

Pengaruh Dopan Co-Zn dengan Variasi Fraksi Mol Dan Variasi Ph terhadap Sifat Magnetik dan Struktur Mikro Barium Heksaferrit dengan Metode Sol-Gel *Auto Combustion*

Rizki Agustianto dan Widyastuti

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),
Kampus ITS, Keputih, Surabaya 60111

E-mail: wiwid@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Pada penelitian ini di harapkan dapat memberikan informasi yang akurat dan optimal untuk penambahan unsur paduan yang terbaik untuk menghasilkan barium heksaferrit dengan tingkat penyerapan gelombang mikro yang optimum. Barium heksaferrit termasuk dalam material yang memiliki sifat ferromagnetik dan termasuk hard magnetic. RAM membutuhkan material yang memiliki sifat soft magnetic. Oleh karena itu banyak diteliti bagaimana cara untuk mendapatkan sifat soft magnetic dari barium heksaferrit. Salah satu cara yang telah ditemukan adalah dengan menambahkan unsur baru. Unsur baru ditambahkan agar mengganggu struktur kristalnya dan menyebabkan perubahan sifat magnetiknya dari hard magnetic menjadi soft magnetic yang cocok untuk RAM. Unsur yang biasanya digunakan untuk mengganggu sejumlah ion Fe dalam komposisi hexaferrit adalah Ti, Zn, Mn, Ni, Co, dll. Efek yang dapat ditimbulkan dari penambahan unsur tersebut misalnya, variasi dalam koersivitas, magnetisasi saturasi, dan suhu Curie telah ditunjukkan untuk magnetik aplikasi. Sementara dalam aplikasi elektromagnetik, ferromagnetik resonansi frekuensi pergeseran, peningkatan pencocokan impedansi, dan elektromagnetik peningkatan penyerapan gelombang. Pada penelitian kali ini dilakukan penambahan unsur paduan Co-Zn pada barium heksaferrit. Penambahan dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel auto combustion, dengan variasi fraksi mol $x = 0.2, 0.4$ dan 0.6 dan variasi pH 7, 9, dan 11. Hasil dari penambahan tersebut kemudian di sintering pada temperatur 950°C selama 3 jam. Selanjutnya hasilnya akan dianalisis dengan pengujian XRD, SEM, dan VSM sehingga akan didapatkan informasi mengenai struktur mikro, fasa dan tingkat magnetisasi dari serbuk barium heksaferrit yang telah ditambahkan unsur paduan. Hasil penelitian ini didapatkan pada pH 7 dan $x = 0.4$ penambahan unsur paduan Co-Zn paling sesuai untuk material penyerap radar karena memiliki nilai koersivitas paling rendah yaitu 0,1104 Tesla

Kata Kunci—Barium Heksaferrit, Cobalt, koersivitas, pH, Zinc

I. PENDAHULUAN

Pada perang dunia II telah diperkenalkan gelombang radar yang dapat mengancam pesawat dan kapal karena dapat terdeteksi oleh radar. Hingga saat ini, teknologi radar telah berkembang pesat dengan menggunakan pemancar *bandwidth* yang tinggi dan bertenaga besar sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut saat ini dikembangkan teknologi

siluman (*stealth*) untuk menghindari deteksi radar menjadi sangat penting [1]. Keefektifan sistem radar untuk dapat mendeteksi target sangat bergantung pada banyaknya energi elektromagnetik yang memperjelas target dipantulkan kembali oleh radar yang disebut sebagai radar cross section (RCS) dari target. Oleh sebab itu, untuk mengoptimalkan sistem siluman, RCS target harus seminimal mungkin dapat terbaca oleh radar. Ada beberapa metode yang dapat mengurangi RCS tersebut, yaitu bentuk desain pesawat, radar absorbing material (RAM), dan radar absorbing structure (RAS) [2].

Salah satu material yang banyak dikembangkan untuk itu adalah material yang bersifat magnetik. Material magnetik dilihat dari segi strukturnya merupakan material yang sangat kompleks dimana material tersebut dapat diaplikasikan dalam berbagai kriteria, sifat fisis seperti sifat listrik, magnet dan optik.

Salah satu dari material absorber radar adalah barium heksaferrit. Penelitian tentang barium heksaferrit pun berkembang pesat dan dengan berbagai metode untuk mendapatkan nanopartikel barium heksaferrit. Ukuran partikel ini sangat menentukan karakteristik magnet dari barium heksaferrit. Selain itu dinyatakan bahwa nilai koersivitas magnet meningkat sebanding dengan ukuran partikel yang semakin kecil. Hal ini dikarenakan kecenderungan terbentuknya single domain pada partikelnya. Penelitian barium heksaferrit banyak dilakukan dengan berbagai metode seperti kristalisasi gas, aerosol, presipitasi hidrotermal, sol-gel, kopresipitasi dan pepaduan mekanik.

Substitusi Ferrit telah menarik perhatian karena menggunakan potensi mereka sebagai salah satu media perekaman data, bahan penyerap gelombang mikro dan lainnya aplikasi elektromagnetik frekuensi tinggi. Karena magnetocrystalline tinggi anisotropy, M-tipe hexaferrites dengan rumus $\text{MFe}_{12}\text{O}_{19}$ (M = Ba, Sr), lebih menarik dan bentuk mereka biasanya diganti digunakan dalam aplikasi yang disebutkan . Biasanya sejumlah tertentu ion Fe dalam komposisi hexaferrite bisa diganti dengan unsur-unsur lain Seperti Ti, Zn, Mn, Ni, Co, dll. Substitusi seperti memberikan menimbulkan beberapa perubahan pada fisik sifat material, yang telah digunakan untuk tujuan yang berbeda. Misalnya, variasi dalam koersivitas, magnetisasi saturasi, dan suhu Curie telah ditunjukkan untuk magnetik aplikasi. Sementara dalam

aplikasi elektromagnetik, ferrimagnetik resonansi frekuensi pergeseran, peningkatan pencocokan impedansi, dan elektromagnetik peningkatan penyerapan gelombang sana diarahkan. Mg - Ti mensubstitusi barium heksaferrit telah dilaporkan memiliki efisiensi yang lebih baik untuk menyerap gelombang elektromagnetik dari pada yang lain. [3]

Penelitian kali ini, barium heksaferrit akan ditambahkan unsur paduan Co-Zn sebagai material doping. Metode yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah dengan metode sol-gel. Perhatian pada penelitian ini ditujukan pada pengaruh variasi dari pH dan fraksi mol terhadap sifat magnetik dan struktur mikronya.

II METODOLOGI PENELITIAN

A. Pembuatan Larutan

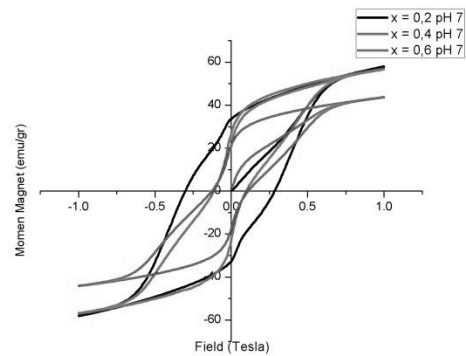
Pembuatan larutan merupakan tahap awal untuk metode sol gel. Proses pembuatan larutan dimulai dengan menimbang bahan – bahan yang diperlukan menggunakan neraca analitik. Kemudian, pengukuran aquades sebagai pelarut bahan. Selanjutnya, melarutkan serbuk barium nitrat dan besi (III) nitrat hidrat menggunakan aquades dalam gelas beaker kemudian dicampur dengan menggunakan ratio mol Fe/Ba 11. Dengan penamaan disebut larutan A. Larutan A diaduk dengan magnetic stirrer selama 15 menit. Lalu menambahkan larutan A dengan unsur paduan Zn dan Co dengan variasi mol 0,4 dan 0,6. Larutan A kemudian ditambahkan dengan asam sitrit dengan perbandingan mol rasio 3 : 1 terhadap besi. Larutan amoniak ditambahkan dengan konsentrasi 5M kedalam larutan A menggunakan pipet sambil di aduk hingga mencapai variasi pH yang diinginkan yaitu 7 dan 9 yang kemudian disebut larutan B. Selanjutnya, mengaduk larutan B selama 1 jam agar homogen.

B. Proses Heat Treatment

Proses Heat Treatment merupakan proses dimana reaksi sol gel akan terbentuk dan terjadi perubahan wujud dari larutan cair menjadi gel basah hingga menjadi gel kering (solid). Tahapan yang dilakukan yaitu dengan memberikan perlakuan panas pada larutan dengan temperatur 80⁰C dan tetap mengaduk selama 3 jam, hasil proses ini akan terjadi gel basah. Kemudian Pemanasan larutan pada temperatur 250⁰C selama 3 jam dan di tahan pada temperature tersebut selama 3 jam, hasilnya akan terbentuk gel kering. Gel yang sudah terbentuk mengembang kemudian diambil dan digerus dengan penumbuk. Gel yang sudah digerus dengan ukuran sangat halus dan siap untuk disintering. Proses sintering dilakukan dengan furnace pada temperatur 950⁰C dan ditahan selama 3 jam.

C. Karakterisasi Spesimen

Serbuk yang telah selesai proses sintering, akan dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui karakteristik serbuk tersebut dan mengetahui sifat magnetik yang terjadi. Hasil dari proses sintesis tersebut untuk mengetahui sifat magnetiknya dilakukan pengujian menggunakan alat pengujian VSM. Pengujian VSM ini akan menghasilkan sebuah kurva histerisis. Kurva histerisis ini akan menggambarkan bagaimana sifat magnetik yang terjadi. Nilai



Gambar 1. Hasil VSM untuk pH 7 pada variasi x = 0.2, 0.4, dan 0.6

sifat magnetik yang dapat diketahui dari pengujian VSM ini diantaranya, nilai dari koersivitas, saturasi magnetik, dan remanensinya.

Pengujian struktur permukaan dari sampel dilakukan dengan menggunakan alat SEM FEI S50 dengan pembesaran maksimum sebesar 50000 kali, dengan pengujian ini akan didapatkan morfologi dari permukaan sampel uji. Kemudian, pengamatan dengan menggunakan XRD dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi unsur atau senyawa yang terbentuk, penentuan komposisi, penentuan struktur kristal, dan lain-lain. Data hasil pengujian ini berupa grafik puncak intensitas terhadap sudut 2theta (2θ). Data XRD dapat digunakan sebagai penentuan unsur atau senyawa major maupun minor, perhitungan ukuran kristal, penentuan struktur kristal dan penentuan komposisi unsur atau senyawa

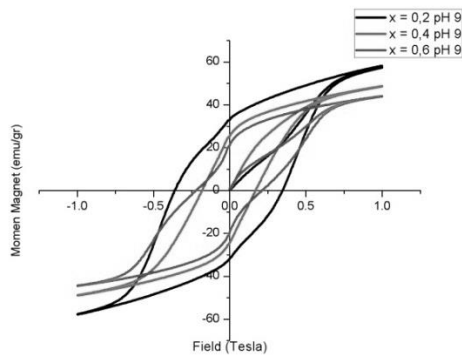
III ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji VSM

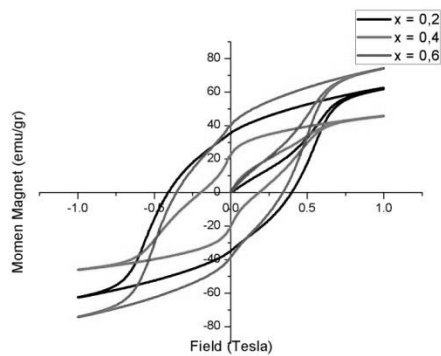
Pengujian VSM dilakukan untuk mengetahui sifat magnetik dari pengaruh substitusi unsur Co-Zn pada material barium heksaferrit. Hasil dari pengujian VSM ini diperoleh sebuah kurva histerisis yang menunjukkan magnetik sampel. Nilai dari koersivitas, saturasi magnetik dan nilai remanensi magnetik dari sampel akan dapat diketahui. Besar kecilnya nilai koersivitas ini akan mempengaruhi dari kesesuaian untuk diaplikasikan sebagai material penyerap radar. Pengujian ini dilakukan pada semua sampel yang ada.

Gambar 1. menggambarkan bahwa dengan penambahan Co-Zn paling baik terjadi pada x = 0,4 karena pada penambahan Co/Zn x = 0,4 memiliki nilai koersivitas paling kecil dari pada dengan penambahan x = 0,2 dan x = 0,6. Nilai saturasi magnetik yang paling besar terjadi pada x = 0,2 dengan berturut – turut selanjutnya yaitu x = 0, 6 dan x = 0,2.

Gambar 2 Menunjukkan bahwa penambahan Co-Zn pada x = 0,2 memiliki sifat magnetik yang paling tinggi dari pada x = 0,4 dan 0,6 dengan lingkungan pH 9. Besar kecilnya sifat magnetik tersebut dapat dilihat dari besarnya nilai koersivitas pada kurva histerisis. Dari kurva histerisis pH 9 dapat dilihat bahwa x = 0,4 memiliki nilai koersivitas paling bagus.



Gambar 2. Hasil VSM untuk pH 9 pada variasi x = 0.2, 0.4, dan 0.6



Gambar 3 Hasil VSM untuk pH 11 pada variasi x = 0.2, 0.4, dan 0.6

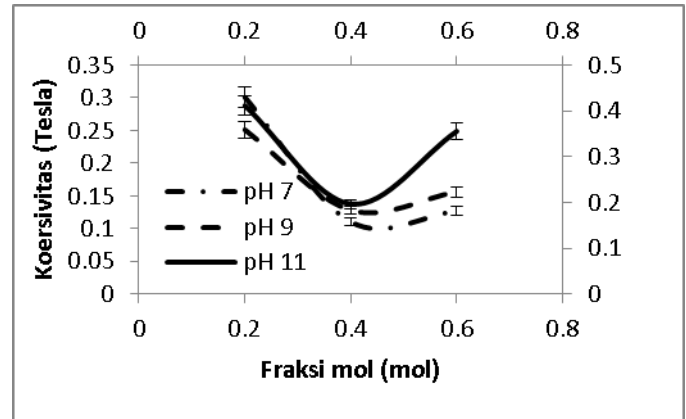
Pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa penambahan Co-Zn pada x = 0,6 memiliki sifat magnetik yang paling tinggi dari pada x = 0,2 dan 0,4 dengan lingkungan pH 11 karena memiliki nilai saturasi dan nilai koersivitas paling tinggi. Untuk material radar absorber dari kurva histerisis pH 11 x = 0,4 adalah yang paling cocok digunakan karena memiliki nilai koersivitas paling kecil dari pada x = 0,2 dan x = 0,6.

Dari Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3 yang menggambarkan kurva histerisis dari serbuk barium heksaferrit dengan substitusi unsur Co-Zn pada pH 7, pH 9, dan pH 11 dengan x = 0.2, 0.4, dan 0.6 dapat ditarik kesimpulan bahwa peningkatan fraksi mol Co-Zn pada barium heksaferrit menurunkan nilai saturasi magnet (Ms) dan koersivitas (Hc). Secara teori, barium heksaferrit memiliki magnetisasi saturasi (Ms) sebesar 72 emu/gr, medan koersivitas (Hc) sebesar 6700 Oe dan temperatur curie sebesar 450°C [4]. Terlihat bahwa dengan penambahan unsur paduan Co-Zn menurunkan nilai koersivitas tanpa menurunkan nilai saturasi secara signifikan. Secara detail dapat dilihat pada Table 1.

Gambar 4 merupakan grafik yang hubungan antara nilai koersivitas dengan fraksi mol yang digunakan. Pada grafik terlihat bahwa nilai koersivitas paling rendah pada semua variasi fraksi mol adalah pada fraksi mol 0.4. ini menunjukkan bahwa pada x = 0.4 paling sesuai untuk aplikasi material penyerap radar.

Tabel 1. Nilai Sifat Magnetik Substitusi Co-Zn pada Barium Heksaferrit x = 0.2, 0.4, dan 0.6 pada lingkungan pH 7, 9, dan 11

pH	Fraksi mol (x)	Sifat Magnetik		
		Hc (T)	Ms (emu/g)	Mr (emu/g)
7	0.2	0,3009	57,8	33,62
	0.4	0,1104	56,7	29
	0.6	0,1267	43,67	20,8
9	0.2	0,3588	58,193	33,23
	0.4	0,1833	48,711	25,45
	0.6	0,2234	44,054	21,2
11	0.2	0,4116	62,49	35,42
	0.4	0,1967	45,63	22,342
	0.6	0,3555	74,147	40,139



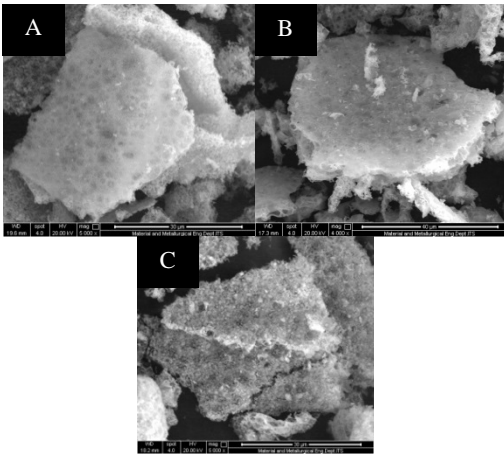
Gambar 4 Grafik hubungan antara fraksi mol penambahan Co-Zn dengan besar nilai koersivitas

Berdasarkan dengan nilai magnetik yang dihasilkan dari pengujian VSM seperti pada Tabel 1 dan gambar grafik dapat disimpulkan bahwa penambahan Co-Zn yang paling baik pada fraksi mol x = 0,4 dengan pH 7. Pada penambahan Co-Zn dengan hingga fraksi mol x = 0,6 menyebabkan semakin turunnya nilai saturasi dari barium heksaferrit sehingga barium heksaferrit yang pada mulanya memiliki sifat *hard magnetic* setelah diberi unsur substitusi Co-Zn menjadi bersifat *soft magnetic*. Material *soft magnetic* secara teori merupakan sifat yang dibutuhkan untuk material penyerap radar. Hal tersebut dikarenakan material *soft magnetic* memiliki medan koersivitas yang kecil dan sifat anisotropic yang tidak terlalu tinggi sehingga ketika material terdeteksi oleh radar maka material tersebut akan kembali ke keadaan semula [5]. Zn^{2+} memiliki konfigurasi elektron [Ar] $3d^{10}$ yang memiliki momen magnet $0\mu_B$. Ini menyatakan bahwa dengan mendoping ion Zn pada Fe berpotensi menurunkan magnetisasi saturasi yang berakibat pada menurunnya medan koersivitas magnetokristalnya [6]

Mensubstitusi Co (cobalt) pada barium heksaferrit dapat mengurangi nilai koersivitas dari 1082 G mg^{-1} ke $275,8 \text{ G mg}^{-1}$ [7]. Dapat dibandingkan juga dengan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Endah P. Kharismawati, 2012 [8] dengan pembentukan barium heksaferrit tanpa penambahan unsur paduan pada kondisi pH 7,5; 9; dan 11.

B. Hasil Uji SEM

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh morfologi dan komposisi dari barium heksaferrit yang telah ditambahkan unsur paduan Co-Zn dengan variasi fraksi mol (x) pada kondisi pH 7, 9 dan 11 dilakukan pengujian menggunakan *Scanning*



Gambar 5 Bentuk permukaan partikel barium heksaferrit dengan pH 7 pada masing – masing penambahan unsur Co-Zn a) x = 0,2 b) 0,4 c) dan 0,6 pada perbesaran 5000x

Electron Microscope (SEM) dan EDX. Pada penelitian kali ini digunakan alat SEM FEI tipe Inspect S50.

Pada Gambar 5 merupakan penampakan permukaan dari material barium heksaferrit yang telah ditambahkan unsur paduan Co-Zn dengan perbedaan fraksi mol $x = 0,2 ; 0,4$ dan $0,6$ pada kondisi pH 7 dengan perbesaran 1000x, 2000x, dan 5000x. Terlihat bahwa semua hasil dari morfologinya berbentuk seperti polygonal dan *sponge* atau berpori dan dengan semakin bertambahnya unsur paduan Co-Zn menyebabkan permukaan semakin tidak teratur dan semakin membesar pori yang ada.

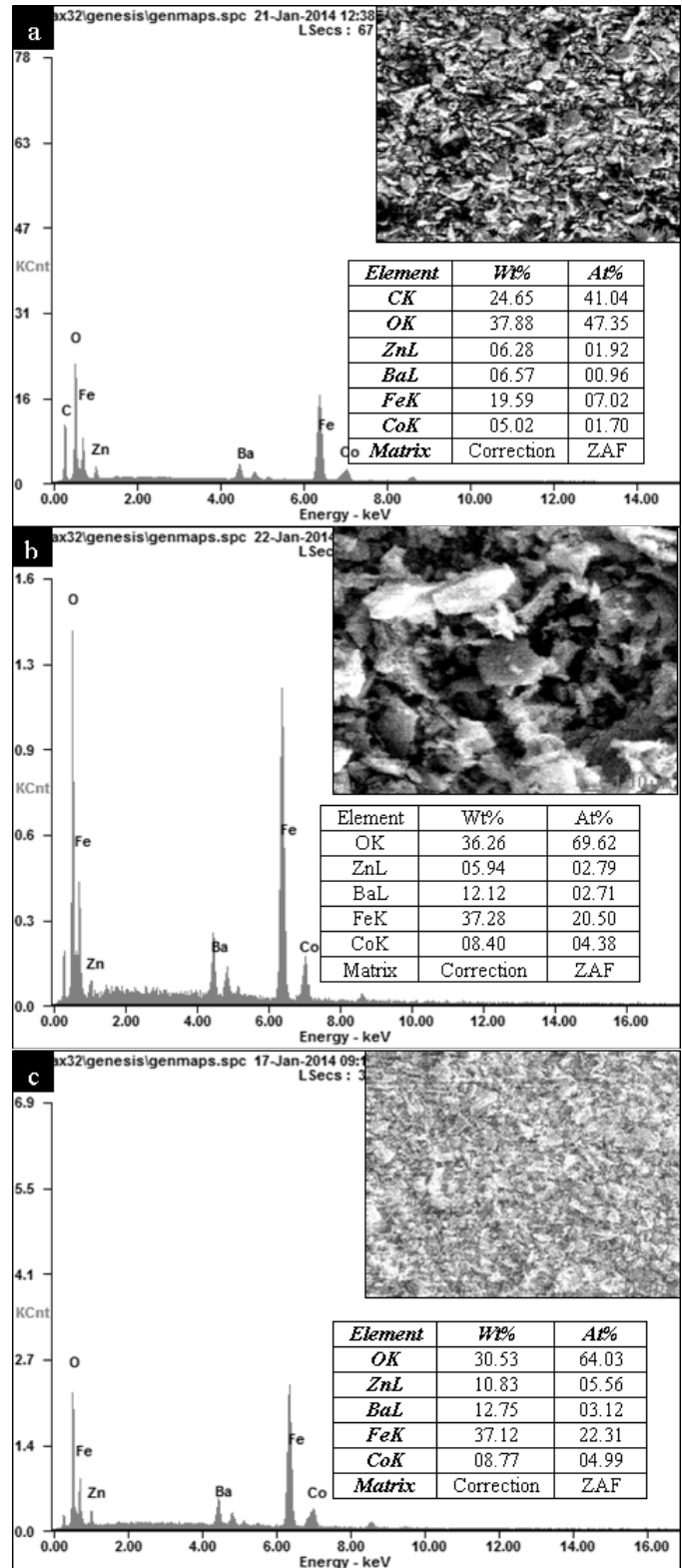
Untuk mengetahui distribusi komposisi yang terjadi pada partikel dan meyakinkan bahwa penambahan unsur paduan Co-Zn berhasil disubstitusi pada barium heksaferrit sesuai dengan tujuan awal maka dilakukan *Energy Dispersive X-ray Spectrometry* (EDX) pada area tertentu pada persebaran partikel sehingga didapatkan secara umum komposisi yang terbentuk. Gambar dari hasil SEM-EDX pada kondisi pH 7 terlihat pada Gambar 6.

Gambar 6 hasil SEM EDX diatas terlihat bahwa ada penambahan unsur paduan Co-Zn telah berhasil mensubstitusi Fe pada barium heksaferrit ini dibuktikan dengan munculnya komposisi unsur Co dan Zn pada hasil SEM-EDX. Komposisi Co dan Zn pada hasil SEM-EDX juga semakin meningkat dengan bertambahnya fraksi mol.

C. Hasil Uji XRD

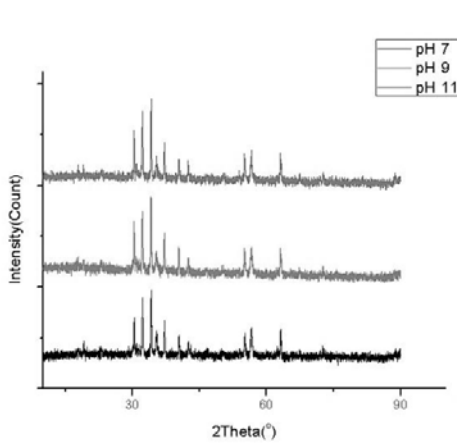
Untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi dan fasa apa yang terbentuk dari pengaruh penambahan unsur paduan Co-Zn maka dilakukan pengujian XRD. Pengaruh dari penambahan unsur paduan Co-Zn pada kondisi pH pada barium heksaferrit dari hasil XRD dapat dilihat pada beberapa gambar dibawah ini.

Hasil XRD pada Gambar 7 dapat diamati perubahan yang terjadi akibat dari pada penambahan pH 7, 9 dan 11 pada penambahan unsur paduan Co-Zn $x = 0,2$ pada barium heksaferrit terlihat bahwa puncak yang dominan berada pada sudut 2θ adalah 34.1120, 32.1959, 30.3140 yang berupa puncak dari $BaFe_{12}O_{19}$.

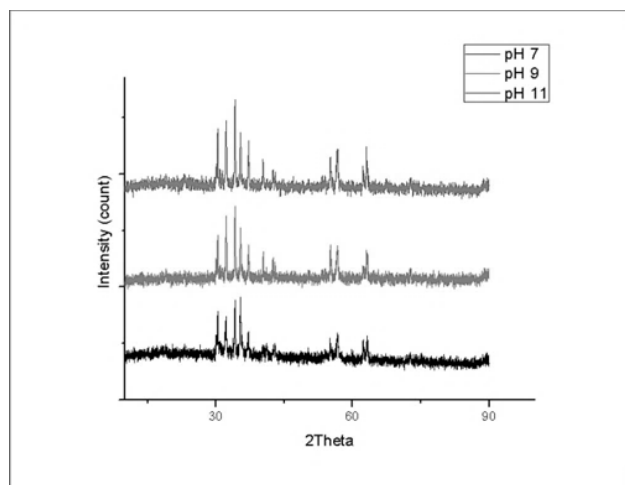


Gambar 6 Hasil SEM-EDX pada kondisi pH 7 dengan variasi a) x = 0,2 b) 0,4 dan c) 0,6

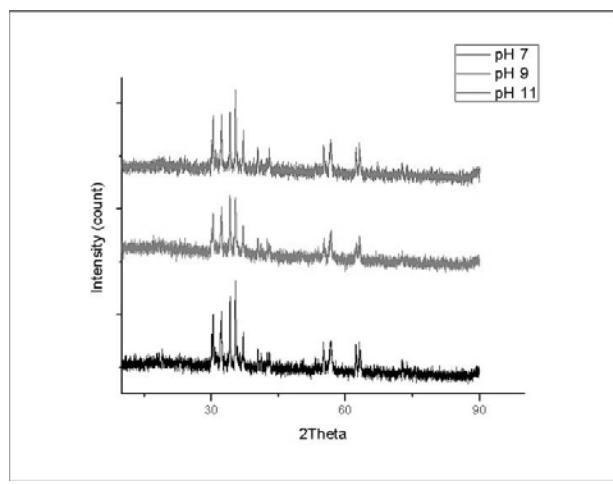
Ketinggian dari puncak mengalami peningkatan dari pH 7, 9 dan 11 cara berturut – turut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya pH larutan maka pembentukan $BaFe_{12}O_{19}$ semakin meningkat.



Gambar 7 Hasil XRD penambahan Co-Zn $x = 0,2$ pada pH 7, 9, dan 11



Gambar 8 Hasil XRD penambahan Co-Zn $x = 0,4$ pada pH 7, 9, dan 11



Gambar 9 Hasil XRD penambahan Co-Zn $x = 0,6$ pada pH 7, 9, dan 11

Gambar 8 menunjukkan puncak – puncak dari fase $BaFe_{12}O_{19}$ terbentuk. Tidak ada fase lain yang teridentifikasi sehingga hanya ada satu fase $BaFe_{12}O_{19}$. Seiring dengan penambahan pH terlihat bahwa puncak yang terjadi semakin tinggi, ini menunjukkan bahwa penambahan pH mempengaruhi terbentuknya $BaFe_{12}O_{19}$.

Pada Gambar 9, terlihat puncak yang dimiliki dari hasil

XRD pada penambahan variasi pH 7, 9, dan 11 pada unsur paduan Co-Zn $x = 0,6$ memiliki kesamaan pada letak peak yang terjadi. Tiga peak tertinggi yang dapat diamati yaitu pada sudut 2θ adalah 34.1120, 32.1959, 30.3140 yang berupa puncak dari $BaFe_{12}O_{19}$. Semua peak yang terjadi menunjukkan peak yang dimiliki oleh $BaFe_{12}O_{19}$. Sehingga dapat disimpulkan pada pH 9 terjadi single fase $BaFe_{12}O_{19}$. Hasil dari beberapa uji XRD di atas, dapat dilihat bahwa penambahan pH berhasil mensubstitusi unsur besi dalam barium heksaferrit sehingga menyebabkan pembentukan barium heksaferrit. Tidak teridentifikasi fase lain pada penambahan pH yang terjadi dan dapat ditunjukkan dengan peningkatan puncak dengan bertambahnya pH.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Ion dopan Co-Zn yang ditambahkan semakin banyak akan menyebabkan semakin menurunkan nilai koersivitas dan saturasi magnet dari barium heksaferrit. Penurunan nilai koersivitas paling signifikan terjadi pada $x = 0,4$ dan pH 7 dengan nilai koersivitas 0,1104 Tesla
2. pH larutan semakin tinggi maka akan menyebabkan semakin naiknya nilai koersivitas dan saturasi magnet dari barium heksaferrit
3. Peningkatan nilai koersivitas dan saturasi magnetik secara signifikan terjadi pada pH 11 dan $x = 2$
4. Pada pH 7 dan $x = 0,4$ penambahan ion dopan Co-Zn merupakan komposisi paling sesuai untuk material penyerap radar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rizal Ramadhan dan Widyastuti, Pengaruh Fraksi Berat Serbuk Karbon Hitam Dan Jumlah Lapisan Serat E-Glass Terhadap Reflection Loss Pada Komposit E-Glass/Ripoxy Untuk Aplikasi Radar Absorbing Structure (Ras). Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS (2012).
- [2] Vinoy, K. J. dan R. M. Jha, Radar Absorbing Materials: From Theory to Design and Characterization. Boston: Kluwer Academic (1996).
- [3] M. Jazirehpour, M.H. Shams, dan O. Khani, Modified sol-gel synthesis of nanosized magnesium titanium substituted barium hexaferrite and investigation of the effect of high substitution levels on the magnetic properties. Journal of Alloys and Compounds 545 : 32–40 (2012).
- [4] Zainuri M, Laporan Akhir Studi Absorpsi Elektromagnetik pada M-Hexaferrites untuk Aplikasi Anti Radar, Ristek, ITS Surabaya (2010).
- [5] Dharma, Putu Indra Wirya, Pengaruh Unsur Paduan Zn dan Ni Serta Variasi Waktu Milling Pada Proses Mechanical Alloying Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Magnetik Barium Hexaferrite Sebagai Radar Absorbent Material (RAM). Skripsi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS (2011).
- [6] R. da Costa Lima, Magali Silveira Pinho, dan T. Ogasawara, Thermal characterization of the intermediary products of the synthesis of Zn-substituted barium hexaferrite. Springer (2009) 97:131–136 (2009).
- [7] G. B. The, S. Nagalingam, dan D. A. Jefferson, A study of magnetoplumbite-type (M-type) cobalt–titanium-substituted barium ferrite, $BaCo_xTi_xFe_{12-2x}O_{19}$ ($x = 1-6$). Mater Chem Phys., 101 : 158–162 (2007).
- [8] Endah P. Kharismawati, Pengaruh pH dan Waktu Stirring Terhadap Sifat Magnetik dan Struktur mikro Barium Heksaferrit Pada Radar Absorber Material (RAM) Dengan Metode Sol Gel Auto Combustion. Skripsi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS (2012).