

Efek Sintering Pada Material $BaFe_{12}O_{19}$ Terhadap Struktur Kristal

Ahmad Fauzi¹, Priyono², Heri Sutanto³

¹Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, fauzi_pf07@yahoo.co.id

²Universitas Diponegoro, priyonocp@gmail.com

³Universitas Diponegoro, herisutanto@gmail.com

ABSTRAK - Telah dilakukan sintesis material barium heksaferit $BaFe_{12}O_{19}$ dengan metode mechanical milling. Hasil sintesis disintering dengan temperature $1200^{\circ}C$ selama 4 jam (sampel a), setelah terbentuk hasil sintesis dilakukan sintering kembali kedua kalinya pada material tersebut dengan temperature $1200^{\circ}C$ selama 4 jam (sampel b). Hasil sintesis sintering pertama dan kedua kalinya dikarakterisasi dengan XRD untuk mengamati struktur kristalnya. Hasil XRD pada Sampel a diperoleh hasil cell parameters $a = 5,89135 \text{ \AA}$ dan $c = 23,214 \text{ \AA}$, *crystal system*-nya adalah *hexagonal* serta volume cellnya $697,3865 \text{ \AA}^3$ sedangkan pada sampel B diperoleh hasil *cell parameters* $a = 5,89154 \text{ \AA}$ dan $c = 23,199 \text{ \AA}$, *crystal system*-nya adalah *hexagonal* serta volume *cell*-nya $697,5585 \text{ \AA}^3$. Kedua material ini disintering dengan temperature yang sama dan waktu penahanan sintering yang berbeda maka nilai *cell parameter* dan *volume cell*-nya berbeda tetapi ukuran kristal sampel B lebih kecil dari sampel A sekitar 166.992 nm.

Kata Kunci : Barium heksaferit, mechanical milling, cell parameter, crystal System

ABSTRACT - The synthesized of barium hexaferrite $BaFe_{12}O_{19}$ has been done by mechanical milling method. Results synthesis temperature sintering with $1200^{\circ}C$ for 4 hours (sample a), after sintering to from a synthesis carried back a second time on the material with temperature $1200^{\circ}C$ for 4 hours (sample b). the results of the synthesis of the first and second sintering is characterized by XRD to observe the crystal structure. XRD results on sample a obtained results of cell parameter and sample b data processed results obtained cell parameters $a = 5,89135 \text{ \AA}$ dan $c = 23,214 \text{ \AA}$, crystal system is hexagonal and the volume cell $697,3865 \text{ \AA}^3$ while the b sample results obtained cell parameter $a = 5,89154 \text{ \AA}$ and $c = 23,199 \text{ \AA}$ system crystal is hexagonal and the volume cell $697,5585 \text{ \AA}^3$. while system is a hexagonal cristal. Both of these materials with the same temperature sintering and detention different time then the value of cell parameters and volume cell is different but the same of crystal system

Keywords: Barium hexaferrite, mechanical milling, cell parameters, crystal system.

Naskah diterima : 16 Januari 2018, Naskah dipublikasikan : 15 September 2018

PENDAHULUAN

Radiasi gelombang elektromagnetik yang melebihi batas dosis yang diijinkan (*safe limit*) akan mengganggu lingkungan terutama kesehatan manusia (Karkide, 2008). Jumlah radiasi gelombang mikro ke lingkungan perlu dikurangi. Untuk tujuan tersebut teknologi penyerapan terhadap radiasi gelombang mikro. Jenis material

tertentu dapat digunakan untuk penyerapan gelombang mikro yaitu material golongan ferrit seperti *barium hexaferrite*.

Barium hexaferrite memiliki anisotropi uniaxial, magnetisasi membuat bulir bulirnya terorientasi secara teratur sepanjang sumbu-c. Medan anisotropi yang tinggi membuatnya sesuai Untuk digunakan

pada frekuensi yang lebih tinggi (Gurkan, 2008).

Barium hexaferrite pun berkembang dengan berbagai metode untuk mendapatkan nanopartikel *Barium hexaferrite*. Untuk partikel sangat menentukan karakteristik magnet dari *Barium hexaferrite*. Nilai koersivitas magnet meningkat seiring dengan ukuran partikel yang semakin kecil (Gramatyk, 2006 3).

Hal ini dikarenakan kecenderungan terbentuknya *single phase* pada partikelnya. *Single phase* terlihat pada struktur kristalnya dengan mengacu pada parameter kisi dan volume selnya (Limar, 2003 4). Struktur kristalnya yang dibentuk dipengaruhi oleh temperature sinternya. Untuk meningkatkan parameter kisi diperlukan temperature sintering pada material tersebut. Dalam penelitian ini difokuskan pada pengaruh sintering pada $BaFe_{12}O_{19}$ terhadap struktur kristal. Struktur kristal adapat diuji dengan *X-Ray Diffractometer* (XRD).

LANDASAN TEORI

Barium hexaferrite mempunyai struktur kristal dengan sistem hexagonal. Struktur ini mempunyai magnetocrystalline anisotropy dengan baik hingga hexagonal ferit berbeda dengan *cubic ferrite* dan spinel. *Barium hexaferrite* merupakan keramik oksida komplek dengan rumus kimia $BaFe_{12}O_{19}$. *Barium hexaferrite* mempunyai kestabilan kimia yang bagus dan relatif murah dan kemudahan dalam produksi. Material magnet tersebut memiliki sifat mekanik yang sangat kuat dan tidak mudah terkorosi. Sebagai magnet permanen, material $BaFe_{12}O_{19}$ memiliki sifat kemagnetan dengan tingkat kestabilan tinggi terhadap pengaruh magnet luar. *Barium hexaferrite* $BaFe_{12}O_{19}$ yang memiliki parameter kisi $a = 5,8920$ Angstrom dan $c = 23,1830$ Angstrom (Mosleh, Z., Kameli, P., Poorbaferani, A., Ranjbar, M., & Salamati, H., 2016).

Penggunaan material ini bergantung pada mudah atau sulitnya material campuran dimagnetisasi (diukur dari

koersivitas dalam satuan A/m). material dengan nilai koersivitas yang tinggi adalah material yang sulit dimagnetisasi. Material dengan sifat yang sulit dimagnetisasi ini dikenal dengan sebutan material hardferit. Sebaliknya material yang mudah dimagnetisasi dikenal dengan sebutan material softferit.

Barium hexaferrite tergolong ferrimagnetik, ferrimagnetik merupakan material magnet oksida yang bersifat magnetik dengan struktur spinel, struktur garnet maupun struktur *hexagonal* (Pratiwi, R. A., Prakoso, A. G., Darmasetiawan, R., Agustine, E., Kirana, K. H., & Fitriani, D., 2016). Struktur *hexagonal* memiliki lima sampai tujuh klasifikasi yang berbeda berdasarkan pada formula kimianya. *Hexagonal ferrit* dengan tipe M memiliki senyawa kimia $BaFe_{12}O_{19}$, tipe Y memiliki senyawa $Ba_2Me_2Fe_{12}O_{22}$, tipe W adalah memiliki senyawa $BaMe_2Fe_{16}O_{27}$, tipe Z memiliki senyawa $Ba_3Me_2Fe_{24}O_{41}$, sedangkan tipe U memiliki senyawa $Ba_4Me_2Fe_{36}O_{60}$, simbol Me dalam struktur diatas merupakan logam transisi dua valensi seperti Mn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} dan lain-lain. Atom Ba dapat digantikan dengan atom lain seperti Sr, Pb dan lain sebagainya (Viet Long, N., Minh Thi, C., Yong, Y., Cao, Y., Wu, H., & Nogami, M., 2014).

Barium hexaferrite dapat disintesis dengan beberapa metode seperti metode seperti kristalisasi gas, presipitasi hidrotermal, sol gel, aerosol, kopresipitasi dan pepaduan mekanik. Pepaduan mekanik di antaranya metode ini *mechanical milling* (Ambika, S., Devasena, M., & Nambi, I. M., 2016).

Mechanical milling adalah metode tradisional yang biasa digunakan untuk membentuk *barium heksaferit*. Pada metode ini oksida dan karbon dari senyawa awal dicampurkan dan dipanaskan untuk membentuk senyawa campuran akhir. Keuntungan menggunakan metode ini adalah tidak memerlukan jumlah material yang begitu besar dan tidak memerlukan peralatan laboratorium yang mahal (Zepon,

G., Leiva, D. R., Kaufman, M. J., Figueroa, S. J. A., Floriano, R., Lamas, D. G., ... & Botta, W. J., 2015). Dengan metode ini sejumlah besar reaksi organik dicapai dengan hasil yang lebih tinggi, waktu yang lebih singkat dan kondisi yang lebih ringan (Tong shou jin, 2006).

Metode ini adalah metode yang paling konvensional dalam material processing. Metode ini yang dipakai karena biayanya relatif lebih murah dan lebih mudah untuk dikontrol. *Milling* adalah salah satu metode untuk mencampur material. Jika ada serbuk atau lebih dicampur disebut *mechanical milling*, selain itu untuk mencampur *milling* juga berfungsi untuk mengurangi ukuran butir, semakin lama waktu *milling* maka semakin kecil ukuran partikel (Soares, O. S. G. P., Rocha, R. P., Gonçalves, A. G., Figueiredo, J. L., Órfão, J. J. M., & Pereira, M. F. R., 2016).

Tumbukan bola-material bola selama proses *milling* akan menekan material kedua sisi yang saling berlawanan sehingga yang belum halus akan mendapatkan tekanan di dua sisi yang berbeda secara terus-menerus. Proses tersebut mengakibatkan serbuk akan menjadi halus. Selanjutnya serbuk yang telah halus akan dibuat logam dengan teknologi serbuk dimana teknologi ini memanfaatkan bahan dasar berupa serbuk halus yang kemudian ditekan dalam suatu cetakan dan kemudian disinter dibawah titik cairnya (Suryanarayana, 2001). Hasil *milling* material tersebut lalu disintering.

Sintering merupakan pemanasan material dengan cara memanaskannya tidak sampai melampauinya titik lelehnya. *Solid state sintering* merupakan *sintering* yang dilakukan pada material padat yang bertujuan untuk memperbaiki struktur material (Olahanmi, E. O. T., Cochrane, R. F., & Dalgarno, K. W., 2015). Selama proses *sintering*, gaya penggerak makroskopik menurunkan kelebihan energi dipermukaan ini dapat terjadi dengan penyusutan luas permukaan total karena peningkatan ukuran rata-rata partikel dan

penghapuan antarmuka padatan diikuti dengan pertumbuhan butir (Yoon, B., Yadav, D., Raj, R., Sortino, E., Ghose, S., Sarin, P., & Shoemaker, D., 2018).

Setelah itu dilakukan karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), hasil XRD diukur ukuran kristalnya. Pada sinar X dengan panjang gelombang λ mengenai permukaan material kristal pada sudut θ , sudut difraksi yang dihasilkan adalah θ . Difraksi yang berasal dari barisan atau bidang kedua (B) atom-atom kristal akan melintasi jarak $(xy+yz)$ lebih jauh dibandingkan lintasan sinar difraksi yang dihasilkan oleh barisan (bidang) pertama (A). Dua baris atom atau antar bidang kristal A dan B dipisahkan oleh jarak d . Untuk menghasilkan difraksi maksimum, perbedaan jarak lintas tersebut harus memenuhi kelipatan panjang gelombang λ . Panjang lintasan xy dan yz keduanya adalah sama dengan $d \sin \theta$, maka difraksi maksimum akan terjadi bila memenuhi persamaan $2d \sin \theta = n \lambda$. Dengan n adalah orde difraksi, d adalah jarak antar kisi, θ adalah sudut difraksi dan λ adalah panjang gelombang sinar-X (Cullity, B. D., & Stock, S. R., 2014).

Struktur dan kualitas suatu material dapat dilihat dari besarnya nilai *full width at half maximum* (FWHM) dan orientasi bidang kristal. Orientasi bidang kristal digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal mengarah pada kristal tunggal atau polikristalin. Tinggi rendahnya nilai FWHM digunakan untuk mengidentifikasi kualitas kristal (Amiri, I. S., Ahmad, H., & Al-Khafaji, H. M., 2015).

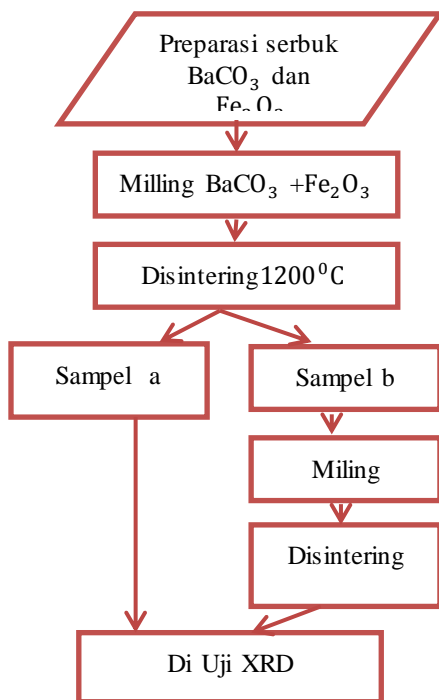
Full width at half maximum (FWHM) pola XRD dapat disebabkan oleh tiga faktor, yaitu kesalahan instrumental, regangan kisi dan ukuran kristalit (Suryanarayana, 1998). Ukuran kristalit, regangan kisi dan ketidakcocokan kisi dapat ditentukan menggunakan persamaan *Scherrer* untuk menentukan rata-rata ukuran kristal (Wellia, D. V., 2017).

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta}$$

dengan D adalah ukuran kristalit, K adalah konstanta untuk bahan oksida $=0,94$, λ adalah panjang gelombang sumber sinar X yang digunakan dalam penelitian ini $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$, β = nilai FWHM, θ = sudut posisi puncak difraksi kristal.

METODE PENELITIAN

Preparasi material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dari senyawa serbuk BaCO_3 dan Fe_2O_3 , proses sintesis material tersebut dengan menggunakan metode *Mechanical Milling*. Senyawa serbuk dimasukan kedalam milling, campuran bahan tersebut di milling selama 8 jam yang bertujuan agar partikel-partikel pada bahan menjadi *homogeny* (Priyono, 2010), sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir preparasi Barium Hexaferrite dan pengujiannya

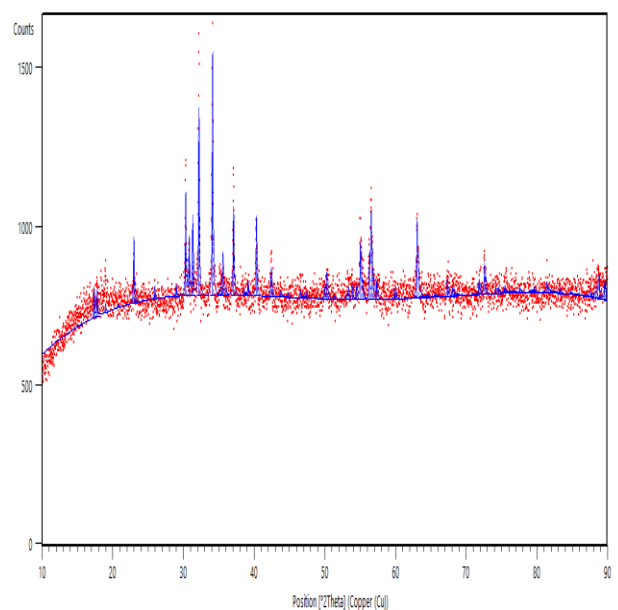
Hasil *milling* tersebut dikompaksi dengan tekanan 3 ton dengan ukuran 1,2 cm berbentuk koin. Hasil kompaksi material tersebut disintering dengan temperature 1200°C ditahan selama 4 jam, proses ini dilakukan untuk mengaktifasi

sampel, menurunkan porositas dan menambahkan nilai densitas, serta memperkuat ikatan serbuk. Sampel a dan sampel b hasil sintesis disintering 1200°C selama 4 jam, sampel b lalu di milling kembali selama 1 jam dan dikompaksi dan disintering kembali 1200°C ditahan selama 4 jam. Sampel a adalah hasil sintering 1 kali sedangkan sampel b adalah hasil sintering 2 kali. Kedua sampel dikarakterisasi dengan uji XRD untuk melihat struktur kristalnya..

PEMBAHASAN

Pengukuran difaksi Sinar X

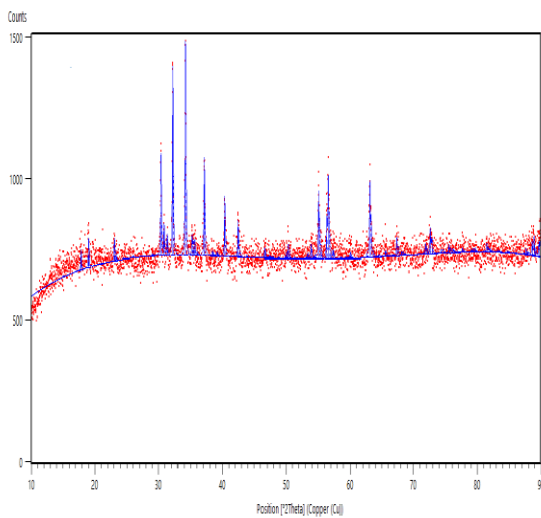
Untuk dapat mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada sampel yang telah melalui proses sintering satu kali maupun sintering dua kali, maka dilakukan karakterisasi sampel dengan menggunakan peralatan *X-Ray diffractometer* yang kemudian dianalisa secara kualitatif. Proses analisis tersebut dilakukan dengan cara mencocokkan data hasil pengukuran difraksi yang terdapat pada sampel dengan database internasional, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel a ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) yang disintering satu kali

Pada gambar 2 telah dilakukan proses identifikasi fasa pada $BaFe_{12}O_{19}$ yang disintering satu kali pola difaksi yang menunjukkan parameter kisi $a=b= 5,89135 \text{ \AA}$, $c = 23,214 \text{ \AA}$ dan volume cellnya $697,3865 \text{ \AA}^3$. dan *crystal systemnya hexagonal*.

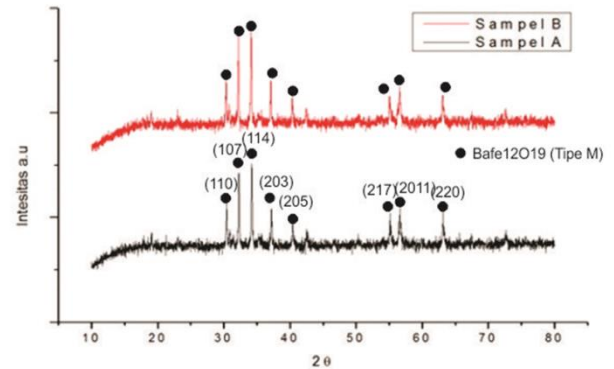
Pada gambar 3 dilakukan proses identifikasi fasa pada $BaFe_{12}O_{19}$ yang disintering dua kali memiliki parameter kisi $a=b = 5,89154 \text{ \AA}$, $c = 23,199 \text{ \AA}$ (Kajal, 2007), dan volume cellnya $697,5585 \text{ \AA}^3$ dan *crystal system-nya hexagonal*.



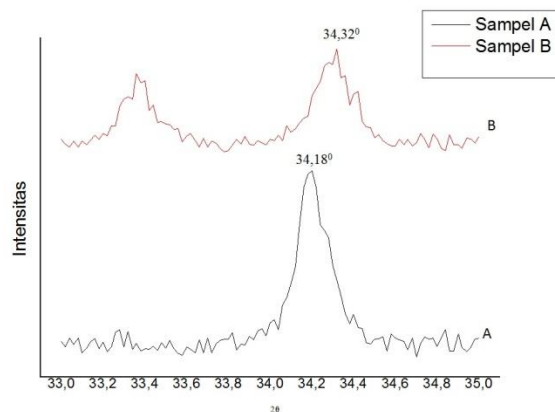
Gambar 3. Sampel b ($BaFe_{12}O_{19}$) yang disintering dua kali

Pola XRD pada sampel A menunjukkan *Barium Hexaferrite* $BaFe_{12}O_{19}$ yang single fasa karena terlihat yang lebih dominan *Barium Hexaferrite*. pola XRD pada sampel B yang disintering menunjukkan bahwa *Barium Hexaferrite* telah terbentuk. Hal ini terlihat pada bidang kisi nya (107) dan (114) ini terlihat dari pola XRD yang sesuai dengan patterns dari $BaFe_{12}O_{19}$ dan pencocokan data menggunakan daftar tabel ICCD #430002 menunjukkan *Barium Hexaferrite*. Pada Gambar 5. Puncak difraksi dari 2 sampel tersebut menunjukkan adanya pergeseran 2θ dari sudut $34,18$ pada sampel A sedangkan pada sampel B sudut

nya $34,32$, hal ini menunjukkan bahwa pada puncak difraksi mengalami pergeseran ke kanan, hal Ternyata Efek sintering ini memberikan perubahan puncak difraksinya mengalami persegeran, pergeseran puncak difraksi 2 teta ini memberikan efek pada parameter kisi disebabkan posisi puncak difraksinya sudah bergeser lebih besar yang menyebabkan konstanta kisi C mengalami penurunan yang sedikit signifikan.



Gambar 4. Pola XRD dari 2 sampel barium heksaferit



Gambar 5. Puncak difraksi dari 2 sampel barium heksaferit

Parameter kisi dan ukuran kristal *Barium hexaferrite* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter kisi dan ukuran kristal *Barium hexaferrite*

Sampel	Parameter kisi Refinement a (Å)	c (Å)	Ukuran kristal L (nm)
Sampel A	5,89135	23,214	177,064
Sampel B	5,89154	23,199	166,992

Sampel a dan sampel b memiliki parameter kisi yang berbeda dan volume cellnya juga berbeda. Sintering yang dilakukan pada sampel b dua kali ternyata menunjukkan pergeseran parameter kisi. Sehingga struktur Kristal pada sampel b berbeda dengan sampel a ditunjukkan dengan parameter kisinya. Pergeseran parameter kisi $a=b$ pada sampel b meningkat sekitar $0,00019 \text{ \AA}$ dan nilai parameter kisi c menurun sekitar $0,015 \text{ \AA}$ serta volume unit cell nya juga bertambah sekitar $0,172 \text{ \AA}^3$. perubahan volume unit cell ini akan berefek pada nilai anisotropi kristalnya (Caffarena, 2002), perubahan volume unit cell menyebabkan ukuran kristal mengecil sekitar $166,992 \text{ \AA}$. Perubahan ukuran kristal mengakibatkan adanya perubahan sifat-sifat magnet pada material ini, ini berpeluang untuk berbagai aplikasi lain diluar magnet permanen seperti phase sifter (Carl, 1998), penyerap gelombang radar (Ghasem, 2006).

PENUTUP

Dari hasil penelitian yang telah dijabarkan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pengaruh sintering pada material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap struktur kristal ternyata menyebabkan perubahan parameter kisi kristalnya. terlihat pada parameter kisi Fasa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang disintering dua kali memiliki nilai parameter kisi dan volume kisi yang berubah dan ukuran kristal mengecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambika, S., Devasena, M., & Nambi, I. M. (2016). Synthesis, characterization and performance of high energy ball milled meso-scale zero valent iron in Fenton reaction. *Journal of environmental management*, 181, 847-855.
- Amiri, I. S., Ahmad, H., & Al-Khafaji, H. M. (2015). Full width at half maximum (FWHM) analysis of solitonic pulse applicable in optical network communication. *American Journal of Networks and Communications*, 4(2-1), 1-5.
- Caffarena, V.R., Cabral, A.J.O., Tavares, and Oasawara., T.L.M.M. (2002). The Contribution of ultra fine milling for the microstructure and density of doped barium hexaferrite sintered disc. *Journal of actamicroscopica*. Vol.11 no.1.
- Carl, E.P.(1998). Hexagonal ferite materials for phase sifter application at millimeter wave guide frequencies, *IEEE Transaction on magnetic*, Vol, 24, pp. 2024-2027.
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2014). *Elements of X-ray Diffraction*. Pearson Education.
- Ghasem, Hossienpour, A., Morisako, A., Salehi, M. (2006). Elektromagnetik properties and microwave absorbing characteristic of doped barium hexaferrite. *Journal of magnetism and magnetik material*. Vol.302, pp.429-435
- Gramatyk, R, R.Nowosielski, P. Sakiewicz, T Raszka, (2006), Soft Magnetic composite based nonocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13}\text{B}_9$ and Fe Podwers, *Jurnal of Achivement materials and manufacturing engineering*.
- Gurkan, N, (2008), studies on interaction of electromagnetic waves with barium hexaferrite ceramics, metallurgical and materials enginerring department, middle est technical university.
- Mosleh, Z., Kameli, P., Poorbaferani, A., Ranjbar, M., & Salamati, H. (2016). Structural, magnetic and microwave absorption properties of Ce-doped barium hexaferrite. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 397, 101-107.
- Kajal, K, Mallick, P, Shepherd, Roger J, Green. (2007). Dielectric properties of M-type barium hexaferrite prepared by co-precipitation, *journal of European ceramic society* Vol. 27, pp 2045-2052.

- Karkirde, A, Sinha, B.dansinha,s.n, (2008), Development and characterization of nickel zinc spinel ferrite for microwave absorption at 2-4 Ghz, *Bull Matter sci*. Vol 31 No. 5, indianacademiScincepp 767-770.
- Limar, C, Pinho, M.S, Grgegrory, M.L, Nunes, R.C.R, Ogasawara, T. (2003)., Effect of different dopants on the microwave properties of M-doped barium hexaferrites, 8th conference and exhibition of the European ceramic society, istambul, turkey.
- Olakanmi, E. O. T., Cochrane, R. F., & Dalgarno, K. W. (2015). A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties. *Progress in Materials Science*, 74, 401-477.
- Pratiwi, R. A., Prakoso, A. G., Darmasetiawan, R., Agustine, E., Kirana, K. H., & Fitriani, D. (2016, October). IDENTIFIKASI SIFAT MAGNETIK TANAH DI DAERAH TANAH LONGSOR. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)*(Vol. 5, pp. SNF2016-EPA).
- Priyono, (2010), Karakterisasi magnetic dan absorpsi gelombang mikro material magnet berbahan dasar barium hexaferrite, Disertasi, FMIPA, Universitas Indonesia
- Soares, O. S. G. P., Rocha, R. P., Gonçalves, A. G., Figueiredo, J. L., Órfão, J. J. M., & Pereira, M. F. R. (2016). Highly active N-doped carbon nanotubes prepared by an easy ball milling method for advanced oxidation processes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 192, 296-303.
- Suryanarayana., (2001), *Progress in Materials Science*, Pergamon Elsevier hal. 32.
- Suryanarayana, (1998), *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York:Plenum Press PP .321
- Tong S.J, (2006), *Solid stat synthesis of 5-oxo-1,4,5,6,7,8,-hexahydroquinoline derivativas without using solvent and catalyst*. ARKIVOC: 28-34.
- Viet Long, N., Minh Thi, C., Yong, Y., Cao, Y., Wu, H., & Nogami, M. (2014). Synthesis and characterization of Fe-based metal and oxide based nanoparticles: discoveries and research highlights of potential applications in biology and medicine. *Recent patents on nanotechnology*, 8(1), 52-61.
- Wellia, D. V. (2017). SINTESIS LAPISAN TIPIS TiO₂ BERPORI YANG DIMODIFIKASI OLEH NITROGEN DENGAN METODE PEROKSO SOL-GEL, KARAKTERISASI DAN APLIKASINYA SEBAGAI MATERIAL PEMBERSIH DIRI (SELF CLEANING MATERIAL). *Jurnal Riset Kimia*, 9(2), 6.
- Yoon, B., Yadav, D., Raj, R., Sortino, E., Ghose, S., Sarin, P., & Shoemaker, D. (2018). Measurement of O and Ti atom displacements in TiO₂ during flash sintering experiments. *Journal of the American Ceramic Society*, 101(5), 1811-1817.
- Zepon, G., Leiva, D. R., Kaufman, M. J., Figueroa, S. J. A., Floriano, R., Lamas, D. G., ... & Botta, W. J. (2015). Controlled mechanochemical synthesis and hydrogen desorption mechanisms of nanostructured Mg₂CoH₅. *international journal of hydrogen energy*, 40(3), 1504-15

