilkan oleh material RAM tersebut. Hal ini dikarenakan kesesuaian impedansi dapat membatalkan sinyal yang tersebar agar tidak terpantul kembali. Dari pengujian VNA ini, selain diperoleh parameter reflektansi dan transmitansi juga diperoleh nilai impedansi yang terdapat pada diagram smith. Nilai impedansi pada diagram smith bukanlah nilai impedansi dari masing-masing komposit RAM yang sebenarnya, karena nilai impedansi yang tertera pada diagram smith tersebut merupakan kesesuaian antara impedansi masukan dengan impedansi dari saluran. Dimana

impedansi saluran ini merupakan impedansi yang dimiliki oleh alat VNA, yang memiliki impedansi sebesar 50Ω . Sehingga impedansi karakteristik yang dihasilkan memiliki nilai yang tidak terlalu jauh dengan nilai dari impedansi saluran. Oleh karena itu untuk mengetahui nilai impedansi yang lebih akurat maka dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.5), yang hasilnya ditunjukkan pada tabel 4.5 diatas.

4.6 Analisis Penyerapan Gelombang Mikro pada Frekuensi *X-Band*

Analisis terhadap besar penyerapan atau *reflection loss* (RL) dari suatu gelombang elektromagnetik yang mengenai sebuah material dapat diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan *Vector Network Analyzer* atau VNA. Pengujian dengan VNA ini dilakukan pada rentang frekuensi yang terdapat pada daerah *X-Band* yaitu 8-12 GHz. Dimana pada daerah *X-Band* ini merupakan daerah yang biasa digunakan untuk operasi gelombang mikro pada pesawat siluman atau teknologi militer yang lainnya. Sedangkan untuk material yang digunakan adalah material RAM yang terdiri dari material magnetik BAM (B), PANi (P) serta komposit PANi/BAM (PB) yang kemudian dilapiskan pada sebuah baja dengan pelapisan *double layer* yang mempunyai ketebalan 4 mm dimana ketebalan tiap *layer* yaitu 2 mm. Ketebalan 4 mm ini dipilih karena untuk memenuhi syarat terjadinya penyerapan gelombang mikro yang optimal yang mana ketebalan yang harus digunakan tersebut maksimal bernilai seperempat dari panjang gelombangnya. Berdasarkan penelitian Feng (2007), pada proses pelapisan RAM tidak hanya memiliki kemampuan menyerap gelombang datang pada frekuensi yang lebar, tetapi ketebalan RAM juga dapat berpengaruh dalam optimasi pada penyerapan gelombang radar. Pelapisan material RAM pada baja dilakukan dengan cara mencampurkan material RAM dengan cat, dimana material RAM dalam hal ini berperan sebagai *filler* sedangkan cat berperan sebagai *binder*. Campuran dari keduanya tersebut merupakan komposit isotropik karena

penguatannya ke segala arah dan juga tersebar secara merata. Pelapisan *double layer* dilakukan dengan menggunakan metode *dallenbach layer*, dengan variasi desain material RAM yang digunakan adalah PANi;PANi/BAM (P-PB), PANi/BAM;PANi (PB-P), BAM;PANi/BAM (B-PB) dan juga PANi/BAM;BAM (PB-B).



Gambar 4.6 Grafik Rugi Refleksi pada Pelat Baja Sebelum dan Sesudah dilapisi Material RAM

Berdasarkan hasil pengujian VNA pada gambar 4,6 dapat disimpulkan bahwa pelat baja yang sebelum dilakukan proses pelapisan, pada dasarnya bersifat memantulkan. Hal ini dikarenakan rugi refleksi atau *reflection loss* (RL) maksimum yang dihasilkan hampir mendekati nol yakni hanya bernilai -0,82

dB. Seperti yang diketahui bahwa jika rugi refleksi yang diketahui bernilai nol maka koefisien refleksi yang dihasilkan akan bernilai 1, dimana jika koefisien refleksi ini bernilai satu (1) maka tidak lain material tersebut merupakan material yang bersifat memantulkan sehingga impedansi yang di miliki oleh material tersebut juga nol. Sedangkan untuk pelat baja yang telah dilapisi oleh material RAM juga dapat disimpulkan bahwa setelah proses pelapisan tersebut terjadi perubahan nilai rugi refleksinya, dimana rugi refleksi maksimum yang dihasilkan memiliki besar yang berbeda-beda tergantung dari material RAM yang dilapiskan.

Tabel 4.6 Nilai Rugi Refleksi Maksimum dan Koefisien Refleksi pada RAM

Material	Rugi refleksi (dB)	Z_{in} (Ω)	Koefisien refleksi (Γ)
PANi*	-24,79	44,517	0,057
BAM*	-12,52	30,866	0,237
PB*	-30,91	47,231	0,028
P-PB	-49,57	50,333	0,003
PB-P	-31,30	52,799	0,027
B-PB	-22,41	42,953	0,076
PB-B	-22,07	42,696	0,079

*nilai rugi refleksi maksimum RAM *single layer* (Amalia, 2014)

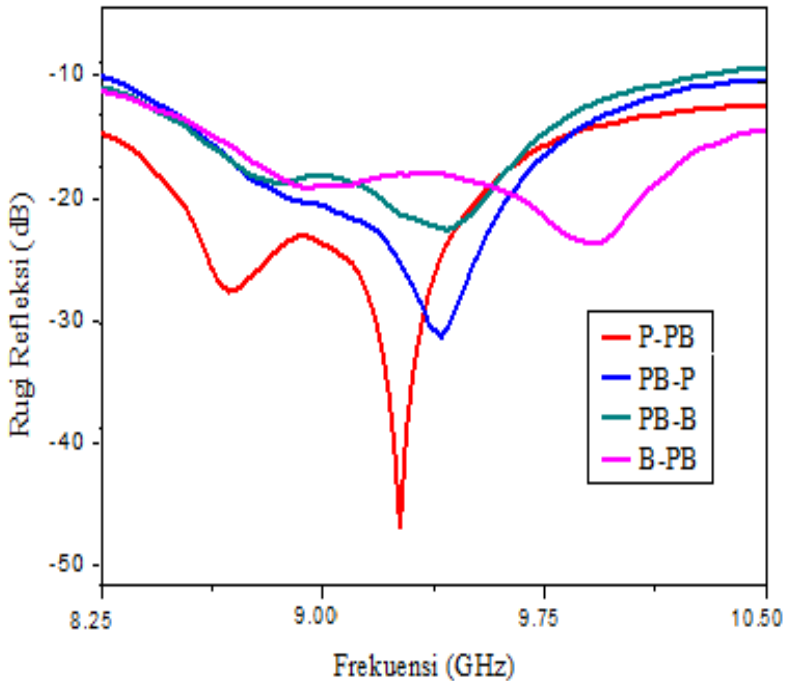
Penyerapan gelombang mikro dapat dilihat dari besar kecilnya nilai rugi refleksi yang dihasilkan. Semakin besar nilai negatif dari rugi refleksinya maka semakin besar pula daya serap yang dimiliki oleh material tersebut. Penyerapan gelombang mikro dapat terjadi sebagai akibat dari masuknya atau merambatnya suatu gelombang mikro pada suatu medium yang besarnya bergantung berdasarkan dari sifat material, geometri permukaan,

dan karakteristik umum yang dimiliki oleh material tersebut yang tidak lain adalah pemantulan atau refleksi, pembiasan (refraksi), hamburan (difraksi) serta penyerapan (absorpsi) (Ludwig, 2011).

Prinsip penyerapan gelombang mikro dari pelapisan material RAM pada baja tidak lain yaitu untuk memperoleh nilai refleksi yang rendah dengan menerapkan kesesuaian impedansi atau biasa dikenal dengan istilah *impedance matching*. *Impedance matching* atau kesesuaian impedansi yang dimaksudkan ini yaitu impedansi masukan dengan impedansi saluran harus sesuai ($Z_{in} = Z_0$), dimana nilai impedansi saluran pada alat ini bernilai 50 Ω . Sehingga dengan menerapkan prinsip tersebut maka impedansi masukan atau impedansi yang dimiliki oleh material (Z_{in}) harus mendekati 50 Ω . Semakin sama atau sesuai maka rugi refleksi yang dihasilkan juga semakin besar yakni bernilai mendekati nol. Dan hal ini dapat dibuktikan dari hasil pengujian yang terlihat pada tabel 4.6. Berdasarkan tabel tersebut, material P-PB (PANi; PANi/BAM) memiliki impedansi yang paling mendekati dengan impedansi saluran 50 Ω serta juga memiliki rugi refleksi yang paling besar yaitu -49,569 dB dan juga koefisien refleksi yang paling besar 0,003.

Koefisien refleksi (T) yang dihasilkan tergantung pada jenis material RAM yang digunakan. Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan oleh Amalia (2014), yakni dilakukan pelapisan *single layer* material RAM pada pelat baja, diperoleh bahwa koefisien refleksi yang dihasilkan oleh material komposit PANi/BAM memiliki nilai yang paling besar. Hal seperti ini disebabkan bahwa material komposit PANi/BAM jika dikenai gelombang elektromagnetik maka baik medan listrik atau medan magnet yang dihasilkan oleh material tersebut akan saling bersuperposisi destruktif dengan medan listrik ataupun medan magnet dari gelombang elektromagnetik yang mengenyainya. Serta superposisi destruktif yang dihasilkan dari material tersebut bernilai lebih besar dari pada yang dihasilkan oleh kedua material RAM yang lainnya yakni material PANi dan BAM. Sehingga gelombang elektromagnetik yang datang tidak dapat diterima kembali oleh

receiver atau dalam kata lain semuanya diserap oleh material tersebut meskipun masih ada yang dipantulkan namun sifatnya sangat lemah.



Gambar 4.7 Grafik Rugi Refleksi Pelapisan *Double Layer* RAM pada Frekuensi *X-Band*

Begitu juga pada penelitian ini, setelah dilakukan pelapisan *double layer* pada pelat baja diperoleh bahwa koefisien refleksi baja yang dihasilkan oleh material RAM semuanya mengalami peningkatan dan pelebaran penyerapan, lihat gambar 4.7. Keadaan seperti ini dipengaruhi oleh karakteristik dari masing-masing material RAM itu sendiri. Namun terlepas dari itu semua, secara umum material RAM yang digunakan dari kedua penelitian tersebut dapat diterapkan sebagai material penyerap

radar pada daerah frekuensi *X-Band*. Hanya saja tidak semua material RAM dapat efektif diterapkan, dan dari penelitian ini material PANi;PANi/BAM (P-PB) merupakan material yang paling efektif untuk diterapkan sebagai RAM pada daerah *X-Band*. Material komposit PANi/BAM dibuat agar mendapatkan rugi refleksi yang besar sedangkan pelapisan *double layer* dilakukan agar didapatkan pita penyerapan yang lebar. Berdasarkan dipotesa tersebut maka dapat kita buktikan dengan melakukan pengujian VNA pada material komposit PANi/BAM yang dilapiskan pada pelapisan *double layer*. Berikut ini tabel persentase pelebaran pita penyerapan dan peningkatan rugi refleksinya.

Tabel 4.7 Perbandingan Pita Penyerapan RAM pada Frekuensi *X-Band*

Material	Lebar pita serap (GHz)	% pelebaran pita serap dari			RL (dB)	% peningkatan RL dari		
		B	P	PB		B	P	PB
PANi*	1,4				-24,79			
BAM*	1,3				-12,63			
PB*	0,9				-21,91			
P-PB	1,45	-	3,57	61,1	-49,57	-	99,9	126
PB-P	1,6	-	14,3	77,8	-31,30	-	26,3	42,8
B-PB	1,75	34,6	-	94,4	-22,41	77,4	-	2,28
PB-B	1,8	38,5	-	100	-22,07	74,7	-	0,73

*nilai rugi refleksi maksimum RAM *single layer* (Amalia, 2014)

Berdasarkan dari tabel 4.8, dengan adanya pelapisan *double layers* serta komposit PANi/BAM (PB) dapat meningkatkan pelebaran penyerapan serta rugi refleksi dari material RAM pada rentang frekuensi *X-Band*. Struktur pelapisan *double layer* dapat menyebabkan perbedaan penyerapan pada panjang gelombang tertentu berdasarkan *filler* dari masing-masing layer. Dimana

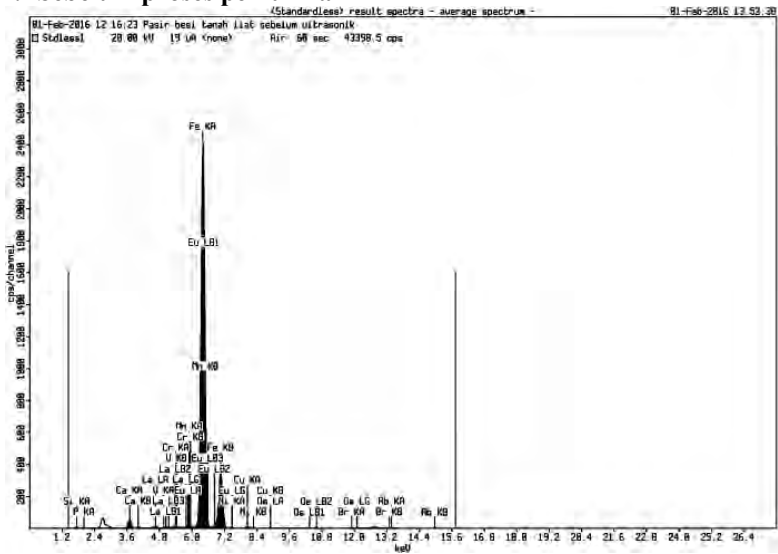
dengan adanya perbedaan penyerapan ini dapat mengakibatkan terjadinya pelebaran pita penyerapan gelombang mikro. Sedangkan dengan adanya komposit PANi/BAM maka akan dapat meningkatkan rugi refleksi dari RAM. Dari semua pelapisan yang ada, pelapisan P-PB merupakan pelapisan yang paling efektif untuk diterapkan sebagai RAM. Hal ini dikarenakan pada pelapisan P-PB ia mampu meningkatkan rugi refleksi sekaligus lebar pita penyerapan dengan persentase yang paling besar jika dibandingkan dengan pelapisan material komposit yang lain. Namun secara umum dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa pelapisan *double layer* material komposit RAM efektif diterapkan pada rentang frekuensi daerah *X-Band*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

Hasil Pengujian XRF Pasir Besi Tanah Laut Kalimantan

1. Sebelum proses pemurnian



01-Feb-2016 13:52:07

Sample results - Averages

Page 1

Sample ident
Pasir besi tanah liat sebelum ultrasonik

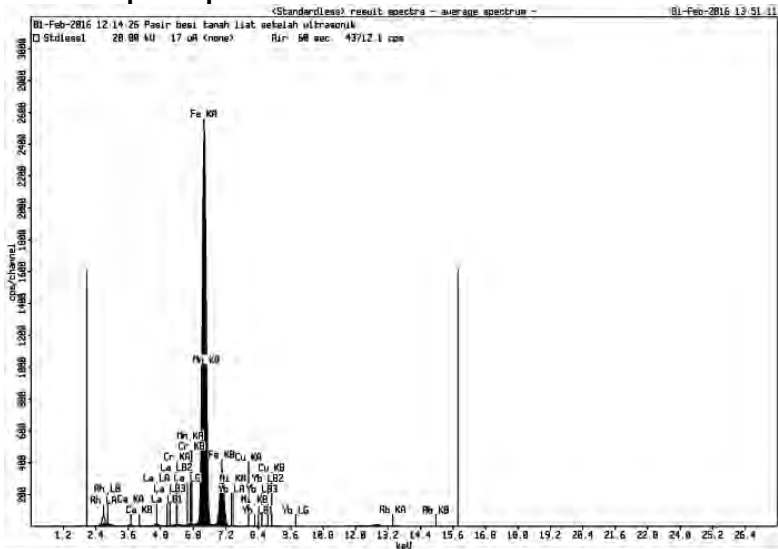
Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	01-Feb-2016 11:36:16
Measurement period - end	01-Feb-2016 12:16:23
Position	6

Compound	Si	P	Ca	V	Cr	Mn
Conc	3.3 +/- 0.05	0.2 +/- 0.02	2.46 +/- 0.008	0.035 +/- 0.003	0.100 +/- 0.005	0.31 +/- 0.02
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Fe	Ni	Cu	Br	Rb	La
Conc	91.04 +/- 0.19	0.073 +/- 0.007	0.76 +/- 0.01	0.43 +/- 0.004	0.55 +/- 0.07	0.10 +/- 0.01
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Eu	Os
Conc	0.60 +/- 0.12	0.2 +/- 0.03
Unit	%	%

2. Setelah proses pemurnian



01-Feb-2016 13:50:26

Sample results - Averages

Page 1

Sample ident
Pasir besi tanah liat setelah ultrasonik

Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	01-Feb-2016 11:34:24
Measurement period - end	01-Feb-2016 12:14:26
Position	5

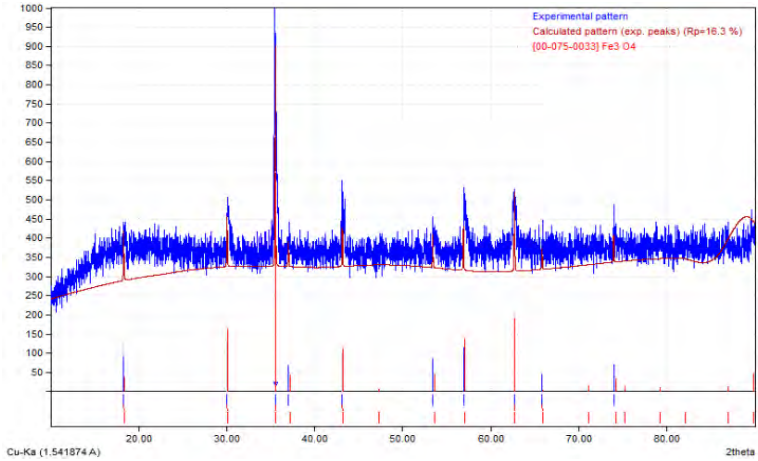
Compound	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Conc	0.35 +/- 0.02	0.097 +/- 0.0004	0.26 +/- 0.004	98.55 +/- 0.37	0.08 +/- 0.008	0.10 +/- 0.005
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Rb	La	Yb
Conc	0.89 +/- 0.02	0.05 +/- 0.01	0.08 +/- 0.0003
Unit	%	%	%

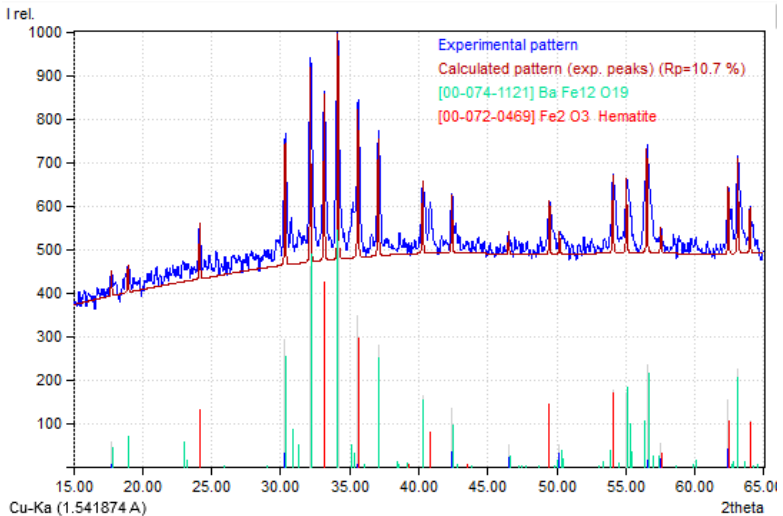
LAMPIRAN B

Hasil Identifikasi Fasa dengan Menggunakan Software *Match!*

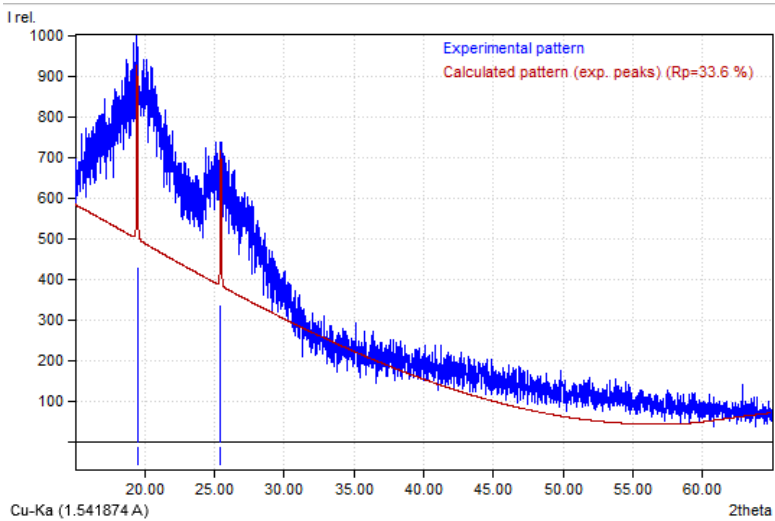
1. Pasir Besi



2. Barium M-Hexaferrite (BAM)



3. Polianilin (PANI)



LAMPIRAN C

Data Kristalografi BAM (BaFe₁₂O₁₉)

General							
Origin	COD: 1008841						
Name	Barium dodecairon(III) oxide						
Formula	Ba Fe12 O19						
Bibliographic data							
Author(s)	Obradors, X; Collomb, A; Pernet, M; Samaras, D; Joubert, J C						
Publication title	X-ray analysis of the structural and dynamic properties of Ba Fe12 O19 hexagonal ferrite at room temperature						
Citation	Journal of Solid State Chemistry, 56, 171-181 (1985)						
Phase data							
Space-group	P 63/m m c (194) - hexagonal						
	a=5.8920(1) Å c=23.183(1) Å						
Cell	c/a=3.9347						
	V=696.99(4) Å ³ Z=2						
Atomic parameters							
Atom	Ox.	Wyck.	Site	S.O.F.	x/a	y/b	z/c
Ba1	2	2d	-6m2		2/3	1/3	1/4
Fe1	3	2a	-3m.		0	0	0
Fe2	3	4e	3m.	0.5	0	0	0.25733(4)
Fe3	3	4f	3m.		1/3	2/3	0.02713(2)
Fe4	3	4f	3m.		1/3	2/3	0.19030(2)
Fe5	3	12k	.m.		0.16868	0.33735(7)	-0.10825(1)
O1	-2	4e	3m.		0	0	0.15094(13)
O2	-2	4f	3m.		1/3	2/3	-0.05454(12)
O3	-2	6h	mm2		0.18213	0.36426(47)	1/4
O4	-2	12k	.m.		0.15647	0.31294(35)	0.05192(8)
O5	-2	12k	.m.		0.5026	0.00520(34)	0.14957(8)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D
Data ICSD Fe₂O₃

COL ICSD Collection Code 15840
 DATE Recorded Jan 1, 1980; updated Jun 2, 1999
 NAME Iron(III) oxide - alpha
 MINR Hematite - from Elba, Italy
 MINR Corundum group
 FORM Fe₂ O₃
 = Fe₂ O₃
 TITL Refinement of the hematite structure
 REF American Mineralogist
 AMMIA 51 (1966) 123-129
 AUT Blake R L, HessevickÿRÿE, ZoltaiÿT,
 FingerÿLÿW
 CELL a=5.038(2) b=5.038 c=13.772(12) à=90.0
 á=90.0 ç=120.0
 V=302.7 D=5.26 Z=6
 SGR R -3 c H 167) - trigonal
 CLAS -3m(Hermann-Mauguin) - D3d (Schoenflies)
 PRS hR30
 ANX A2X3
 PARM Atom__No OxStat Wyck --X-- --Y-- --Z--
 SOF-
 Fe1 3.000 12c 0. 0. 0.35530(1)
 O1 -2.00 18e 0.3059(1) 0. 1/4
 WYCK e c
 ÿ

TF	Atom	á(1,1)	á(2,2)	á(3,3)		
		á(1,2)	á(1,3)	á(2,3)		
Fe 1	0.0080	0.00800	0.0003	0.0040	0.0000	0.0000
	(1)	(1)	(0)	(1)		
O 1	0.0068	0.0083	0.0005	0.0042	0.0006	0.0012
	(1)	(3)	(0)	(1)	(0)	(1)

REM M PDF 33-664
 RVAL 0.036

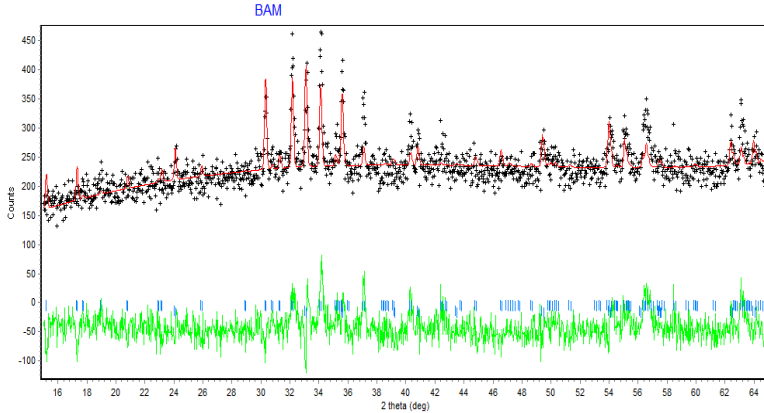
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E

Rietveld Refinement dengan Perangkat Lunak Rietica

BAM ($\text{BaFe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$)

1. Plot Rietveld Refinement dengan Rietica



2. Parameter-parameter keluaran Rietica

No	Parameter	Fasa		
		BAM	Fe_2O_3	
1	Rp (%)	7.691		
	Rwp (%)	11.48		
	Rexp (%)	14.33		
	Gof (%)	2.462		
2	B0	-20.60	-20.60	
	B1	16.75	16.75	
	B2	-0.362	-0.362	
	B3	0.002	0.002	
3	Phase Scale	0.59694E-06	0.95729E-05	
4	Lattice Parameter	a	5.8802	5.0345
	b	5.8802	5.0345	
	c	23.177	13.761	

5	<i>Cell Volume</i>	694.02	302.06	
6	<i>Density</i>	9.342	5.265	
7	<i>Asymmeter</i>	0.02	0.02	
8	<i>Molecular Weight</i>	3906.217	958.193	
9	<i>U</i>	0.01	0.01	
10	<i>Gam0</i>	1.33	0.2	
11	<i>Thermal Factor</i>	Ba	-0.7	-
		Fe1	-0.6	-1.8
		Fe2	0.6	-
		Fe3	-1.1	-
		Fe4	-2.7	-
		Fe5	-1.2	-
		O1	0.6	0.6
		O2	0.6	-
		O3	0.6	-
		O4	0.6	-
	O5	0.6	-	
	Zn	0.6	-	
12	<i>Derived Bragg R Factor</i>	1.28	1.01	
13	<i>% Molar</i>	2.33	97.67	
14	<i>% Weight</i>	36.87	63.13	

LAMPIRAN F
Perhitungan Impedansi Berdasarkan Metode NRW
(Nicholson-Ross-Weir Conversion)

Pada Pelapisan *Double Layer* PB-B

Diketahui :

$$S_{11} = 0.002989154 + 0.050736567 i$$

$$S_{21} = 0.000018808 - 0.000003302 i$$

(data parameter S_{11} dan S_{21} diperoleh dari pengujian VNA)

Ditanya : Impedansi material PB-B (Z_{in}) ?

Jawab :

$$Z_{in} = Z_o \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(i \left[\frac{2\pi L}{\lambda_o} \right] \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$\mu_r = \frac{1+\Gamma_1}{\Lambda(1-\Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_o^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \dots\dots\dots(2)$$

$$\epsilon_r = \mu_r \frac{(1-\Gamma)^2}{(1+\Gamma)^2} \left(1 - \frac{\lambda_o^2}{\lambda_c^2} \right) + \frac{\lambda_o^2}{\lambda_c^2} \frac{1}{\mu_r} \dots\dots\dots(3)$$

$$\Gamma = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \pm \sqrt{\left(\frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \right)^2 - 1} \dots\dots\dots(4)$$

➤ Langkah pertama mencari koefisien refleksi (Γ) :

Misal :

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \dots\dots\dots(5)$$

$$S_{11} = 0.002989154 + 0.050736567 i$$

$$= 0.0508245 \angle 86.63^0$$

$$S_{21} = 0.000018808 - 0.000003302 i$$

$$= 0.0000191 \angle -9.96^0$$

$$S_{11}^2 = 0.002583 \angle 173.26^0 = -0.00256 + 0.000303 i \dots\dots\dots(6)$$

$$S_{21}^2 = 3.64E-10 \angle -19.9^0 = 3.4283E-10 - 1.24E-10 i \dots\dots\dots(7)$$

$$2S_{11} = 0.101649 \angle 86.63^0 \dots\dots\dots(8)$$

➤ Substitusi pers (6), (7) dan (8) pada pers (5) :

$$X = 0.783 - 9.795 i = -9.8125 \angle 93.39^0$$

$$X^2 = 96.2857 \angle 186.778^\circ = -95.61275 - 11.36429 i$$

$$X^2 - 1 = -96.61275 - 11.36429 i = 97.2788 \angle 186.708^\circ$$

$$\sqrt{X^2 - 1} = 9.863 \angle 93.354^\circ = -0.704 + 9.804 i$$

Maka diperoleh :

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} = 0.783 - 9.795 i \pm (-0.704 + 9.804 i)$$

Syarat $|\Gamma| < 1$:

$$|\Gamma| = 0.783 - 9.795 i + (-0.704 + 9.804 i) = 0.079 + 0.009 i$$

$$|\Gamma| = 0.079 \text{ (terbukti)}$$

Pembuktian :

$$RL = 20 \log |\Gamma|$$

$$-22.07 = 20 \log |\Gamma|$$

$$\log |\Gamma| = -1.1035$$

$$|\Gamma| = 0.079 \text{ (terbukti)}$$

➤ Koefisien Transmisi (T) :

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma}$$

dengan memasukkan nilai parameter S_{11} , S_{21} dan Γ maka diperoleh:

$$T = 0.00001876 - 0.000003288 i$$

➤ Permeabilitas (μ_r) :

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} \frac{1}{\lambda_c^2}}} \dots \dots \dots (9)$$

$$\frac{1}{\Lambda^2} = - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right)^2 \dots \dots \dots (10)$$

$$\ln \left(\frac{1}{T} \right) = \ln(52502.37426 \angle 0.1735 \text{ rad})$$

$$= 10.869 \angle 0.9145^\circ$$

$$\frac{1}{\Lambda^2} = -1872.49 \angle 1.829^\circ \text{ dengan } \frac{1}{\Lambda} \geq 0$$

Maka :

$$\frac{1}{\Lambda} = 43.272 \angle -89.0854^\circ$$

$$= 0.6906 - 43.266 i$$

Sehingga :

$$\mu_r = -272.0508 \angle 90.897^0 = 4.26 - 272.017 i \dots \dots \dots (11)$$

dengan $\lambda_0 = 3.75$ dan $\lambda_c = 4.6875$

➤ Permeativitas

$$\varepsilon_r = \mu_r \frac{(1-\Gamma)^2}{(1+\Gamma)^2} \left(1 - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2} \right) + \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2} \frac{1}{\mu_r} \dots \dots \dots (12)$$

dengan memasukkan nilai-nilai yang telah diperoleh, maka dapat disubstitusikan ke pers (12), sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= 96.739 \angle -90.767^0 \\ &= -1.2954 - 94.7303 i \end{aligned}$$

➤ Impedansi

Berdasarkan pers (1), maka diperoleh nilai impedansi dari material tersebut. Dengan $\lambda_0 = 3.75$ dan $Z_0 = 377 \Omega$, maka diperoleh :

$$\begin{aligned} Z_{in} &= Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \tanh \left(i \left[\frac{2\pi L}{\lambda_0} \right] \sqrt{\mu_r \varepsilon_r} \right) \\ &= 377 (1.6769 \angle 180.83^0) \tanh(10.8671 \angle 0.065^0) \\ &= 632.2167 \angle 180.897^0 \end{aligned}$$

Maka :

$$|Z_{in}| = 632.216 \Omega$$

❖ Dengan menggunakan langkah-langkah yang sebelumnya, maka dapat diperoleh nilai impedansi sebagai berikut :

No	Variasi Komposisi RAM	Impedansi (Ω)
1	P-PB	406.142
2	PB-P	478.438
3	B-PB	612.564
4	PB-B	632.216

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Impedansi yang dihasilkan pada pelapisan *double layer* komposit PANi/BAM memiliki nilai impedansi yang mendekati dengan impedansi udara. Semakin mendekati dengan nilai impedansi udara menandakan bahwa nilai negatif rugi refleksinya semakin besar, sehingga daya serap material tersebut semakin besar pula. Berikut nilai impedansi dari pelapisan *double layer* P-PB, PB-P, B-PB serta PB-B pada frekuensi *X-Band* berturut-turut yaitu 406,142 Ω , 478,438 Ω , 612,564 Ω serta 632,216 Ω .
2. Material penyerap radar atau RAM yang baik yaitu yang memiliki nilai *reflection loss* (RL) atau rugi refleksi yang besar. Berikut nilai rugi refleksi yang dihasilkan dari pelapisan *double layer* P-PB, PB-P, B-PB serta PB-B pada frekuensi *X-Band* berturut-turut sebesar -49,57 dB, -31,30 dB, -22,41 dB serta -22,07 dB.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini terdapat beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut yaitu sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan sintesis material RAM dengan menggunakan metode yang lain karena berpengaruh terhadap impedansi dan kemampuan penyerapan gelombang radar.
2. Material konduktif PANi dapat diganti dengan material lain yang memiliki sifat konduktif seperti karbon.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afza, E., 2011. Pembuatan Magnet Permanent Ba-Hexa Ferrite (Ba_{0.6}Fe₂O₃) Dengan Metode Koopresipitasi Dan Karakterisasinya.
- Efhana, D.P., Arifin, D.E.S., Viantyas, D., Fitriana, F., Abdillah, S., Zainuri, M., 2013. Pembuatan Pelapis Penyerap Gelombang Mikro Berbasis M-Hexaferrite BaFe_{12-2x}Zn_xO₁₉ Dari Pasir Alam Pada Kabin Pesawat. Program Kreat. Mhs.-Penelit.
- Feng, Y.B., Qiu, T., Shen, C.Y., 2007. Absorbing properties and structural design of microwave absorbers based on carbonyl iron and barium ferrite. *J. Magn. Magn. Mater.* 318, 8–13.
- Idayati, N., others, 2003. Making of Magnet Barium Ferit Anisotropic. *Indones. J. Mater. Sci.* 5, 34–38.
- Jiang, J., Ai, L.-H., Qin, D.-B., Liu, H., Li, L.-C., 2009. Preparation and characterization of electromagnetic functionalized polyaniline/BaFe₁₂O₁₉ composites. *Synth. Met.* 159, 695–699.
- Kaya, S., 2014. Magnetic And Electromagnetic Characterization Of Barium Hexaferrite Ceramics And Their Polymer Matrix Composites. Middle East Technical University.
- Knott, E.F., 1993. Radar Cross Section Fundamentals, in: *Radar Cross Section Measurements*. Springer, pp. 1–26.
- Lidström, P., Tierney, J., Wathey, B., Westman, J., 2001. Microwave assisted organic synthesis—a review. *Tetrahedron* 57, 9225–9283.

- MacDiarmid, A.G., 2001. "Synthetic metals": A novel role for organic polymers (Nobel lecture). *Angew. Chem. Int. Ed.* 40, 2581–2590.
- Maddu, A., Wahyudi, S.T., Kurniati, M., 2008. Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. *J. Nanosains Dan Nanoteknologi* 1, 73–78.
- Ma, R.T., Zhao, H.T., Zhang, G., 2010. Preparation, characterization and microwave absorption properties of polyaniline/ $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanocomposite. *Mater. Res. Bull.* 45, 1064–1068.
- Perdana, F.A., Baqiya, M.A., Triwikantoro, D., 2011. Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4 Dengan Template Peg-1000 Dan Karakterisasi Sifat Magnetiknya. *J. Mater. Dan Energi Indones.* 1, 1–6.
- Pillai, V., Kumar, P., Multani, M.S., Shah, D.O., 1993. Structure and magnetic properties of nanoparticles of barium ferrite synthesized using microemulsion processing. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 80, 69–75.
- Pinho, M.S., Gregori, M.L., Nunes, R.C.R., Soares, B.G., 2002. Performance of radar absorbing materials by waveguide measurements for X-band Ku-band frequencies. *Eur. Polym. J.* 38, 2321–2327.
- Pullar, R.C., 2012. Hexagonal ferrites: a review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics. *Prog. Mater. Sci.* 57, 1191–1334.
- Pullar, R.C., Bhattacharya, A.K., 2002. Crystallisation of hexagonal M ferrites from a stoichiometric sol-gel precursor, without formation of the $\alpha\text{-BaFe}_2\text{O}_4$ intermediate phase. *Mater. Lett.* 57, 537–542.
- Rochimah, I., (1995), "Sintesis Polianilin Pengaruh Konsentrasi dan Jenis Asam Dopan Terhadap

- Konduktivitas Listrik Polianilin," Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Rosyidah, K.C., (2013), "Sintesis dan Karakterisasi Struktur, Sifat Magnet, dan Sifat Listrik Komposit Barium M-Heksaferrit/Polianilin Berstruktur *Core-shell* Berbasis Pasir Besi Alam," Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Saville, P., 2005. Review of radar absorbing materials. DTIC Document.
- Shepherd, P., Mallick, K.K., Green, R.J., 2007. Magnetic and structural properties of M-type barium hexaferrite prepared by co-precipitation. *J. Magn. Mater.* 311, 683–692.
- Stejskal, J., Gilbert, R.G., 2002. Polyaniline. Preparation of a conducting polymer (IUPAC technical report). *Pure Appl. Chem.* 74, 857–867.
- Sudati, A.W., (2013), "Pelapisan Material Komposit PANi/BaM berstruktur *Core-shell* Sebagai *Radar Absorbing Material* (RAM) Pada Baja Grade A Tipe AH36," Laporan Tesis Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Suryaningsih, S., Harjo, D.H., Deen, T.A., (1998), "Analisis Konduktivitas Bahan Polianilin Sebagai Fungsi Konsentrasi Elektrolit," Laporan Akhir Penelitian. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Susanti, W., 2015. Efek Milling Time Terhadap Sifat Fisis dan Mikrostruktur Dari Serbuk BaFe₁₂O₁₉ Dengan Al₂O₃ Sebagai Aditif.
- Ting, T.-H., Wu, K.-H., 2010. Synthesis, characterization of polyaniline/BaFe₁₂O₁₉ composites with microwave-

- absorbing properties. *J. Magn. Magn. Mater.* 322, 2160–2166.
- Vinnik, D.A., Semisalova, A.S., Mashkovtseva, L.S., Yakushechkina, A.K., Nemrava, S., Gudkova, S.A., Zherebtsov, D.A., Perov, N.S., Isaenko, L.I., Niewa, R., 2015. Growth, structural and magnetic characterization of Zn-substituted barium hexaferrite single crystals. *Mater. Chem. Phys.* 163, 416–420. doi:10.1016/j.matchemphys.2015.07.059
- Wang, C., Li, L., Zhou, J., Qi, X., Yue, Z., Wang, X., 2003. Microstructures and high-frequency magnetic properties of low-temperature sintered Co–Ti substituted barium ferrites. *J. Magn. Magn. Mater.* 257, 100–106.
- Wan, M., others, 2008. *Conducting polymers with micro or nanometer structure*. Springer.
- Xie, W., Cheng, H.-F., Chu, Z.-Y., CHEN, Z.-H., ZHOU, Y.-J., 2009. Radar absorbing properties of light radar absorbing materials based on hollow-porous carbon fibers. *J. Inorg. Mater.* 2, 024.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ke-1 dari 3 bersaudara yang dilahirkan di Kota Jombang pada 16 November 1994 dari pasangan Solekan dan Muslikhah. Semasa kecil penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Khoiriyah Sumobito, SMP Negeri 1 Segodorejo dan Madrasah Aliyah Al-Bairuny Sambong dukuh Jombang serta pendidikan non formal di Taman Pendidikan Al-Qur'an (TPA) Al-Hidayah Pojok Curahmalang Sumobito. Pada pertengahan tahun 2012 penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA ITS melalui jalur SNMPTN Tulis dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 1112100081. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa. Beberapa organisasi yang sempat ditekuni penulis yaitu sebagai staf Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMASIKA ITS (2013-2014), staf Divisi Syi'ar FOSIF ITS (2013-2014), staf ahli Departemen Perekonomian HIMASIKA ITS (2014-2015), dan anggota staf Departemen Hubungan Luar UKM Cinta Rebana ITS (2014-2015), serta organisasi komunitas penerima beasiswa BIDIKMISI di ITS. Selain itu, penulis juga pernah menjadi Asisten Dosen Fisika Dasar 1, Asisten Laboratorium Fisika Dasar 1 dan 2, Asisten Laboratorium Fisika Material, serta penulis juga aktif mengikuti kegiatan ilmiah nasional seperti Program Kreativitas Mahasiswa yang diadakan oleh DIKTI. Kritik kirim ke: muhammadrizkia12@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”