

Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Radar Absorbing Material (RAM) Berbahan Dasar BaM/PANi pada Rentang Gelombang X-Band dengan Variasi Ketebalan

Lian Nunisa Usvanda, dan M. 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 berhasil dibuat lapisan penyerap gelombang radar (RAM) berbahan dasar Komposit BaM/PANi dimana BaM dibuat dari pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan. Barium M-Heksaferit didoping dengan ion Zn^{2+} yang disintesis dengan metode kopresipitasi. Fasa BaM terbentuk pada temperatur kalsinasi $1000^{\circ}C$ dengan holding time 5 jam. Karakterisasi sampel dilakukan dengan XRF, XRD, FTIR, SEM/EDX, VSM, Konduktivitas Listrik dan VNA. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa sifat kemagnetan BaM yang semula *hard magnetic* dapat direduksi menjadi soft magnetic dengan adanya ion doping Zn^{2+} sebesar 0,3. Hal tersebut juga dibuktikan dengan nilai medan koersivitasnya yang menurun yaitu sebesar 0,25 T. Sedangkan untuk besar nilai *reflection loss* yang terbesar dihasilkan oleh lapisan dengan ketebalan 3 mm yaitu sebesar -21,231 dB pada frekuensi 11,5 GHz.

Kata Kunci—Ketebalan, Komposit BaM/PANi, RAM.

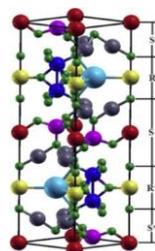
I. PENDAHULUAN

Letak wilayah NKRI yang sangat strategis sangat berpotensi untuk memiliki sumber daya alam yang melimpah. Adanya sumber daya alam ini dapat digunakan untuk membangun kemajuan bangsa, namun selain memiliki dampak positif hal ini juga memiliki dampak negatif seperti adanya ancaman-ancaman terhadap kedaulatan bangsa. Hal tersebut dapat dicegah dengan memperkuat sistem pertahanan negara. Tentara Nasional Indonesia bidang pertahanan laut dan udara menjadi pihak paling dini untuk mengetahui adanya pihak asing yang akan masuk ke wilayah NKRI. Saat ini teknologi yang telah banyak dikembangkan dalam bidang militer yaitu mengenai penyerap gelombang radar. Penyerap gelombang radar dapat dibuat dari 2 aspek yaitu rekayasa geometri dan pemberian lapisan penyerap gelombang radar. Lapisan penyerap gelombang radar biasanya hanya dibuat dari material magnetik dan material dielektrik saja sehingga pada penelitian ini untuk mengoptimalkan serapan gelombang radar dilakukan pengkompositan antara material magnetik dan material dielektrik dengan variasi ketebalan.

Pada umumnya lapisan penyerap gelombang radar terbuat dari Barium M-Heksaferit sebagai material magnetik. Barium M-Heksaferit (BaM) merupakan bahan oksida dengan struktur kristal heksagonal yang dicirikan dengan adanya dua parameter kisi yaitu lebar dari bidang heksagonal (a) = 0,588 nm dan tinggi dari kristal (c) =

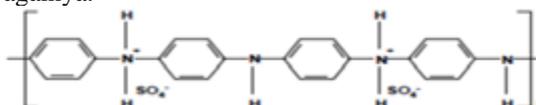
2,32 nm dengan space grup $P63/mmc$ [1].

BaM memiliki nilai saturasi magnet (M_s) sebesar 72 emu/g, nilai medan koersivitas (H_c) sebesar 6700 Oe dan temperatur curie sebesar $450^{\circ}C$. Karena nilai medan koersivitas yang tinggi maka harus dilakukan perekayasa untuk menjadikan BaM sebagai bahan penyerap gelombang radar[2]. Salah satu cara yang digunakan untuk merekayasa sifat kemagnetan BaM ini haruslah diberikan doping yang sesuai. Syarat material yang dapat digunakan sebagai doping yaitu memiliki jari jari ionik yang hampir sama, sebagai contohnya yaitu pada penelitian ini Zn dapat menggantikan Fe pada struktur Barium M-Heksaferit dimana Zn berjari-jari 0,074 nm sedangkan Fe berjari-jari 0,065 nm. Sehingga kehadiran ion Zn^{2+} dapat dimungkinkan untuk menggantikan ion Fe^{3+} [3].



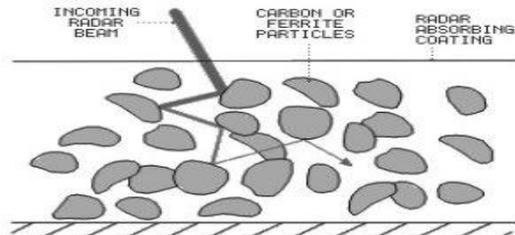
Gambar 1.1 Struktur Kristal Barium M-Heksaferit

Dalam penelitian ini bahan dielektrik yang digunakan yakni polianilin. Polianilin adalah molekul besar yang dibangun oleh pengulangan kesatuan kimia kecil dan sederhana yang disebut monomer anilin ($C_6H_5NH_2$) yang berikatan kovalen. Penggabungan monomer-monomer anilin akan membentuk cincin benzoid (B) dan kuinoid (Q) yang dihubungkan satu dengan lainnya oleh atom nitrogen (N) melalui ikatan amin (terhibridisasi sp^3) dan ikatan imin (terhibridisasi sp^2) [4]. Polianilin memiliki sifat yang unik antara lain memiliki stabilitas termal yang baik dan konduktivitas yang tinggi pada frekuensi mikro. Apabila dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya, PANi lebih mudah untuk disintesis baik secara elektrokimia maupun secara kimia[5]. Polianilin dapat dimanfaatkan sebagai baterai, LED, sensor, dan lain sebagainya.



Gambar 1.2 Polianilin sebagai garam emeraldin pada media asam

Berdasarkan tingkat oksidasinya stuktur molekul dari PANi terdiri atas tiga yaitu Leucoemeraldine Base (LEB), Emeraldine Base (EB), dan Pernigraniline Base (PNB). Ketiga bentuk molekul polianilin ini pertama kali dipelajari oleh MacDiarmind[6]. Konduktivitas dari polimer konduktif memiliki rentang dari insulator hingga konduktor. Konduktivitas polimer konduktif ini meningkat seiring peningkatan dari konsentrasi doping. Pada polimer konduktif PANi, konduktivitasnya juga dipengaruhi oleh pH. Dalam kondisi asam, PANi akan menjadi konduktif sedangkan pada saat pH tinggi maka PANi akan berubah menjadi insulator[7].



Gambar 1.3 Penyerapan gelombang radar

Bahan material magnetik dan dielektrik tersebut akan dikompositkan menjadi *Radar Absorbing Material* (RAM). Material RAM merupakan material yang memiliki kemampuan untuk meminimalisir gelombang radar

II. METODE

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 yang berasal dari pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan, Barium Karbonat (BaCO_3) (ACS reagent grade, MP Biomedicals, LLC), serbuk Zn (pro analis, Merck), Hydrochloric Acid (HCl) 37% (pro analis, Merck), Aquades, Alkohol 96%, NH_4OH (pro analis, Merck), Deodecyl Benzene Sulfonic Acid (DBSA), Anilin, Ammonium peroxydisulfat (APS), Aseton, cat kapal Aghata, thinner, plat baja grade A tipe AH63, es batu, mortar keramik, krusible alumina, gelas beker, gelas ukur 100 ml, spatula kaca, corong, pipet aluminium foil, kertas saring, hot plate, ultrasonic cleaner, magnetic stirrer, magnet permanen, oven, timbangan digital, mesh 140, magnetic bar, thermometer dan kertas pH. Selain itu sample uji akan dikarakterisasi dengan XRF, XRD, FTIR, SEM, VSM, Konduktivitas Listrik, dan VNA.

Sintesis yang akan dilakukan dalam penelitian ini terdapat 4 tahapan yakni pemurnian pasir besi, sintesis BaM, sintesis PANi dan pelapisan secara single layer.

A. Pemurnian Pasir Besi

Pertama pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan ditumbuk kemudian diayak, hal ini bertujuan agar ukuran pasir besi lebih kecil dan surface area pasir lebih besar. Kemudian pasir besi dicuci dengan aquades dan alkohol 96% menggunakan *ultrasonic cleaner* hingga bersih, hal tersebut ditandai dengan air yang tercampur dengan pasir akan terlihat bening.

B. Sintesis BaM

Pasir besi yang mengandung Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 dilarutkan dalam HCl dengan suhu 70°C selama ± 1 jam dan kemudian disaring. Lalu serbuk Zn dilarutkan dengan HCl dengan suhu 70°C . Kemudian serbuk BaCO_3 dilarutkan dalam HCl sampai terbentuk larutan bening

selama ± 1 jam tanpa suhu. Larutan yang terbentuk oleh serbuk Zn ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan yang terbentuk oleh pasir besi. Selanjutnya larutan BaCO_3 dicampurkan dan distirer pada suhu 70°C selama ± 45 menit dimana keadaan pH = 3. Hasil dari pencampuran dari ketiga larutan ditetesi oleh NH_4OH secara perlahan agar terbentuk endapan dengan keadaan pH = 13 (dalam keadaan basa). Endapan yang terbentuk dicuci dengan aquades sampai pH = 7 dan kemudian dikeringkan pada suhu 100°C sehingga didapatkan prekursor Barium M-Hexaferrite (BaM). Selanjutnya dilakukan kalsinasi pada prekursor yang terbentuk dengan suhu 1000°C dan *holding time* (waktu penahanan) selama 5 jam untuk mendapatkan kristalin BaM.

C. Sintesis PANi

APS dilarutkan dalam air destilasi selama 15 menit sehingga akan terbentuk larutan bening. Kemudian Anilin dan DBSA dilarutkan dalam air destilasi dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama ± 30 menit hingga warna menjadi putih. Proses polimerisasi terbentuk pada saat larutan campuran anilin + DBSA yang didinginkan hingga temperatur 0°C pada gelas labu. Selanjutnya larutan distirer dan ditetesi dengan larutan APS sampai terbentuk larutan berwarna hijau tua. Proses ini membutuhkan waktu ± 8 jam. Setelah proses tersebut selesai maka larutan PANi dicuci dengan aquades hingga bening dan kemudian dicuci dengan aseton. Selanjutnya larutan disaring dengan menggunakan kertas saring.

D. Pelapisan Secara Single Layer

Pelapisan ini dilakukan dengan cara mencampurkan thinner, cat kapal agatha dan material PANi dan BaM dengan perbandingan material 1:1. Pencampuran ini dilakukan dengan cara pencampuran mekanik selama 10 menit dengan kecepatan ± 8000 rpm. Setelah pencampuran selesai dilakukan pelapisan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata. Dalam penelitian ini digunakan variabel ketebalan pada lapisan BaM/PANi yang akan diaplikasikan pada kapal militer. Variasi ketebalan yang akan digunakan yaitu 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm, dan 3 mm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Material alam yang digunakan sebagai bahan dasar pembuat Barium M-Heksaferit yaitu pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan. Pasir besi Kalimantan Selatan memiliki kandungan dan tingkat kemurnian ferit (Fe) yang sangat tinggi, sehingga sangat baik untuk dijadikan sebagai bahan dasar Barium M-Heksaferit (BaM). Sebelum pasir besi digunakan dalam proses sintesis, maka terlebih dahulu dilakukan karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang bertujuan untuk mengetahui komposisi kandungan kimia yang terdapat dalam pasir besi. Berikut hasil XRF yang dilakukan sebelum dan sesudah proses pemurnian pasir besi yaitu:

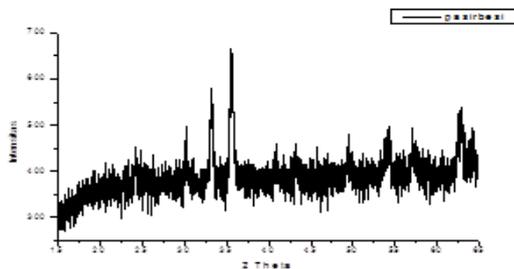
Tabel 3.1 Hasil Karakterisasi XRF Sebelum dan Sesudah Proses Pemurnian

No.	Unsur	Persentase (%)	
		sebelum	sesudah
1.	Si	3,3	-
2.	P	0,2	-
3.	Ca	2,46	0,35
4.	V	0,035	-

5.	Cr	0,1	0,09
6.	Mn	0,31	0,26
7.	Fe	91,04	98,55
8.	Ni	0,073	0,08
9.	Cu	0,76	0,1
10.	Br	0,43	-
11.	Rb	0,55	0,069
12.	La	0,1	0,05
13.	Eu	0,6	-
14.	Os	0,2	-
15.	Yb	-	0,08

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa sebelum dilakukan proses pemurnian pada pasir besi, pasir besi masih memiliki banyak kandungan pengotor mineral. Namun setelah dilakukan proses pemurnian dengan separasi magnet permanen dan pencucian dapat mengurangi bahkan menghilangkan pengotor mineral yang ada di dalam pasir besi. Setelah dilakukan proses pemurnian terjadi peningkatan Fe yakni sebesar 91,04 % menjadi 98,55 %.

Pasir besi hasil proses pemurnian kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD). Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk. Berdasarkan hasil karakterisasi *X-Ray Diffractometer* (XRD) didapatkan pola difraksi sebagai berikut :



Gambar 3.1 Hasil Karakterisasi XRD pada Pasir Besi

Karakterisasi *X-Ray Diffractometer* (XRD) ini dilakukan dengan menggunakan sudut 2θ sebesar 5° - 90° . Berdasarkan analisa dengan menggunakan software *Match!* diketahui bahwa pola difraksi yang terbentuk dari pasir besi membentuk fasa tunggal yaitu fasa magnetite (Fe_3O_4).

Pasir besi hasil pemurnian akan disintesis menjadi Barium M-Heksaferit dengan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi ini memiliki beberapa keunggulan yakni menghasilkan tingkat kemurnian yang tinggi, ukuran *grain* yang dihasilkan bisa dalam orde nano, proses pengendapannya sederhana, tidak membutuhkan waktu lama dan dapat bekerja pada suhu rendah.

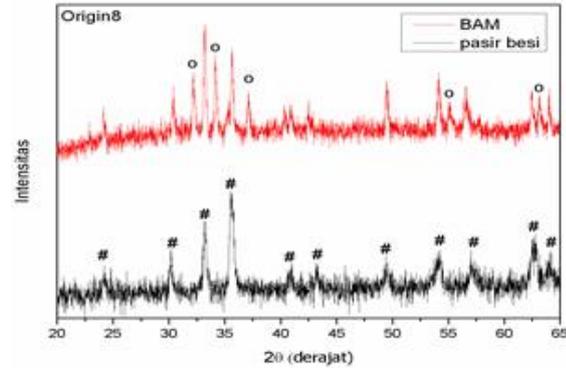
A. Sintesis Barium M-Heksaferit

Barium M-Heksaferit merupakan material magnetik yang memiliki nilai saturasi magnetik dan medan koersivitas yang tinggi. Hal tersebut dapat menyebabkan sifat anisotropik material menjadi meningkat dan sifat absorpsinya semakin melemah. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pemberian dopan *Zinc* (Zn) yang digunakan untuk merakayasa sifat kemagnetan Barium M-Heksaferit. Pemilihan dopan Zn ini dikarenakan jari-jari ion yang dimiliki Zn^{2+} dengan Fe^{3+} hampir sama, ion Zn^{2+} memiliki sifat diamagnetik sehingga dapat mereduksi sifat ferromagnetik, serta Zn^{2+} memiliki gaya tarik menarik yang lebih kuat dibandingkan Fe^{3+} pada keadaan tetrahedral. Adanya ion Zn sebagai dopan ini tidak mengubah struktur kristal dari BaM itu sendiri.

Pada penelitian dopan Zn yang diberikan sebesar 0,3. Hal tersebut mengacu pada penelitian Rosyidah, 2013

Untuk mendapatkan serbuk prekursor Barium M-Heksaferit maka dapat dilakukan tahapan sesuai metodologi. Serbuk Barium M-Heksaferit yang dihasilkan ini memiliki struktur $BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$.

Setelah dilakukan sintesis maka dapat dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD. Adapun hasil pola XRD Barium M-Heksaferit yaitu sebagai berikut:

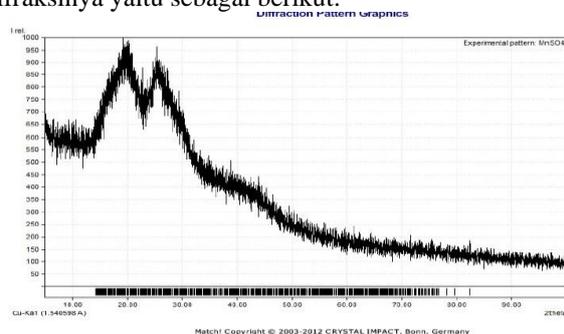


Gambar 3.2 Pola Difraksi Barium M-Heksaferit

Berdasarkan pola difraksi Barium M-Heksaferit dapat dilakukan analisa kualitatif dan kuantitatif. Analisa data kualitatif bisa didapatkan dari software *Match!*. Dari software tersebut diperoleh komposisi fasa relatif yakni fasa BaM (56,7%) dan fasa hematite (43,3%).

B. Sintesis Polianilin

Polianilin merupakan salah satu jenis polimer konduktif yang dibuat dari bahan dasar monomer anilin dan DBSA yang disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi in situ. Pembuatan polianilin ini dibantu juga dengan adanya larutan inisiator yaitu APS. Adanya APS disini berfungsi untuk membantu mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam hal ini proses polimerisasi dilakukan pada suhu $0^{\circ}C$. Hal tersebut bertujuan untuk mengubah rantai monomer menjadi polimer. Polianilin/PANi dapat dikarakterisasi dengan menggunakan pengujian XRD dan FTIR. Dari pengujian menggunakan XRD maka diperoleh hasil pola difraksinya yaitu sebagai berikut:

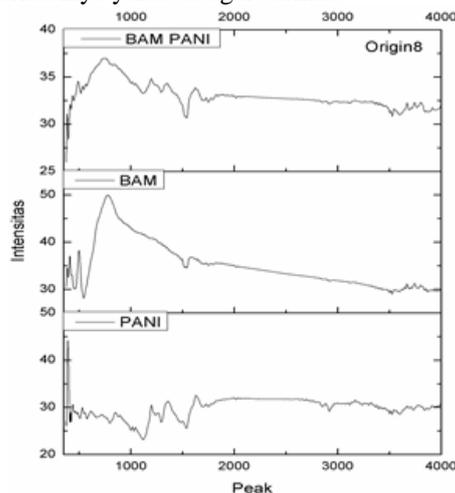


Gambar 3.3 Hasil Pola Difraksi PANi

Berdasarkan hasil pola difraksi pada gambar 4.6, PANi membentuk fasa semikristalin dimana PANi memiliki dua pelebaran puncak pada sudut $20,20^{\circ}$ dan $25,43^{\circ}$. Hal tersebut sesuai dengan penelitian dari Jiang et.al [8] yang mendapatkan dua karakteristik pelebaran puncak pada sudut 2θ yakni pada $20,5^{\circ}$ dan $25,5^{\circ}$. Selain terdapat pelebaran puncak, polianilin ini mengandung unsur amorf. Dari hasil pola XRD pada gambar 4.6 dapat pula dicari besar ukuran partikelnya dimana didapatkan hasil sebesar $\pm 23,1$ Amstrong.

C. Sintesis Komposit BaM/PANi

Material penyerap gelombang radar (RAM) haruslah memiliki kemampuan untuk dapat meminimalisir refleksi dari gelombang elektromagnetik. Selain itu RAM juga harus memiliki sifat magnetik dan sifat listrik yang baik. Hal tersebut dikarenakan gelombang elektromagnetik yang terpancar merupakan sebuah paduan antara medan listrik dengan medan magnet yang berorientasi secara tegak lurus. Penelitian penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa Barium M-Heksaferit merupakan material penyerap gelombang radar yang sangat baik. Namun terdapat kekurangan pada penelitian-penelitian sebelumnya yaitu untuk membuat material RAM hanya menggunakan bahan magnetik atau bahan konduktif saja. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan bahan magnetik dan bahan konduktif sebagai penyusun dasar material RAM. Bahan magnetik yang digunakan yaitu Barium M-Heksaferit dari pasir besi besi Tanah Laut Kalimantan Selatan dengan pemberian dopan Zn^{2+} dan bahan konduktifnya yaitu polianilin/PANi. Kedua bahan ini dikompositkan atau dicampurkan dengan menggunakan media pelarut. Adanya komposit BaM/PANi sebenarnya tidak menyatu satu sama lain namun setiap material berdiri sendiri. Untuk menjelaskan lebih lanjut bahwa tidak terjadi ikatan pada komposit BaM/PANi maka dapat dilakukan karakterisasi uji FTIR untuk melihat ikatannya. Karakterisasi FTIR ini selain dilakukan pada material komposit BaM/PANi, juga dilakukan pada material BaM dan PANi. Hasil karakterisasinya yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.4 Hasil Uji Spektroskopi FTIR pada Polianilin

Berikut merupakan data spektra yang muncul pada material yaitu:

Tabel 3.2 Data Spektra Hasil FTIR

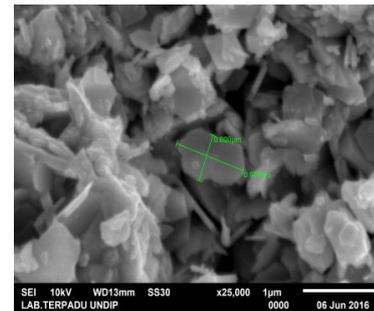
Jenis ikatan	Referensi (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
		BaM	PANi	BaM/PANi
Metal Oxyde (Fe-O)	440	462	-	447
N = H stretching	3427	-	3236,7	3597
C = N stretching	1639	-	1691,6	1712,85
C = C (Q) stretching	1576	-	1537,3	1539
C = C benzenoid ring	1000-1400	-	1240,3	1003
C-N stretch of Q-B-Q	1335-1250	-	1296,2	1294
S = O stretching	900-675	-	667,39	827

Hasil pengujian dengan menggunakan spektroskopi FTIR menunjukkan bahwa bilangan gelombang yang

diperoleh relatif sama dengan data referensi. Hasil tersebut juga menjelaskan bahwa polianilin yang digunakan dalam penelitian ini berjenis garam emeraldin. Garam emeraldin merupakan polimer yang bersifat konduktif. Pembentukan garam emeraldin timbul karena adanya konsentrasi dopan DBSA, dimana hal tersebut ditunjukkan dengan adanya ikatan S = O stretching pada bilangan gelombang 667,4 cm⁻¹. Sedangkan untuk material komposit BaM/PANi dapat terlihat bahwa tidak terbentuk puncak baru di dalam komposit BaM/PANi. Hal ini memungkinkan bahwa komposit BaM/PANi berdiri secara sendiri sendiri atau tidak berikatan.

D. Analisa Morfologi Material

Pengamatan morfologi material dapat dilakukan dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Berikut adalah hasil pengamatan morfologi Barium M-Heksaferit:



Gambar 3.5 Hasil Pengamatan Morfologi BaM dengan Perbesaran 20000 kali

Berdasarkan hasil pengamatan morfologi di atas dari hasil uji SEM-EDX dapat terlihat bahwa struktur heksagonal yang dihasilkan oleh Barium M-Heksaferit belum terbentuk secara sempurna. Hal tersebut dikarenakan fasa yang dihasilkan bukanlah fasa tunggal. Berdasarkan hasil karakterisasi SEM dan XRD didapatkan pula besar ukuran partikel yaitu ± 0,2 μm sampai 1 μm. Besarnya ukuran partikel ini akan berpengaruh terhadap surface area dan sifat mekanik dari material tersebut.

Dalam pengujian SEM-EDX selain untuk mengetahui morfologi atau mikrostruktur dari material dapat pula digunakan untuk mengetahui distribusi elemen secara kualitatif maupun kuantitatif yang terkandung pada material BaM. Hasil distribusi elemen pada material BaM dapat ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 3.3 Hasil Distribusi Elemen-Elemen pada BaM

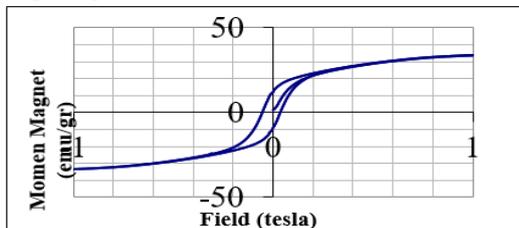
Elemen	Nomor atom	Banyak atom (at. %)
O	8	95,08
Fe	26	4,44
Zn	30	0,24
Ba	56	0,24
Total		100

Berdasarkan Tabel 3.3 yang menyatakan distribusi elemen dari BaM dapat terlihat bahwa banyaknya atom oksigen lebih banyak dari atom lainnya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa oksigen menyisip atau saling berikatan kedalam atom besi (Fe) sehingga terdapat ikatan metal oxyde. Adanya keempat elemen diatas juga mengindikasikan bahwa telah terbentuk struktur Barium M-Heksaferit (BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O₁₉)

E. Analisa Sifat Magnetik

Barium M-Heksaferit merupakan material yang memiliki sifat hard magnetic. Sebuah material yang

bersifat *hard magnetic* memiliki orientasi domain yang acak sehingga pada saat material dikenai medan elektromagnetik maka domain akan susah untuk disearahkan karena medan magnet dari gelombang akan terpental. Oleh karena itu sebagai bahan penyerap gelombang radar sifat ini haruslah direduksi. Secara teori material *soft magnetic* merupakan sifat yang dibutuhkan bahan penyerap gelombang radar. Hal ini dikarenakan material *soft magnetic* memiliki nilai medan koersivitas yang kecil dan sifat anisotropik yang tidak terlalu tinggi sehingga ketika material terdeteksi oleh gelombang radar maka material akan kembali ke keadaan semula. Untuk mereduksi sifat *hard magnetic* dari BaM maka dapat dilakukan mekanisme pendopingan. Dalam penelitian ini digunakan doping Zn dengan konsentrasi doping sebesar 0,3. Hal ini mengacu pada penelitian sebelumnya dimana pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pendopingan dengan ion Mn, Cu maupun Ti yang mendapatkan hasil bahwa sifat *hard magnetic* dari Barium M-Heksaferit dapat direduksi [1]. Dengan menggunakan karakterisasi *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM), maka kita dapat menganalisa sifat magnetik dari Barium M-Heksaferit. Hubungan magnetisasi dengan medan magnet dapat dilihat pada gambar berikut ini:

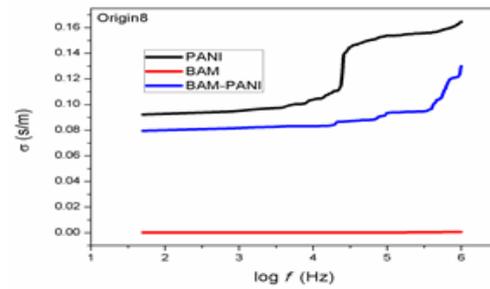


Gambar 3.6 Kurva Histeresis Magnetik Material BaM

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa partikel BaM dengan konsentrasi doping 0,3 memiliki nilai medan koersivitas sebesar 0,25 T, medan remanensinya sebesar 16 emu/gr dan medan maksimumnya sebesar 26 emu/gr. Sedangkan dari penelitian (Linda Silvia, 2013) yang mendapatkan hasil Barium M-Heksaferit tanpa pendopingan menghasilkan nilai magnetisasi remanensi sebesar 7,72 emu/g dan nilai medan koersivitasnya sebesar 0,09 T dengan lebar kurva histeresis lebih besar dari kurva histeresis BaM dengan pendopingan [9]. Hal tersebut dikarenakan substitusi ion Zn^{2+} terjadi secara serentak pada *spin down* dan *spin up* yang mengakibatkan terjadinya penurunan pada nilai medan koersivitas dan medan saturasinya. Adanya penurunan nilai dapat dilihat dari gambar kurva histeresis pada gambar di atas yang menunjukkan bahwa kurva histeresis berbentuk pipih. Hal ini menandakan bahwa pada material BaM telah terjadi perubahan sifat kemagnetan yang berarti bahwa sifat kemagnetan BaM sudah berupa material *soft magnetic*.

F. Analisa Sifat Listrik

Dalam penelitian kali ini juga dilakukan karakterisasi konduktivitas listrik pada bahan Barium M-Heksaferit, polianilin dan campuran BaM/PANi. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menghantarkan arus listrik. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan metode RCL pada rentang frekuensi 50 Hz sampai dengan 1 MHz. Berikut adalah hasil karakterisasi hubungan konduktivitas listrik dengan frekuensi:



Gambar 3.7 Hasil Uji Konduktivitas Listrik pada PANi

Besarnya nilai konduktivitas listrik bergantung pada material yang digunakan. Nilai konduktivitas listrik pada polianilin besar dikarenakan PANi merupakan bahan polimer konduktif. Kemampuan PANi dalam menghantarkan listrik terjadi karena adanya ikatan elektron yang berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi dan tingkat oksidasi yang dihasilkan tergolong dalam garam emeraldin yang mengalami setengah oksidasi dengan nilai konduktivitas pada tingkat semikonduktor pada rentang 10^{-7} s/cm sampai 100 s/cm [10].

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.12 dan pada Lampiran F dapat dianalisa bahwa nilai konduktivitas PANi lebih besar dari nilai konduktivitas BaM dan konduktivitas komposit BaM/PANi yaitu 0,165 pada frekuensi 1 MHz. Dalam hal ini polianilin yang dihasilkan tergolong pada material yang bersifat semikonduktor dimana material semikonduktor memiliki kemampuan yang baik dalam hal penyerapan gelombang mikro. Pada saat gelombang mikro dikenakan ke dalam polianilin/PANi yang dikompositkan dengan BaM maka akan terbentuk medan listrik yang kemudian akan dikonversikan menjadi panas.

G. Analisa Penyerapan Gelombang Mikro

Mekanisme serapan gelombang radar dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu serapan gelombang secara aktif dan secara pasif. Apabila penyerapan gelombang terjadi secara aktif maka ketika ada gelombang elektromagnetik datang akan menimbulkan interferensi sehingga gelombang tersebut akan dipancarkan melemah sehingga tidak dapat dideteksi oleh radar. Sedangkan penyerapan gelombang secara pasif terjadi pada saat gelombang elektromagnetik yang dipantulkan kemudian akan dikonversikan menjadi panas.

Berdasarkan penjelasan pada sub bab C mengenai komposit BaM/PANi, material ini dapat digunakan sebagai bahan penyerap gelombang radar yang baik karena memiliki potensi untuk dapat meminimalisir *reflection loss* dari gelombang elektromagnetik. Material komposit BaM/PANi diharapkan dapat melakukan penyerapan gelombang mikro pada rentang frekuensi X-Band (8,2 GHz sampai 12,5 GHz) sehingga material ini dapat diaplikasikan pada teknologi pesawat terbang, kapal siluman dan teknologi militer lainnya. Untuk mengetahui besarnya penyerapan gelombang mikro oleh material dapat dilakukan pengujian *Vector Network Analyzer* (VNA). Sebelum dilakukan pengujian maka perlu dilakukan preparasi sample uji yaitu dengan cara mencampurkan material komposit BaM/PANi sebagai *filler* dan cat sebagai bahan perekat. Setelah dilakukan pencampuran kemudian dilakukan pelapisan secara *single layer* dengan metode *Dallenbach Layer* yang menggunakan variasi ketebalan dalam pelapisannya.

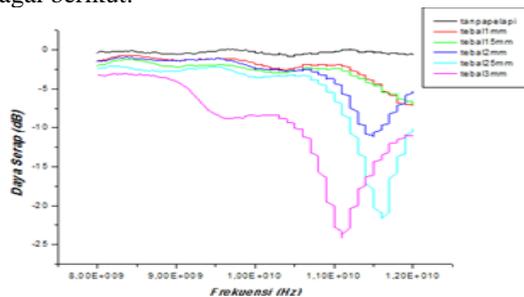
Variasi ketebalan ini yakni 1 mm; 1,5 mm; 2 mm; 2,5 mm dan 3 mm. Variasi ketebalan ditentukan berdasarkan $\frac{1}{4}$ dari panjang gelombang. Setelah dilakukan preparasi sample uji, kemudian dilakukan karakterisasi uji VNA dimana dari pengujian ini diperoleh hasil besarnya nilai frekuensi dibandingkan dengan besar nilai *reflection loss* pada material. Karena pada penelitian ini yang difokuskan pada range frekuensi X-Band maka frekuensi yang diaplikasikan berkisar pada range 8 GHz sampai 12 GHz.

Nilai *reflection loss* dari plat baja AH36 sebelum dilapisi dengan material RAM menghasilkan nilai *reflection loss* sebesar -0,389 dB pada frekuensi 8 GHz. Hal ini berarti bahwa masih terdapat gelombang datang yang dipantulkan oleh plat. Sedangkan pada penelitian ini plat yang telah dilapisi oleh material RAM menghasilkan nilai *reflection loss* semakin kecil yakni sebesar -21,231 dB.

Tabel 3.4 Hasil Identifikasi Penyerap Gelombang Mikro

F (Hz)	Reflection Loss (dB)					
	Tanpa pelapisan	1 mm	1,5 mm	2 mm	2,5 mm	3 mm
8	-0,39	-1,46	-2,1	-1,45	-2,35	-3,29
8,5	-0,29	-0,79	-1,37	-1,14	-2,52	-2,20
9	-0,6	-1,39	-2,19	-1,43	-2,73	-4,10
9,5	-0,19	-1,11	-2,05	-1,15	-2,25	-8,28
10	-0,21	-1,72	-2,58	-2,29	-3,51	-8,44
10,5	-0,65	-2,29	-2,66	-2,62	-3,23	-9,64
11	-0,30	-1,92	-2,38	-3,98	-5,99	-21,23
11,5	-0,37	-4,19	-4,55	-11,07	-19,35	-15,40
12	-0,57	-7,23	-7,03	-5,297	-10,13	-11,08

Berdasarkan tabel 3.4 dapat dibuat grafik hubungan antara frekuensi dengan daya serap pada baja yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.8 Analisa Data Penyerapan Gelombang Mikro

Semakin tebal lapisan yang dilapiskan pada plat baja maka akan semakin besar nilai *reflection loss*nya. Hal tersebut dikarenakan pada saat gelombang datang dikenakan pada plat baja yang dilapisi material RAM maka gelombang tersebut akan masuk ke dalam material RAM dan kemudian akan bertumbukan dengan partikel-partikel dalam material tersebut. Akibat adanya tumbukan inilah gelombang akan kehilangan energi sehingga gelombang tidak akan terpantul kembali.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa Material Barium M-Heksaferit yang semula bersifat hard magnetik dapat direduksi menjadi soft magnetik setelah didoping oleh ion Zn^{2+} dengan konsentrasi $Zn = 0,3$. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan nilai medan koersivitas sebesar 0,25 T. Untuk material dielektrik yakni polianilin

memiliki sifat semikonduktor, hal tersebut dikarenakan besar nilai konduktivitas polianilin sebesar 0,165 S/m berada dalam rentang material semikonduktor. Sedangkan untuk besar nilai *reflection loss* yang terbesar dihasilkan oleh pelapisan single layer dengan ketebalan 3 mm yaitu sebesar -21,231 dB pada frekuensi 11,5 GHz. hal ini berarti bahwa semakin tebal lapisan komposit BaM/PANi yang dilapiskan pada plat baja maka akan semakin besar nilai *reflection loss*nya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Tim RAM selaku tim dalam penelitian ini serta Prof. Bagus Jaya Santosa selaku dosen wali yang telah memberikan pengalaman dan arahnya kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. C. Pullar, "Hexagonal ferrites: a review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 57, no. 7, pp. 1191–1334, 2012.
- [2] F. R. Sholihah and M. Zainuri, "Pengaruh Holding Time Kalsinasi Terhadap Sifat Kemagnetan Barium M-Hexaferrite ($BaFe_{12-x}Zn_xO_{19}$) dengan Ion Doping Zn," *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 1, no. 1, pp. B25–B29, 2012.
- [3] I. N. Saidah and M. Zainuri, "Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Heksaferit Dengan Doping Zn ($BaFe_{11}, 4Zn_0, 6O_{19}$) Menggunakan Metode Kopresipitasi," *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 1, no. 1, pp. B41–B46, 2012.
- [4] N. Rosana and N. P. Putri, "Penambahan Fly Ash pada Komposit Polianilin/HCl/Fly Ash," *J. Mhs. Teknol. Pendidik*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [5] A. Syamsir and others, "Sintesis Nanokomposit PANi/TiO₂/Karbon Sebagai Penyerap Gelombang Mikro," *J. Fis. Unand*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [6] A. G. MacDiarmid, J. C. Chiang, A. F. Richter, Epstein, and AJ, "Polyaniline: a new concept in conducting polymers," *Synth. Met.*, vol. 18, no. 1, pp. 285–290, 1987.
- [7] A. J. Epstein, J. M. Ginder, F. Zuo, R. W. Bigelow, H.-S. Woo, D. B. Tanner, A. F. Richter, W.-S. Huang, and A. G. MacDiarmid, "Insulator-to-metal transition in polyaniline," *Synth. Met.*, vol. 18, no. 1, pp. 303–309, 1987.
- [8] J. Jiang, L.-H. Ai, D.-B. Qin, H. Liu, and L.-C. Li, "Preparation and characterization of electromagnetic functionalized polyaniline/BaFe₁₂O₁₉ composites," *Synth. Met.*, vol. 159, no. 7, pp. 695–699, 2009.
- [9] L. Silvia, K. C. Rosyidah, and M. Zainuri, "Pengaruh Ion Doping Zn pada Sifat Kemagnetan Barium M-Heksaferit BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉ berbasis Pasir Besi Tulungagung," *J. Fis. Dan Apl.*, vol. 9, no. 3, pp. 121–124, 2013.
- [10] H. Prastiwi, *Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Tembaga Terhadap Sifat Listrik Dan Sifat Optik Polianilin (PANi)*. Skripsi, 2012.