

Pelapisan *Single Layer* Penyerap Gelombang Radar Dispersi Barium M-Heksaferit/Polianilin pada Rentang *X-Band*

Susmita Rachmawati, Mochamad Zainuri
Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: zainuri@physics.its.ac.id

Abstrak—Telah dilakukan penelitian dengan judul Pelapisan *Single Layer* Pemyerap Gelombang Radar Dispersi Barium M-Heksaferit/Polianilin pada rentang *X-Band* bertujuan untuk mensintesis Barium M-Heksaferit (BAM) dengan metode *solid state* dan mengetahui pengaruh variasi massa Polianilin (PANI) terhadap rugi refleksi dengan pelapisan *single layer* material penyerap gelombang radar pada frekuensi 8-12 GHz. Barium M-Heksaferit disintesis dengan didoping ion Zn^{2+} menggunakan metode *solid state*. Sintesis material Barium M-Heksaferit dengan metode *solid state* doping Zn menghasilkan komposisi fasa BAM 83,68 % dan $ZnFe_2O_4$ 16,32 % dengan struktur dominan heksagonal. Hasil pengujian VNA pada pelapisan *single layer* rentang *X-band* dengan variasi komposisi Polianilin pada perbandingan Barium M-Heksaferit : Polianilin didapatkan nilai *Reflection Loss* untuk perbandingan 1:0,5 , 1:1 , 1:1,5 , 1:2 dan 1:2,5 berturut-turut adalah -14,53 dB, -19,86 dB, 20,67 dB, -21,28 dB, dan -28,71 dB. Nilai *Reflection Loss* tertinggi pada perbandingan 1 : 2,5 sehingga dapat disimpulkan semakin meningkat komposisi PANI maka semakin negatif nilai *Reflection Loss*nya artinya semakin bagus penyerapannya.

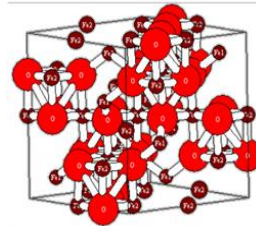
Kata Kunci—Barium M-Heksaferit, Polianilin, *Solid state*, *Reflection Loss*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi maritim telah berkembang pesat terutama di bidang pertahanan militer. Indonesia sebagai negara maritim dengan 70 % wilayahnya merupakan lautan dan merupakan negara kepulauan dengan 17.000 pulau yang tersebar di wilayah nusantara Indonesia membutuhkan pertahanan yang power dan unggul dalam menghadapi ancaman baik dari dalam maupun dari luar. Teknologi kapal perang merupakan salah satu bentuk pertahanan di bidang maritim yang perlu dikembangkan. Saat ini perkembangan teknologi kapal sudah mencapai teknologi canggih sebagai sarana pengintai. Kapal pengintai ini umumnya disebut *Stealth Ship* (kapal siluman). Kapal ini didesain tidak terdeteksi oleh RADAR (*Radio Detection and Ranging*). Namun dalam realisasinya teknologi canggih seperti ini memerlukan biaya yang begitu besar. Teknologi kapal siluman dikembangkan melalui dua cara. Pertama, kapal dirancang dengan desain bersudut yang tidak bisa dilacak oleh penerima radar. Manipulasi bentuk ini sangat penting karena dapat mengacaukan 170 pantulan gelombang radar yang mengenai objek sehingga tidak bisa ditangkap oleh penerima radar [1]. Untuk membuat kapal dengan desain canggih seperti itu membutuhkan biaya yang besar. Kedua, mengembangkan teknologi kapal siluman dengan

melapisi kapal dengan material yang mampu menyerap gelombang radar [2].

Pasir besi yang begitu melimpah di Indonesia dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk keperluan teknologi material saat ini. Salah satunya untuk teknologi kapal perang sebagai pertahanan negara Indonesia. Dengan memanfaatkan pasir besi yang melimpah di Indonesia, tidak perlu mengeluarkan biaya besar untuk menciptakan teknologi canggih seperti itu. Salah satu pemanfaatannya yaitu digunakan sebagai bahan untuk membuat partikel Barium M-Heksaferit. Barium M-Heksaferit merupakan magnet permanen dengan anisotropi magnetik yang tinggi [3], kestabilan yang baik, magnetik saturasi, dan medan koersivitas yang tinggi (*hard magnetic*) [4], karena anisotropinya yang tinggi yaitu sekitar 50-60 Hz [5]. Anisotropi dari Barium M-Heksaferit dapat direduksi dengan substitusi Fe^{3+} dengan ion divalent (Zn, Co, Ni, dan lain-lain) [6], sehingga dengan substitusi ini diharapkan Barium M-Heksaferit dapat diaplikasikan untuk penyerap gelombang radar bagi teknologi kapal perang.



Gambar 1. Struktur spinel Fe_3O_4 [7]

Polianilin merupakan material polimer konduktif n yang mempunyai konduktivitas tinggi dengan mengatur tingkat konsentrasi doping. Salah satu polimer konduktif yang telah menarik perhatian dan banyak digunakan adalah Polianilin (PANI). Sifatnya yang mudah disintesis dan stabil terhadap lingkungan. PANI mempunyai sifat kestabilan kimia yang tinggi di udara, konduktivitas listrik tinggi, dan dapat digunakan untuk melindungi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari sumber listrik, sedangkan gelombang elektromagnetik dari sumber magnet dapat secara efektif terlindung dengan bahan magnetik [8]. Faktor inilah yang menjadikan PANI sebagai bahan berpotensi tinggi untuk produk komersil. Barium M-Heksaferit yang disintesis dari pasir besi ini nantinya akan dicampurkan dengan polianilin.

Parameter fisis yang digunakan dalam analisis penyerapan dengan menggunakan alat *Vector Network Analyzer* (VNA) adalah *reflection loss* dengan satuan desibel (dB). Besar *reflection loss* bergantung pada

parameter kekasaran, tebal lapisan, permeabilitas, permitivitas dan ukuran butir [9]. Perhitungan *Reflection Loss* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_L = 20 \log \left| \frac{(Z_{in} - Z_0)}{(Z_{in} + Z_0)} \right| \quad (2.1)$$

Dimana Z merupakan impedansi material dan Z_0 merupakan impedansi udara [10]. Dalam penelitian Cheng dkk 2010 menjelaskan bahwa nilai *Reflection Loss* absorpsi material Heksaferit memiliki nilai serapan material mencapai -12,4 dB pada frekuensi optimum 10,5 GHz dengan ketebalan 0,8 mm. Pada nilai reflektansi tersebut kemampuan material untuk menyerap frekuensi atau pancaran gelombang EM yang datang yaitu sebesar 76% sedangkan yang direfleksikan yaitu 24%. Hal tersebut dapat terjadi ketika nilai impedansi material dengan pancaran frekuensi yang datang sesuai atau nilainya, sehingga akan terjadi resonansi gelombang dimana akan terjadi interaksi antar atom dalam struktur material dengan frekuensi yang datang [11].

Berdasarkan penelitian Ainul Millah 2015, dari hasil sintesis Barium M-Heksaferit/Polianilin dengan variasi massa Polianilin dan Barium M-Heksaferit dengan perbandingan 1:1, 1:2, 1:3 dan 2:1 didapatkan rugi refleksi (*reflection loss*) terbesar dihasilkan dari perbandingan 2:1 yaitu -23,1 dB pada frekuensi 8,5 GHz kemudian terbesar selanjutnya pada perbandingan 1:1 dengan rugi refleksi -20,1 dB pada frekuensi 8,8 GHz [12]. Untuk mendapatkan pita penyerapan dan rugi refleksi yang lebih besar maka pada penelitian ini berfokus pada sintesis Barium M-Heksaferit yang dikompositkan dengan Polianilin dengan variasi massa Polianilin dengan metode *Solid State*, tetapi massa Barium M-Heksaferit tetap, maka perlu dilakukan penelitian untuk variasi massa Polianilin dengan lapisan *single layer* pada pelapisan bahan komposit BaM/Polianilin dengan variasi massa Polianilin yaitu 1:0,5, 1:1, 1:1,5, 1:2, dan 1:2,5.

II. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 diperoleh dari pasir besi (Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan), Barium Carbonate ($BaCO_3$) (ACS reagen kelas, MP Biomedicals, LLC), bubuk Zn (analys pro, Merck), Aceton (analys pro, Merck), Hydrochloric acid (HCl) 37% (analys pro, Merck), Ammonium Persulfate (analys pro, Merck), Dodesil Benzene Asam sulfonat (DBSA) (larutan 70% berat di 2-propanol, analys pro, Aldrich), Alkohol 96%, Aquades, cat kapal Aghata, thinner, Plat baja grade A tipe AH36. Untuk karakterisasi dilakukan pengujian XRD (*X-ray Diffractometer*) untuk identifikasi fasa, XRF (*X-Ray Fluorence*) untuk mengetahui komposisi dari suatu bahan, FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengetahui ikatan-ikatan yang terbentuk, SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui morfologi dan mikrostruktur bahan, LCR Meter untuk mengetahui konduktivitas listrik dari bahan, VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) untuk mengetahui kurva histerisis magnetisasi dari bahan, dan VNA (*Vector Network Analyzer*) untuk mengetahui *reflection loss* dari bahan. Software yang digunakan untuk identifikasi *match* dan *Rietica*.

Pada penelitian ini, langkah kerja dilakukan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu sintesis BAM, sintesis

Polianilin, sintesis nanokomposit BAM/Polianilin, dan pelapisan *single layer*.

A. Sintesis Barium M-Heksaferit

Sintesis Barium M-Heksaferit doping ion Zn^{2+} menggunakan metode *solid state*. Adapun langkah kerjanya yaitu pasir besi (Fe_3O_4) dilarutkan dalam larutan HCl selama 30 menit dengan suhu $60^\circ C$, kemudian larutan disaring dan larutan yang lolos penyaringan diambil. Selanjutnya ditambahkan larutan NH_4OH secara perlahan untuk membentuk endapan hingga pH basa atau mencapai pH 13. Dicuci dengan aquades hingga pH netral. Kemudian Endapan yang terbentuk dicuci dengan air destilasi dan dikeringkan pada temperatur $100^\circ C$. Setelah itu didapatkan serbuk prekursor Fe_2O_3 . Prekursor Fe_2O_3 kemudian dikalsinasi pada temperatur $600^\circ C$ selama 5 jam untuk mendapatkan kristalin Fe_2O_3 . Fe_2O_3 yang telah jadi dicampurkan dengan $BaCO_3$ dan sesuai dengan perhitungan stoikiometri ke dalam jar milling. Kemudian dilakukan proses penggilingan (*milling*) dengan perbandingan sample : alkohol : *ball charge* adalah 1 : 5/3 : 5 dengan kecepatan 150 rpm selama 2 jam dengan waktu henti (*pause*) 30 menit. Larutan *wet milling* yang terbentuk dikeringkan pada temperatur $60^\circ C$ dan didapatkan serbuk prekursor BAM. Prekursor BAM kemudian dikalsinasi pada temperatur $1000^\circ C$ selama 5 jam untuk mendapatkan kristalin BAM

B. Sintesis Polianilin

Amonium perokdisulfat (APS) dilarutkan dalam aquades dan diaduk dengan magnetic stirer selama 30 menit. Anilin dan DBSA ditimbang sesuai dengan kebutuhan, kemudian diaduk dalam erlenmeyer yang didinginkan hingga temperatur $0^\circ C$ didalam tabung sterofoam. Proses polimerisasi dilakukan pada erlenmeyer yang telah berisi larutan Anilin dan DBSA dengan diaduk menggunakan magnetic stirer, lalu ditetesi APS yang telah larut sampai larutan APS habis. Kemudian larutan APS, DBSA dan Anilin diaduk terus dengan menggunakan magnetic stirer hingga 8 jam dan terbentuk larutan berwarna hijau tua. Pastikan suhu tetap dibawah $5^\circ C$. Larutan Polianilin yang terbentuk disaring dengan menggunakan aquades hingga sisa airnya bening. Kemudian setelah bening disaring dengan menggunakan Aseton hingga mengering. Setelah kering dihaluskan dan didapatkan serbuk Polianilin.

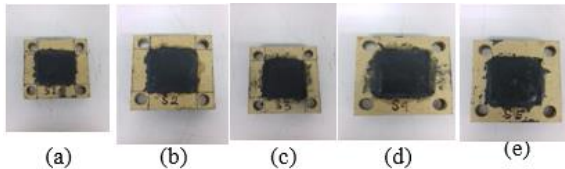
C. Pelapisan *single layer*

Material BAM dan PANI dicampurkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 60 menit dengan variasi komposisi massa. Pengadukan cat kapal Aghata dan material antiradar (BAM dan PANI) dilakukan dengan cara pencampuran mekanik. Pengadukan dilakukan selama 3 menit sampai homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan ± 8000 rpm. Setelah proses pengadukan selesai, bahan dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata dengan ketebalan ± 4 mm.

Berikut desain eksperimen pelapisan *single layer*



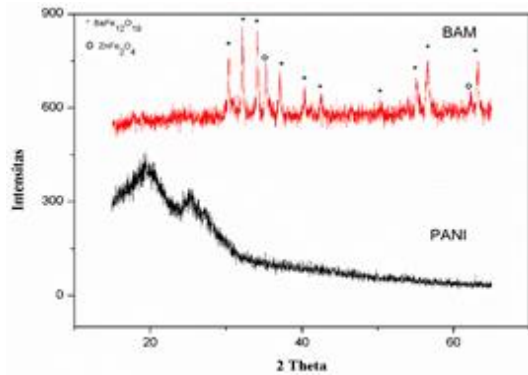
Gambar 2 Pelapisan *single layer* material BAM/PANI pada baja



Gambar 3. Sampel uji VNA dengan perbandingan BAM : PANI, (a) S1 (1:0,5), (b) S2 (1:1), (c) S3 (1:1,5), (d) S4 (1:2) dan (e) S5 (1: 2,5)

III. HASIL DAN DISKUSI

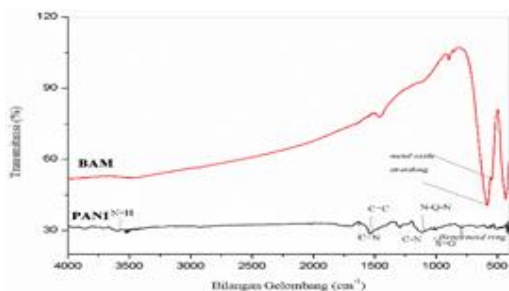
A. Analisis Fasa



Gambar 4. Hasil XRD BAM dan PANI

Pada hasil XRD pada gambar 4 PANI dengan dopan DBSA menghasilkan dua puncak yaitu pada $19,42^\circ$ dan $25,12^\circ$. Hal ini mendekati dengan hasil eksperimen Jiang menghasilkan dua puncak yaitu pada $2\theta = 20,4$ dan $25,4$ (Jiang, 2008). Fasa yang dihasilkan yaitu amorf. Pola XRD BAM menghasilkan dua fase. Komposisi fase menunjukkan $\text{BaFe}_{11}\text{ZnO}_{19}$ (PDF 00-084-0757) dan fase ZnFe_2O_4 (PDF 00-082-1049). $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ diidentifikasi sebagai fase utama dan sejumlah kecil fase pengotor ZnFe_2O_4 . Adapun komposisi fase ditentukan dengan analisis *Rietveld* dengan software *Rietica* yaitu dengan $a=b=5,873 \text{ \AA}$ dan $c=23,183 \text{ \AA}$ dengan volume sel satuan $694,8 \text{ \AA}^3$ dan struktur kristal heksagonal. Analisis *Rietveld* adalah sebuah metode pencocokan tak-linier kurva pola difraksi terhitung (model) dengan pola difraksi terukur yang didasarkan pada data struktur kristal dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (least-squares) [13]. Berdasarkan hasil *Rietveld Refinement*, presentase berat komposisi fase $\text{BaFe}_{11}\text{ZnO}_{19}$ 83,68% dan ZnFe_2O_4 16,32 %. Parameter kecocokan *Goodness of Fit* (Gof) didapatkan 2,436. Dari hasil analisis *Rietveld* tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil sintesis BAM menghasilkan fase utama BAM dengan pengotor *Zinc Iron Oxide*.

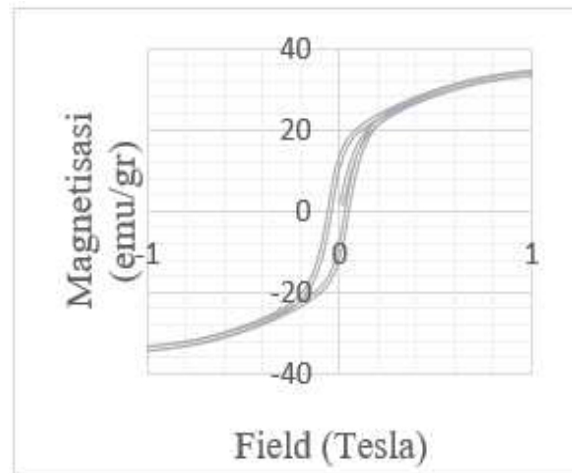
B. Analisis Gugus Fungsi



Gambar 5. Hasil uji spektroskopi FTIR pada PANI, BAM

Hasil uji spektroskopi FTIR BAM dan PANI dapat dilihat pada gambar 5. Puncak PANI yang terbentuk yaitu pada bilangan gelombang $1118,02$, $1292,35$, $1539,25$, $1641,48$, dan $3603,15 \text{ cm}^{-1}$ berturut-turut merupakan puncak karakteristik dari peregangan $\text{N}=\text{Q}=\text{N}$, $\text{C}-\text{N}$, $\text{C}=\text{C}$, $\text{C}=\text{N}$ dan $\text{N}=\text{H}$. Puncak $796,63$, $10003,02 \text{ cm}^{-1}$ adalah puncak peregangan $\text{S}=\text{O}$ dan cincin benzenoid. Pada peregangan $\text{S}=\text{O}$ menunjukkan pembentukan garam emeraldin yang ditimbulkan adanya konsentrasi dopan DBSA yang ditunjukkan adanya ikatan $\text{S}=\text{O}$ yang terbentuk [14]. Hal ini mendekati penelitian dari Ma, 2010 [2]. Hasil spektroskopi FTIR pada BAM menunjukkan karakteristik oksida logam pada 434 dan $547,8 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini sesuai dengan penelitian Yang dimana menunjukkan karakteristik logam pada 440 dan 585 cm^{-1} [15].

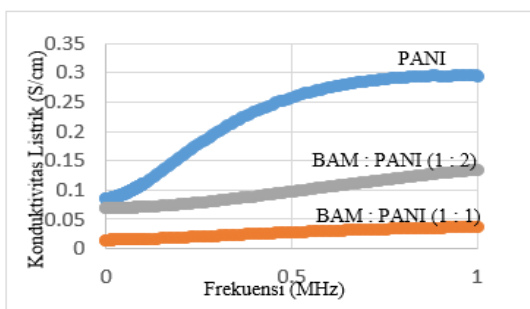
C. Analisis Kemagnetan



Gambar 6. Hasil uji VSM sifat magnetik BAM

Berdasarkan hasil uji VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) didapatkan nilai Magnetik saturasi sebesar $33,87 \text{ emu/gr}$, Magnetisasi Remanensi (M_r) $14,782 \text{ emu/gr}$ dan medan koersivitas (H_c) $0,0506 \text{ T}$. Pada referensi secara umum material BAM tanpa doping memiliki nilai magnetisasi saturasi (M_s) 72 emu/gr , medan koersivitas (H_c) 6700 Oe atau setara dengan $0,67 \text{ T}$. Jika dibandingkan pada penelitian ini maka dapat dianalisa bahwa terjadi penurunan nilai magnetisasi saturasi dan medan koersivitas. Artinya sifat kemagnetan juga telah menurun. Menurunnya medan magnet dari luar maka menyebabkan sifat magnetisasi bahan menurun. Pada saat medan magnet dari luar dihilangkan ($H=0$) maka tetap ada magnetisasi yang tersisa yang dinamakan Magnetisasi Remanensi (M_r) yaitu dengan nilai $14,782 \text{ emu/gr}$. Untuk menjadikan medan magnetnya bernilai nol maka diperlukan medan magnet untuk mengembalikan posisi arah momen dipol atau yang dinamakan medan koersivitas (H_c). Tingginya nilai medan koersivitas menyebabkan sifat anisotropik material semakin meningkat sehingga sifat absorpsinya menjadi semakin lemah [16]. Medan koersivitasnya sebesar $0,0506 \text{ T}$. Dengan nilai medan koersivitas yang kecil maka tidak membutuhkan medan magnet yang lebih besar untuk mengembalikan arah momen dipol pada domain. Dengan demikian maka absorpsi yang terjadi juga semakin kuat.

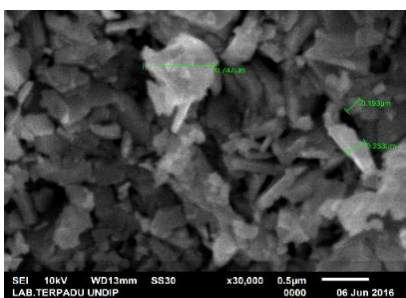
D. Analisis Konduktivitas Listrik



Gambar 7. Hasil uji Konduktivitas Listrik pada PANI, BAM:PANI (1:1, 1:2)

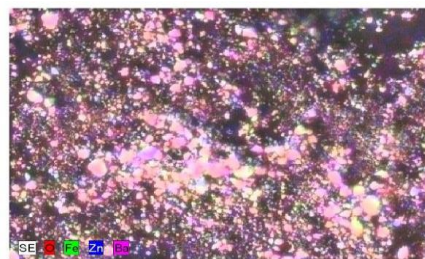
Pada gambar 7 merupakan grafik hasil perhitungan konduktivitas bahan dalam hal ini konduktivitas PANI dan PANI: BAM dengan perbandingan 1:1 dan 1:2. Pengujian dilakukan pada rentang frekuensi 0-1 MHz. Dari gambar dapat dilihat dengan semakin meningkatnya frekuensi maka semakin meningkat pula nilai konduktivitas material. Dari hasil pengujian dan perhitungan PANI memiliki nilai konduktivitas rata-rata sebesar 0,166 S/cm. sedangkan pada bahan campuran BAM/PANI dengan perbandingan 1:1 dan 1:2. Nilai konduktivitas campuran BAM/PANI dengan perbandingan 1:1 dan 1:2 berturut-turut 0,021 S/cm dan 0,085 S/cm. Emeraldine Base sebagai bahan dasar terjadinya protonasi. Melalui doping dengan asam kuat Dodecyl Benzene Sulphonic Acid (DBSA) akan menghasilkan Emeraldine Salt yang bersifat Konduktif. Sifat konduktif pada PANI disebabkan kehadiran polaron pada saat proses doping. Polaron ini timbul akibat protonasi dari imine nitrogen. Protonasi ini sangat dipengaruhi oleh keadaan oksidasi dari polianilin dan pH selama proses polimerisasi. Protonasi sempurna didapatkan pada keadaan oksidasi setengah (emeraldine base) [17].

E. Analisis Morfologi



Gambar 8. Hasil uji SEM material BAM perbesaran 25.000 kali

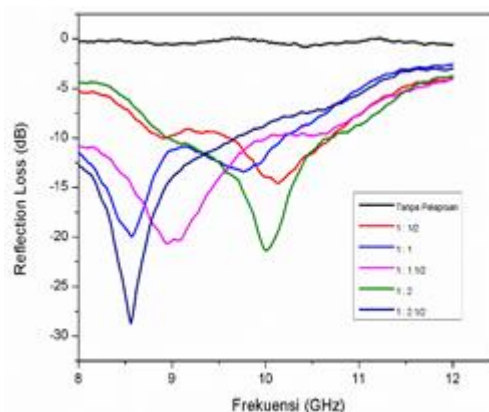
Berdasarkan hasil SEM pada gambar ukuran dimensi partikel pada orde mikro yaitu pada kisaran 2,5-4 µm. Pada gambar 8 tampak morfologi heksagonal, dimana struktur heksagonal tak sempurna mempunyai parameter kisi a=b=5,982 Å dan c=23,183 Å. Partikel tersebut merupakan polydisperse dan beberapa partikelnya membentuk agregat dikarenakan adanya interaksi antar partikel magneto dipol. Ukuran partikel menentukan karakteristik magnet dari BAM [18]. Semakin kecil ukuran partikel maka akan cenderung membentuk single domain pada partikelnya [19].



Gambar 9. Hasil backscatter persebaran BAM

Berdasarkan pengamatan backscatter (warna) O (merah), Fe (hijau), Zn (biru), Ba(ungu) dapat diketahui persebarannya dimana material tersebut telah merata tampak ada gambar 9 sebaran tersebut mendukung material sebagai material antiradar dalam penyerapan gelombang mikro. Untuk data persen berat dan persen atom pada serbuk BAM pada tabel 9 menunjukkan bahwa doping Zn telah tersubstitusi pada struktur BAM menggantikan ion Fe.

F. Analisis Sifat Penyerapan



Gambar 10. Hasil uji VNA pada rentang X-band

Berdasarkan hasil pengujian VNA pada gambar 10 dapat diketahui bahwa baja grade AH 36 tanpa dilapisi material antiradar memiliki nilai Reflection Loss yang kecil yaitu -0,8227863, hal ini menunjukkan baja bersifat memantulkan gelombang namun sangat kecil. Hasil pengujian VNA pada pelapisan single layer rentang X-band dengan variasi komposisi Polianilin pada perbandingan Barium M-Heksaferit : Polianilin didapatkan nilai Reflection Loss untuk 1:0,5 , 1:1 , 1:1,5 , 1:2 dan 1:2,5 berturut-turut adalah -14,53 dB, -19,86 dB, 20,67 dB, -21,28 dB, dan -28,71 dB. Nilai Reflection Loss tertinggi pada perbandingan 1:2,5. Penyerapan paling tinggi terjadi pada material antiradar dengan perbandingan BAM : PANI 1: 2,5 ditunjukkan dengan nilai Reflection Loss sebesar -28,71184 dB pada frekuensi maksimum 8,56 GHz pada pelebaran pita 8-10,9 GHz . Besarnya Reflection Loss semakin meningkat dengan penambahan massa PANI yang digunakan, hal ini menunjukkan bahwa penambahan material PANI sebagai material konduktif dapat meningkatkan penyerapan gelombang mikro yang ditunjukkan dengan nilai Reflection Loss yang semakin negatif. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh dari sifat konduktivitas dari PANI.

Tabel 1. Perhitungan persentase penyerapan gelombang

PANI : BAM	RL	$\Gamma = \frac{(Z_{in} - Z_0)}{(Z_{in} + Z_0)}$	I _{keluar} (%)	I _{penyerapan (Transmisi + Absorpsi) (%)}
1 : 0,5	-14,533	5,329	3,5206	96,479

1 : 1	-19,869	9,8507	1,0305	98,969
1 : 1,5	-20,671	10,804	0,8566	99,143
1 : 2	-21,288	11,599	0,7432	99,256
1 : 2,5	-28,711	27,264	0,134	99,865

Berdasarkan perhitungan pada tabel 1 dengan menggunakan persamaan 1 memberikan arti dengan nilai *Reflection Loss* terbesar yaitu $-28,71184$ dB bahwa 100% frekuensi yang diterima material 0,134529% akan direfleksikan dan 99,86547% akan diserap dan ditransmisikan oleh material.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat didapatkan dari hasil pengujian VNA pada pelapisan *single layer* rentang *X-band* dengan variasi komposisi PANI pada perbandingan BAM : PANI didapatkan nilai *Reflection Loss* untuk 1:0,5, 1:1 1:1,5 1:2 dan 1:2,5 berturut-turut adalah $-14,53$ dB, $-19,86$ dB, $20,67$ dB, $-21,28$ dB, dan $28,71$ dB. Nilai *Reflection Loss* tertinggi pada perbandingan 1 : 2,5 sehingga dapat disimpulkan semakin meningkat komposisi PANI maka semakin negatif nilai *Reflection Loss*nya artinya semakin bagus penyerapannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak M. Zainuri atas bimbingan yang diberikan selama penulis menyelesaikan penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada kepala laboratorium fisika bahan jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Kepada ketua jurusan Fisika ITS serta rekan-rekan penelitian yang tergabung dalam *Advanced Materials Research Laboratory* yang telah banyak membantu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saville, P., 2005. *Review of Radar Absorbing Materials, Defence R & D Canada*. Canada.
- [2] Ma, RT., Zhao, H.T. dan Zhang, G. 2010. *Preparation, Characterization and Microwave Absorption Properties of Polyaniline/Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄ nanocomposite*. *Materials Research Bulletin*. Vol.45, pp. 1064-1068.
- [3] Molaei, M.J., Ataie, A., Raygan, S., Rahimpour, M.R., Picken, S. J., Tichelaar, F.D., Legarra, E., dan F. Plazaola, E., 2012. *Magnetic Property Enhancement and Characterization of Nanostructured Barium Ferrite by Nmechano-Thermal Treatment*. *Materials Characterization*. Vol. 63. Hal. 83-89
- [4] Qui, J. dan Gu, M. 2006. *Crystal structure and magnetic properties of Barium Ferrite synthesized using GSPC and HEBM*. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol.415, hal 209-2012
- [5] Ghasemi, A., Hossienpour, A., Morisako, A., Saatchi, A., dan Salehi, M. 2006. *Electromagnetic properties and microwave absorbing characteristics of doped barium hexaferrite*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 302, hal 429-435

- [6] Meshram, M.R., Agrawal, N.K., Sinha, B. dan Misra, P. S. 2004. *Characterization of M-type Barium Hexagonal Ferrite-based Wide Band Microwave Absorber*. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol. 271. Hal. 207-214
- [7] <http://www.crystallography.net/cod/result.php>
- [8] Palaniappan, Srinivasan, John, A., 2008. *Polyaniline Materials by Emulsion Polymerization Pathway*. *Journal of Progress in Polymer Science*. 732-736.
- [9] Pereira, F.M.M, Junior C.A.R, Santos M.R.P., 2008. *Structural and Dielectric Spectroscopy Studies of The M-Type Barium Strontium Hexaferrite Alloy (BaSr_{1-x}Fe₁₂O₁₉)*, *J. Mater Sci, Materi Electron*. Vol. 19, hal. 627-638
- [10] Baoyi, Li., Yuping, Duan., Yuefanga, Zhang., Shunhua, Liu. 2010. *Electromagnetic wave absorption properties of cement-based composites filled with porous material*. *Journal Materials and Design*, Vol.32, hal. 3012-3020
- [11] Fitrothul K., Qodri, 2012. *Efek Substitusi Parsial Ion La pada Material Sistem LaxSr_{1-x}O₆(Fe_{1,5}Mn_{0,25}Ti_{0,25}O₃) terhadap Sifat Absorpsi Gelombang Mikro*. Tesis Jurusan Fisika FMIPA. Universitas Indonesia.
- [12] Millah, Ainul A., 2015. *Pengaruh Fraksi Massa Polianilin dan Barium M-Heksaferit sebagai Material Penyerap Radar pada Pelapisan Single Layer Baja AH 36*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [13] Pratapa, S., 2009. *Analisis data Difraksi Menggunakan Metode Rietveld*. Surabaya.
- [14] Amalia, Lita, 2014. *Pelapisan Double Layer dengan Metode Dallenbach Layer Menggunakan Polianilin dan BAM sebagai RAM*. Laporan Tesis Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [15] Yang, C. C., Gung, Y. J., Hung, W. C., Ting, T. H., and Wu, K. H., *Infrared and microwave properties of BaTiO₃/polyaniline and BaFe₁₂O₁₉/polyaniline composites*. *Composites Science and Technology*, 2010, 70, pp. 466-471.
- [16] Silvia, L., 2013. *Pelapisan Komposit PANI/BAM-SiO₂ Berbasis Material Alam sebagai Penyerap Gelombang Mikro dan Pelapis Anti Korosi pada Baja Grade A Tipe AH-36*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [17] Ramli, I., 2012. *Sintesis dan karakterisasi struktur, sifat magnet, dan listrik Barium M-Heksaferite/Polianilin berstruktur core-shell*, Laporan Tesis Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [18] Noly K., Ariza, 2012. *Sintesis dan Karakterisasi Sifat Magnetik Serbuk Barium M-Heksaferit dengan Doping Ion Zn pada Variasi Temperatur Rendah*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [19] Wan, M., *Conducting polymers with micro or nanometer structure*, Tsinghua University Press, Beijing, 2008.