

## Pengaruh Temperatur *Sintering* Terhadap Struktur dan Sifat Magnetik $\text{Ni}^{2+}$ - Barium Ferit sebagai Penyerap Gelombang Mikro

Muhammad Iqbal Ramadhan\*, Wahyu Widanarto, Sunardi

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jenderal Soedirman

Jl. Dr. Soeparno Karangwangkal, Purwokerto

Corresponding Author: [Iqbalramadhan9970@yahoo.com](mailto:Iqbalramadhan9970@yahoo.com)

**Abstrak** – Barium ferit yang di doping  $\text{Ni}^{2+}$  konsentrasi 0,7 mol dengan variasi temperatur sintering 450°C (hanya pre-sintering), 600°C, 700 °C, dan 800°C telah dibuat menggunakan metode modified solid state reaction. Sampel dianalisis fasa kristal, ukuran kristal, sifat magnetik dan penyerapan gelombang mikronya. metode modified solid state reaction merupakan perpaduan antara metode sol-gel dan solid state reaction, yang meliputi pembuatan larutan prekursor awal, sol-gel, pemadatan, pre- sintering dan sintering. Sampel yang telah dibuat selanjutnya dikarakterisasi dengan alat X-Ray Diffraction (XRD), Vibrating Sample Magnetometer (VSM) dan Vector Network Analyzer (VNA). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa semua sampel yang telah disintesis mengandung dua fasa yaitu  $\text{BaFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ . Kurva histeresis menunjukkan bahwa semua sampel merupakan material superparamagnetik. Material penyerap gelombang mikro yang baik memiliki refleksi hilang yang tinggi dan bandwidth yang lebar. Pada temperatur 700°C menunjukkan hasil terbaik dengan rentang frekuensi penyerapan terbanyak pada frekuensi 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz–10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz dan memiliki penyerapan yang paling tinggi dibandingkan dengan ketiga sampel lainnya yakni pada frekuensi 8,30 GHz sebesar -27,30 dB. Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa variasi temperatur sintering telah berpengaruh pada fasa kristal, ukuran kristal, sifat magnetik, dan penyerapan gelombang mikronya. Dengan demikian Ni- Barium Ferit sangat berpotensi sebagai material absorpsi gelombang mikro.

**Kata kunci:** Barium Ferit, Nikel, Modified Solid State Reaction, Gelombang mikro

**Abstract** – Barium ferrite doped  $\text{Ni}^{2+}$  concentrations of 0,7 mol with sintering temperature variations is 450°C (pre-sintering only), 600°C, 700°C, and 800°C have been made with modified solid state reaction method. Samples were analyzed crystal phase, crystal size, magnetic properties and microwave absorption. The modified solid state reaction method is a combination of sol-gel and solid state reaction methods, first preparing initial precursor solutions, sol-gel, compaction, pre-sintering and finally sintering. The samples were characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Vibrating Sample Magnetometer (VSM) and Vector Network Analyzer (VNA). The characterization results show that all samples that have been synthesized contain two phases namely  $\text{BaFe}_2\text{O}_4$  and  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ . The hysteresis curve shows that all samples are superparamagnetic materials. Good microwave absorbent material has a high reflection loss and a wide bandwidth. At 700°C show the best results with a the greatest number of distance in frequency 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz – 10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz and have a best absorbent than other sample in a frequency 8,30 GHz a number of -27,30 dB. Based on the results obtained that sintering temperature variations have influenced the crystalline phase, crystal size, magnetic properties, and microwave absorption. Thus Ni- Barium Ferrite is highly potential as a microwave absorbent material.

**Keywords:** Barium Ferrite, Nickel, Modified Solid State Reaction, Microwave

## PENDAHULUAN

Dewasa ini kecanggihan teknologi komunikasi sangat berkembang pesat. Banyaknya perangkat komunikasi menyebabkan meningkatnya sumber radiasi berupa paparan gelombang mikro, sehingga alat elektronik dengan bahan yang tidak mampu menyerap paparan gelombang mikro akan mudah mengalami

gangguan sistem. Untuk mengatasi kendala ini, dibutuhkan bahan yang mampu meredam gelombang elektromagnetik. Teknologi penyerapan gelombang elektromagnetik merupakan teknologi yang sedang dikembangkan, yang telah melahirkan sebuah material baru yaitu *Radar Absorbing Material* (RAM), yang salah satu aplikasi pada bidang militer. Material ini bersifat meredam

pantulan gelombang mikro sehingga benda yang dilapisi dengan RAM tidak terdeteksi oleh RADAR. RAM telah dibuat dalam berbagai bentuk dalam nanomaterial [1]. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa pemanfaatan mineral berupa pasir besi sebagai penyerap gelombang mikro Pasir besi yang teroksidasi seperti mempunyai permitivitas dan permeabilitas yang sangat tinggi. Bahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat ferrimagnetik yang dalam keadaan murni nilai magnetisasi jenuhnya dapat mencapai 65 emu/g [2]. Dalam memanfaatkan potensi alam tersebut, maka dibuat magnet permanen *Barium M-Hexaferit* (BaM). Magnet permanen (BaM) memiliki beberapa keunggulan antara lain, nilai koersivitas ( $H_c$ ) dan saturasi magnet ( $M_s$ ) tinggi, serta suhu transisi ( $T_c$  = suhu Curie) cukup tinggi [3]. Penelitian sebelumnya menjelaskan sintesis dari *barium M-hexaferrite* menunjukkan bahwa adanya efek terhadap perubahan temperatur dan substitusi dopan. Pada pembentukan fasa dari *barium M-hexaferrite* ( $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ni}_x\text{O}_{19}$ ) seiring dengan meningkatnya temperatur kalsinasi yang digunakan, diperoleh puncak yang muncul semakin sedikit dan akan terbentuk fasa tunggal pada temperatur *sintering*  $800^\circ\text{C}$  dan variasi dopan  $x = 0,7$  [4]

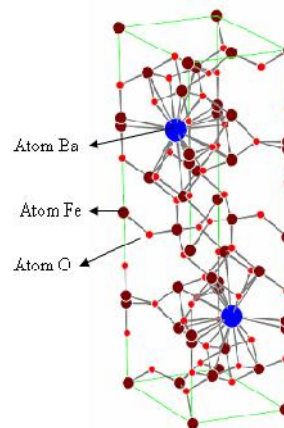
## LANDASAN TEORI

### A. Pasir Besi

Pasir besi sebagai salah satu bahan baku utama dalam industri baja dan industri alat berat lainnya di Indonesia, keberadaannya akhir-akhir ini memiliki peranan yang sangat penting. Berdasarkan kejadiannya endapan besi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis. Pertama endapan besi primer, terjadi karena proses hidrotermal, kedua endapan besi laterit terbentuk akibat proses pelapukan, dan ketiga endapan pasir besi terbentuk karena proses rombakan dan sedimentasi secara kimia dan fisika [5]. Pada penelitian sebelumnya, Widanarto menemukan bahwa pasir di Desa Widarapayung Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap mengandung 70%  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . [6]

### B. Magnet Barium Ferit

Magnet barium ferit mulai dikembangkan pada awal tahun 1960, Magnet ini termasuk klasifikasi material keramik magnet keras yang memiliki struktur hexagonal ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) Dalam beberapa tahun terakhir, heksagonal ferit telah banyak diaplikasikan, seperti magnet permanen, telekomunikasi, *magneto-optical*, media penyimpan data, dan *electromagnetic shielding fields*. Namun, medan koersivitas ( $H_c$ ) terlalu tinggi untuk beberapa aplikasi baru. Untuk mengatasi masalah ini, ion besi dalam fasa-M bisa disubstitusi dengan kation logam lain yang ukurannya hampir sama (misalnya  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ). Sebagian besar, substitusi berlangsung secara serentak mengakibatkan penurunan medan koersivitas dan magnetisasi saturasi [7].



**Gambar 2.1** Struktur Kristal Magnet Barium Hexaferit [8]

Barium heksaferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) merupakan salah satu magnet permanen dengan struktur heksagonal yang sesuai dengan space group  $P6_3/mmc$  [9]. Struktur kristal barium heksaferit terlihat pada **gambar 2.1**.

#### c) Nikel

Nikel dikenal sebagai salah satu komoditas tambang yang cukup besar potensinya di Indonesia. Sumber daya nikel di Indonesia sebagian besar berupa bijih nikel laterit (nikel oksida). Sampai saat ini Indonesia masih mengeksport nikel dalam bentuk bahan mentah. Dalam dunia industri, nikel digunakan sebagai bahan paduan baja tahan karat (*stainless steel*),

konduktor dan paduan-paduan logam lainnya [10]. Nanopartikel  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  menampilkan kurva histeresis yang sempit, sehingga material ini dapat dianggap sebagai bahan inti yang baik untuk transformator daya dan aplikasi pada bidang telekomunikasi. Selain itu, material ini juga dapat digunakan pada teknologi sensor gas dan kelembaban, serta sebagai bahan katalis [11]

## METODE

### a) Proses pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Proses pembuatan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terdiri dari dua tahap yaitu penyaringan dan penggerusan. Penyaringan pasir besi merupakan pengambilan pasir besi dari bahan nonmagnetik dengan magnet permanen 6000 Gauss kemudian diayak menggunakan saringan secara berulang-ulang untuk memperoleh pasir besi yang murni.

### b) Pembuatan larutan besi nitrat

Besi nitrat ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ) merupakan bahan mentah dalam pembuatan larutan bahan awal. Besi nitrat diperoleh dengan melarutkan serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dalam larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ). Kemudian ditambahkan asam oksalat ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ) dalam larutan besi nitrat yang berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi dalam proses pengentalan.

### c) Pembuatan larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$

Pembuatan larutan nikel nitrat dilakukan dengan cara mencampurkan bahan nikel oksida ( $\text{NiO}$ ), asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) sesuai dengan perhitungan stoikiometri.

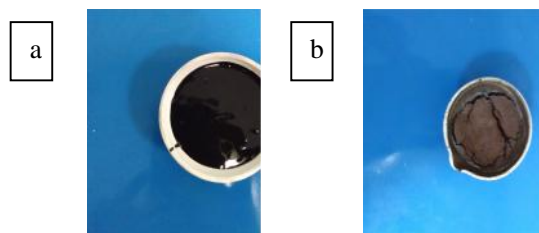
### d) Pencampuran bahan

mencampurkan semua bahan yang telah ditimbang sesuai perhitungan stoikiometri, yaitu besi nitrat ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ), barium nitrat ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ) dan nikel nitrat  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama  $\pm 10$  menit.

### e) Sintesis Nikel Barium Ferit

Larutan bahan awal yang telah dipersiapkan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada temperatur  $100^\circ\text{C}$ . *Sol* terbentuk dengan menambahkan *polyethylene glycol* (PEG) sebanyak 48 ml dalam larutan bahan awal secara berangsur-angsur menggunakan

pipet hingga menjadi *sol* yang homogen dan bersih. *Sol* yang telah didinginkan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam, pembentukan *gel* dimulai setelah ditambahkan etanol sebanyak 20 ml secara berangsur-angsur. *Gel* kemudian dipanaskan pada temperatur  $150^\circ\text{C}$  selama 2 jam tanpa pengadukan untuk mengurangi kandungan air dalam *gel*. Setelah itu, *gel* didiamkan satu malam pada temperatur ruang untuk meningkatkan ketebalan *gel* sehingga terbentuk *gel* pekat. *Gel* pekat kemudian didididitamatkan pada cawan khusus untuk dikalsinasi menggunakan *muffle furnace* pada temperatur  $350^\circ\text{C}$  selama 2 jam. *Gel* pekat dan hasil kalsinasi ditunjukkan **gambar 2.1**



**Gambar 2.1** a. Gel Pekat b. hasil kalsinasi

### f) Proses Pemadatan

Serbuk nikel barium ferit yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan proses pemadatan. Proses ini menggunakan alat press mekanik dengan berat beban sebesar 1 ton yang dipengaruhi medan magnetik luar untuk menyearahkan arah kristal magnet penyusunnya. Serbuk tersebut dimasukkan ke dalam cetakan kemudian diperoleh bentuk material pelet.

### g) Proses Pre-Sintering dan Sintering

*Pre-sintering* dilakukan pada pelet yang telah dibuat dengan suhu  $450^\circ\text{C}$  selama 5 jam yang bertujuan untuk menguatkan material dan mencegah penyusutan bahan pada proses *sintering* [12]. *Sintering* adalah pengikatan massa partikel pada serbuk oleh interaksi antar molekul atau atom melalui perlakuan panas dengan temperatur *sintering* mendekati titik leburnya sehingga terjadi pemadatan. Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme *sintering* antara lain jenis bahan, komposisi, bahan dan ukuran partikel [13]. Pada penelitian

ini dilakukan variasi temperatur *sintering* dilakukan proses *sintering* selama 5 jam dengan dilakukan variasi suhu seperti yang terdapat pada **tabel 3.1**

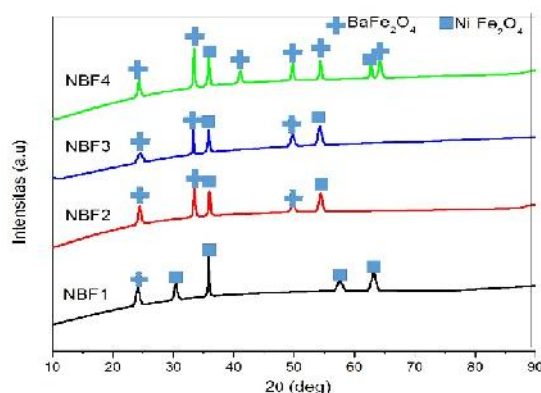
**Tabel 3.1**

KODE	X(mol)	Pre-Sin Waktu	Sin Waktu
NBF1		450 °C	-
NBF2		450 °C	600 °C 5 Jam
NBF3	0,7	450 °C Jam	700 °C 5 Jam
NBF4		450 °C	800 °C 5 Jam

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a) Karakterisasi XRD

Karakterisasi *X-ray Diffraction (XRD)* digunakan dalam mengidentifikasi fasa, sistem kristal dan ukuran kristal dari material Nikel Barium Ferit (NBF). Hasil data XRD yang diperoleh berupa puncak-puncak pola difraksi. Berdasarkan puncak-puncak yang muncul dari pola difraksi setiap variasi temperatur *sintering* terlihat berbeda pada intensitas serta posisi puncak terhadap sudut  $2\theta$ . Hasil pengolahan pola difraksi ditunjukkan pada **Gambar 4.1** yang terlihat bahwa keempat sampel memiliki kandungan dua fasa.

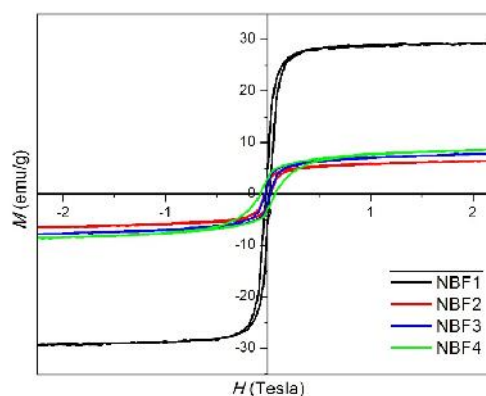


Pengaruh variasi temperatur *sintering* ternyata tidak hanya berpengaruh pada fasa kristal yang terbentuk tetapi juga terhadap ukuran kristalnya. Berdasarkan pola difraksi XRD pada NBF1, NBF2, NBF3, NBF4 diperoleh 2 fasa kristal yang sama yaitu  $\text{BaFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  dengan puncak terbanyak yaitu 8 puncak pada NBF4 dan 5 puncak pada NBF1-NBF3. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa belum terbentuknya

fasa Barium ferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) secara dominan, dikarenakan fasa ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) akan terbentuk secara dominan pada temperatur *sintering* 1000°C [14]. Dalam penelitian ini, temperatur *sintering* tertinggi hanya mencapai 800°C. Berdasarkan hasil grafik ukuran kristal, terlihat hasil yang fluktuatif dengan kenaikan drastis pada temperatur 600°C, kemudian menurun pada temperatur 700°, dan naik lagi pada temperatur 800°C.

### b) Karakterisasi VSM

Karakterisasi *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* digunakan dalam menentukan besaran-besaran sifat magnetik bahan berupa nilai magnetisasi remanen ( $M_r$ ), magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) dan medan koersivitas ( $H_c$ ). Magnetisasi remanen merupakan induksi magnet yang tertinggal dalam bahan setelah medan magnet luar dihilangkan. Medan koersivitas adalah medan yang diperlukan untuk menghilangkan magnetisasi remanen. Sedangkan magnetisasi saturasi adalah keadaan dimana spin-spin magnet dalam bahan sudah searah dengan medan magnet luar [15]. Hasil data VSM berupa kurva histeresis yang menggambarkan hubungan medan magnet luar  $H$  dan magnetisasi  $M$ . Berdasarkan hasil karakterisasi VSM diperoleh kurva histeresis ditunjukkan pada **Gambar 4.2**



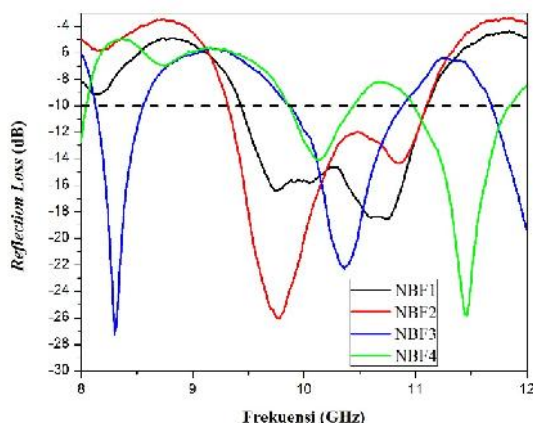
Berdasarkan hasil perhitungan, didapat Sampel NBF dengan nilai suseptibilitas yang kecil dan positif, yang menandakan bahwa material NBF merupakan material yang bersifat superparamagnetik. Dari keempat sampel NBF, terlihat semua bersifat *soft magnetic*,



dikarenakan memiliki nilai koersivitas yang kecil. Sampel NBF1 dengan temperatur *pre-sintering* / tanpa *sintering*, memiliki nilai saturasi yang paling besar yaitu 22,86 emu/g. Sedangkan nilai koersivitas tertinggi terdapat pada sampel NBF4 dengan temperatur *sintering* 800°C. Nilai suseptibilitas dan permeabilitas terbesar ada pada sampel NBF1 (tanpa *sintering*) sebesar  $12,823 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ , dan  $1,0000128 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Berdasarkan hasil yang diperoleh, meningkatnya nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), suseptibilitas ( $X_m$ ), dan nilai permeabilitas ( $\sim \mu_r$ ) pada temperatur *sintering* 600°C - 800°C.

#### c) Karakterisasi VNA

Karakterisasi *Vector Network Analyzer* (VNA) digunakan untuk menganalisis nilai *reflection loss* ( $R_L$ ) yaitu besarnya penyerapan bahan terhadap gelombang mikro. Pengukuran nilai  $R_L$  menggunakan metode TRL (*Transmission/Reflection Line*) pada frekuensi 8 GHz-12 GHz (X band). Nilai  $R_L$  tersebut kemudian diolah sehingga diperoleh grafik *reflection loss* sebagai fungsi frekuensi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**



Pengaruh temperatur *sintering* menyebabkan adanya variasi pada serapan gelombang mikro dan lebar pita frekuensi keempat sampel NBF. Dari keempat sampel NBF, sampel NBF3 mempunyai rentang penyerapan yang paling banyak, yaitu pada rentang 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz – 10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz dan memiliki nilai serapan paling tinggi dibanding sampel lainnya yaitu pada frekuensi 8,30 GHz sebesar -27,3 dB, namun

material penyerap gelombang mikro yang baik tidak hanya mempunyai  $R_L$  yang tinggi, namun juga harus memiliki pita frekuensi yang besar. Berdasarkan hasil yang diperoleh, sampel NBF3 memiliki nilai  $R_L$  yang paling tinggi dan rentang pita frekuensi yang paling banyak. Dari hasil yang diperoleh, perubahan temperatur *sintering* berpengaruh terhadap pergeseran puncak penyerapan pada frekuensi tertentu.

## KESIMPULAN

1. Bahan magnet Ni- Barium ferit dengan variasi temperatur NBF: temperatur *pre-sintering* 450°C (tanpa *sintering*), 600°C, 700°C, dan 800°C telah dibuat menggunakan metode *modified solid state reaction*.
2. Pada semua sampel (NBF) menghasilkan 2 fasa  $\text{BaFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  serta merupakan bahan yang bersifat superparamagnetik dan *soft magnetic* dengan meningkatnya nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), suseptibilitas ( $X_m$ ), dan nilai permeabilitas ( $\sim \mu_r$ ) pada temperatur *sintering* 600°C - 800°C.
3. NBF3 mempunyai rentang penyerapan yang paling banyak, yaitu pada rentang 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz – 10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz dan memiliki penyerapan yang paling tinggi dibandingkan dengan ketiga sampel lainnya yakni pada frekuensi 8,30 GHz sebesar -27,30 dB.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yani Nasution, E.L., Astuti. 2012. *Sintesis Nanokomposit PAni/  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Sebagai Penyerap Pada Gelombang Mikro*. Jurnal Fisika Unand Vol. 1, No. 1
- [2] Erika, & Astuti. 2012. *Sintesis Nanokomposit PAni/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Sebagai Penyerap Magnetik Pada Gelombang Mikro*. Sumatera Barat: Jurnal Fisika UNAND.
- [3] Kojima, H. 1982. *Fundamental Properties Of Hexagonal Ferrites with*

- Magnetoplumbite*. Amsterdam: North Holland Publishing Company
- [4] Susilawati, Munib, Doyan. A. 2015. Pengaruh Temperatur kalsinasi Dan Substitusi Logam Nikel Pada Pembentukan Fasa Barium M-Heksaferit ( $\text{BaFe}_{12-x}\text{Ni}_x\text{O}_{19}$ ) Menggunakan FTIR. Universitas Mataram: Program Studi Magister Pendidikan IPA Program Pascasarjana.
- [5] Widi, B. N. 2005. Laporan Hasil Penelitian Tinjau Endapan Pasir Besi di Kabupaten Sikka. Nusa Tenggara Timur: PT. Ever Mining
- [6] Widanarto, W., M.R Sahar, S.K Ghosal, R Arifin, M.S Rohani, ja K Hamzah. Effect Of Natural  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanoparticles on Structural and Optical Properties of  $\text{Er}^{3+}$  Doped Tellurite Glass. *J.Magn.Magn Mater.*326, 2013:pp.123-128.
- [7] Rosler, W. L. 2003. Synthesis and Characterization of Hexagonal ferrites  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Zn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$  ( $0 < x < 2$ ) by thermal Decomposition of Freeze-dried Precursors. *Cryst Res Technol*, 499-503.
- [8] Moulson, A., & Helbert, J. 2003. *Electronics: Materials, Properties, Application*. Chichester.
- [9] Smith, W. 1959. *Ferrites*. New York: Jhon willey and sons.Inc.
- [10] Betri, D. A. 2011. Ekstraksi Nikel dari bijih nikel laterit melalui proses pelindian dengan memanfaatkan bakteri. Skripsi: ITB Bandung.
- [11] Joshi, Kumar, Chhoker. 2014. Structural, Magnetic, dielectric, and optical properties of nickel ferrite nanoparticles syntherized by co-precipitation method. *Journal Of Molecular Structure vol 1076*, 55-62.
- [12] Zhang. H, Liu Z, Ma C, Yao. X, Zhang.L, Wu.M. 2002. Complex permitivity, permeability, and microwave absorption of Zn and Ti- substituted barium ferrite by citrate sol-gel process. *Material science and engineering B96*, 1.
- [13] Mayasari, I. 2012. Pengaruh Temperatur Sintering terhadap sifat fisis dan sifat magnet pada magnet permanen stronsium heksferit. Jakarta: Universitas Syarif Hidayatullah.
- [14] Safei.P, Patricius. P, Wisnu A. 2015 Pembuatan bahan magnetik barium heksaferit. *Jurnal Kimia Kemasan*, Vol. 37 No 2, hal 95-102 BATAN: Tangerang Selatan.
- [15] Nugraha, P. R., Widanarto, W., Cahyono, W. T., & Kuncoro, H. S. 2015. Pengaruh aditif  $\text{BaCO}_3$  pada kristalinitas dan Suseptibilitas Barium Ferit dengan Metoda Matlurgi Serbuk Isotropik. *Berkala Fisika*, 18(1), 43-50.