

Efek Tekanan terhadap Sifat Fisis dan Magnet Bahan Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) Komersial yang Dibuat dengan Metallurgi Serbuk

RAMLAN

Ramlan. Staf pengajar jurusan fisika Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya Palembang

Intisari: Magnet permanen berbasis Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) merupakan jenis magnet permanen populer karena memiliki sifat magnet yang baik dengan biaya produksi yang rendah. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan magnet permanen berbasis Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dari bahan baku Barium Heksaferit komersial (China) dan dibuat dengan cara metallurgi serbuk. Proses pencetakan (kompaksi) dilakukan secara isotropik (diameter 2 cm) berbentuk pellet menggunakan *hydraulic jack press* dengan tekanan kompaksi divariasikan dari 100,150 dan 200 kgf/cm^2 . Massa total sampel dibuat 8 gram dan sebelum kompaksi dilakukan proses granulasi menggunakan seluna 3% wt sebagai perekat. Sampel hasil kompaksi masing-masing disinter pada temperatur 1100°C selama 2 jam. Analisis yang dilakukan adalah analisis struktur dengan XRD, pengujian sifat fisis (susut bakar, densitas) dan sifat magnet (densitas fluks magnetik – Gauss). Dari hasil analisa pola XRD menunjukkan bahwa fasa dominan yang terbentuk adalah fasa Barium Heksaferit. Hasil analisa sifat fisis dan sifat magnet didapatkan tekanan kompaksi yang relatif baik sebesar 200 kgf/cm^2 dengan susut bakar sebesar 9,7%, densitas sinter sebesar 4,97 gr/cm^3 dan densitas fluks magnetik sebesar 531,1 Gauss. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa susut bakar menurun seiring meningkatnya tekanan kompaksi, namun densitas sampel dan densitas fluks magnetik meningkat seiring meningkatnya tekanan kompaksi.

Kata kunci: magnet permanen, $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, tekanan, XRD, susut bakar, densitas, densitas fluks magnetik

1 PENDAHULUAN

Magnet merupakan salah satu komponen yang paling banyak digunakan pada saat ini, khususnya banyak dijumpai di bidang elektronika. Magnet memegang peranan penting dalam peralatan – peralatan elektronik yang pengembangannya telah mulai digencarkan saat ini.

Magnet permanen berbasis Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) merupakan jenis magnet permanen populer karena memiliki sifat magnet yang baik dengan biaya produksi yang rendah. Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) menarik perhatian para peneliti karena peluang aplikasinya yang luas. Dilaporkan bahwa Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) sebagai bahan magnet tidak dapat digantikan oleh bahan magnetik lainnya karena harganya relatif murah, stabil dan aplikasi yang luas seperti transformator, filter berkualitas tinggi, sirkuit frekuensi tinggi, perangkat operasi, KWH-meter, motor DC, speaker, dsb^[1-4]. Sifat fisik Barium Heksaferit dikontrol oleh kondisi persiapan, komposisi kimia, suhu dan waktu, serta jenis dan jumlah substitusi bahan^[5].

Beberapa keunggulan lainnya yang dimiliki oleh bahan Barium Heksaferit diantaranya adalah bahannya berlimpah sehingga mudah didapatkan termasuk di Indonesia. Dan juga memiliki nilai koersivi-

tas dan saturasi magnet yang tinggi, suhu transisi magnet T_c (suhu Curie) yang tinggi pula ($450 - 750^\circ\text{C}$) sehingga untuk aplikasi pada suhu relatif tinggi dapat digunakan dengan baik. Disamping itu juga bahan ini memiliki sifat kimia yang stabil dan tahan korosi^[6]. Namun kekurangannya adalah bahwa bahan ini memiliki nilai medan koersivitas dan medan saturasi yang relatif rendah^[7]. Barium Heksaferit memiliki struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a=5.9033 \text{ \AA}$, $c=23.239 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$ dan Grup ruang (*space group*) : $P63/mmc$ ^[8] serta sifat fisis seperti densitas ($5,3 - 5,7 \text{ gr/cm}^3$) dan titik leleh (*Melting Point*) 2400°F atau $1315,6^\circ\text{C}$ ^[9].

Barium Heksaferit komersial merupakan Barium Heksaferit yang telah diproduksi secara massal dan telah diperjualbelikan secara umum. Barium Heksaferit produk komersial ini sangat baik, karena memiliki beberapa keunggulan terutama dari segi bahan dan sifat magnet yang dihasilkan. Bahan ini dibuat dengan dengan teknologi yang sangat canggih dengan produksi skala industri. Sehingga terkadang ditemukan beberapa unsur lain didalam bahan komersial ini, misalnya strontium, silikon, mangan, dan lain sebagainya. Namun tetap, secara analisis bahan baku utama yang dipakai adalah Barium dan oksida besi.

Dewasa ini, pembuatan magnet permanen khususnya untuk magnet *ferrite* dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan cara isotropik dan cara anisotropik. Kedua proses tersebut dilakukan dengan cara metalurgi serbuk, yaitu mencampurkan atau mereaksikan beberapa oksida dalam bentuk serbuk dengan beberapa tahapan proses-proses tertentu yang sangat ketat. Pembuatan magnet dengan cara isotropik adalah pembuatan magnet yang dilakukan tanpa dilakukan orientasi partikel dengan medan magnet. Sedangkan pembuatan magnet secara anisotropik adalah pembuatan magnet yang dilakukan dengan orientasi dalam medan magnet sehingga partikel-partikel *ferrite* terorientasi dan menjadi searah^[10].

Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip ini adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian memanaskannya di bawah temperatur leleh. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel.

Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*). Proses metalurgi serbuk adalah merupakan proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar dengan bentuk serbuk yang kemudian di sinter yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi^[11].

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan magnet permanen berbasis Barium Heksaferit dari bahan komersial (China). Proses pembuatannya dilakukan dengan cara metalurgi serbuk, yaitu proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar serbuk dengan melewati proses-proses berikut; Preparasi material, *Milling*, Pengeringan, Pemanasan, Pengayakan, Penekanan (kompaksi), Pemanasan (*sintering*), dan Magnetisasi.

Pada proses kompaksi, tekanan kompaksi divariasikan, dengan tujuan agar terlihat pengaruh tekanan terhadap produk hasil akhir magnet permanen yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui efek atau pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat fisis (susut bakar, densitas) dan sifat magnet (*flux density*) pada bahan serbuk Barium Heksaferit komersial (China) yang dihasilkan setelah menjadi produk akhir magnet permanen.

2 METODOLOGI PENELITIAN

Preparasi bahan

Pada penelitian ini terlebih dahulu yang dilakukan adalah preparasi bahan. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk Barium Heksaferit komersial (China). Bahan baku tersebut ditimbang dengan total massa 100 gram, lalu dimilling secara basah (*wet milling*) menggunakan *Ball Milling* dengan kecepatan *normal speed* 300 rpm selama 24 jam menggunakan media pelarut Aquades. *Milling* dilakukan agar didapatkan ukuran partikel yang lebih kecil dan homogen.

Tabel 1 merupakan hasil pengujian XRF Barium heksaferit komersial (China). Hasil pengujian ini sangat penting mengingat perlu diketahuinya unsur-unsur yang berada dalam bahan baku komersial tersebut, sehingga analisa hasil dapat dihubungkan dengan data tersebut.

Tabel 1. Data XRF Barium Heksaferit bahan komersial (China).

Element Analysis	Test Result
Barium (Ba)	12,30 %
Strontium (Sr)	2,38 %
Silicon (Si)	2,31 %
Iron (Fe)	81,85 %
Titanium (Ti)	1,16 %

Setelah *dimilling* bahan baku dikeringkan menggunakan Oven dengan temperatur 150°C selama 24 jam. Setelah kering, serbuk dipanaskan pada temperatur 1000°C dengan *holding time* 2 jam menggunakan *Thermolyne* dengan kecepatan *heat rate* 3°C/menit. Pemanasan dilakukan untuk memurnikan beberapa unsur pengotor yang terdapat dalam Barium Heksaferit komersial tersebut (lihat Tabel 1). Serbuk hasil pemanasan di analisa XRD untuk mengetahui kondisi fasa dan komposisi struktur yang terdapat dalam bahan tersebut.

Pembuatan Magnet Permanen Barium Heksaferit

Pada tahap pembuatan magnet Barium Heksaferit, serbuk Barium Heksaferit yang telah terbentuk di ayak hingga lolos 400 mesh. Sebelum dicetak berbentuk pellet, pada serbuk ditambahkan seluna WE-518 sebagai perekat serbuk sebanyak 3% dari total massa sampel dan digranulasi hingga rata.

Proses pencetakan (kompaksi) dilakukan secara isotropik (diameter 2 cm) berbentuk pellet menggunakan *hydraulic jack press* dengan tekanan kompaksi divariasikan dari 100,150 dan 200 kgf/cm². Massa

total sampel dibuat 8 gram. Sampel hasil kompaksi disintering pada temperatur 1100°C ditahan 2 jam untuk proses pemadatan. Sintering dilakukan dengan menggunakan *Thermolyne* dengan kecepatan *heat rate* 3°C/menit.

Setelah proses pemadatan selesai dan sampel sudah mengalami penyusutan, tahap akhir yang dilakukan adalah magnetisasi sampel. Magnetisasi dilakukan bertujuan untuk memberikan medan magnet luar kepada sampel sehingga sampel betul-betul menjadi magnet permanen. Magnetisasi dilakukan menggunakan alat *Impulse Magnetizer K-Series Dr.Streingroever GmbH*.

Karakterisasi

Karakterisasi sampel dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat fisis dan sifat magnet sampel Barium Heksaferit yang dibuat. Sifat fisis yang dikarakterisasi yaitu susut bakar dan densitas sampel.

Susut bakar merupakan perubahan dimensi fisis sampel sebelum dan setelah sintering. Persamaan yang digunakan sebagai berikut;

$$D_s = \frac{d_{sebelum} - d_{setelah}}{d_{sebelum}} \times 100\%$$

Dimana D_s merupakan susut bakar sampel dan d merupakan diameter sampel.

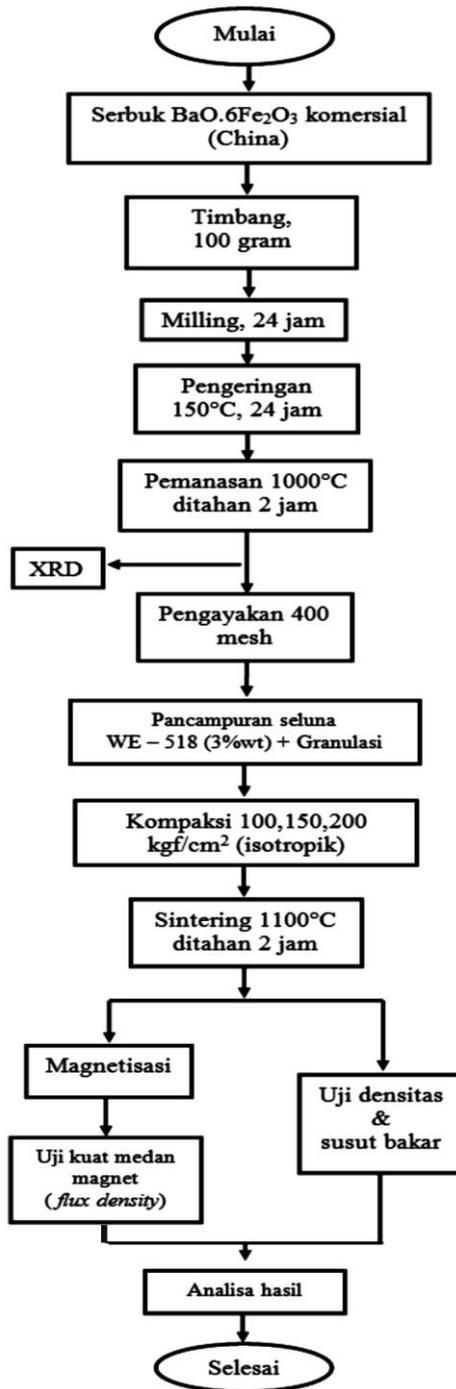
Densitas merupakan massa jenis sampel. Densitas teori dari Barium Heksaferit adalah 5,3 – 5,7 gr/cm³. Pengukuran densitas sampel dilakukan dengan pengukuran densitas ruah (*bulk density*) dengan prinsip *Archimedes density*. Persamaan yang digunakan untuk pengukuran densitas sampel adalah sebagai berikut;

$$\rho_s = \frac{m_a}{m_a - m_w} \times \rho_w$$

Dengan m_a, m_w, ρ_s , dan ρ_w beturut-turut adalah massa sampel kering di udara, massa sampel basah dalam air, densitas sampel, dan densitas air. Pengukuran densitas dilakukan menggunakan alat neraca densitas digital.

Sementara itu, sifat magnet yang dikarakterisasi adalah densitas fluks magnetik (*flux density*) dengan menggunakan alat Gaussmeter.

Runtutan proses lengkap penelitian ini dibuat dalam diagram alir penelitian berikut;



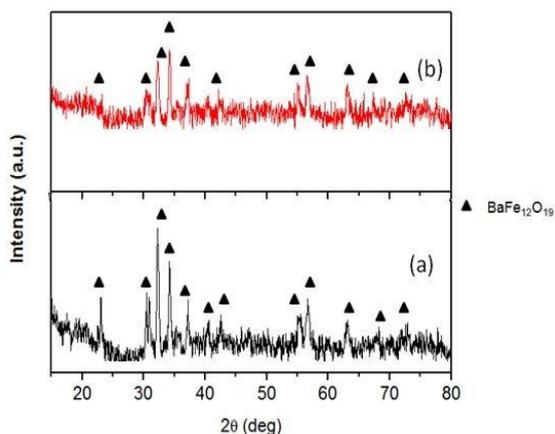
Gambar 1. Diagram alir penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa XRD

Gambar 2 memperlihatkan pola difraksi sinar-X bahan baku Barium Heksaferit bahan komersial (China) original dan Barium Heksaferit bahan komersial (China) yang telah dipanaskan pada temperatur 1000°C ditahan 2 jam.

Hasil XRD *pattern* Gambar 2(a) menunjukkan bahwa Barium Heksaferit komersial (China) original fasa dominan yg terbentuk merupakan fasa Barium Heksaferit, walaupun data XRF memperlihatkan ada beberapa unsur pengotor yang konsentrasinya di bawah 5%. Sedangkan hasil XRD *pattern* Barium Heksaferit bahan komersial (China) yang dipanaskan pada temperatur 1000°C ditahan 2 jam memperlihatkan fasa dominan yang terbentuk juga Barium Heksaferit. Namun, pada Gambar 2(b) terjadi penurunan intensitas yang diakibatkan karena proses pemanasan kepada sampel tersebut.



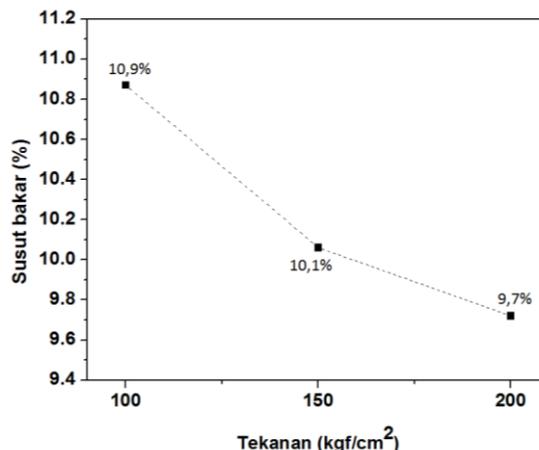
Gambar 2. Hasil pola XRD Barium Heksaferit; (a). Original, (b). pemanasan pada temperatur 1000°C ditahan 2 jam.

Pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat fisis sampel (susut bakar)

Gambar 3 memperlihatkan pengaruh tekanan kompaksi terhadap susut bakar sampel. Susut bakar dihitung dari perubahan dimensi (diameter) sampel sebelum dan setelah sintering. Berdasarkan Gambar terlihat bahwa susut bakar menurun seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi.

Hal tersebut dikarenakan tingkat kepadatan kompaksi. Tekanan kompaksi yang rendah cenderung menghasilkan susut bakar yang tinggi atau besar. Sedangkan tekanan kompaksi yang tinggi cenderung menghasilkan susut bakar yang rendah. Karena pada proses *sintering* akan mengalami proses densifikasi (pemadatan sampel).

Densifikasi akan membuat sampel akan lebih kompak dengan densitas yang tinggi. Maka proses penyusutan pun akan menjadi besar jika proses densifikasi terjadi pada tekanan yang rendah. Dan begitu pula sebaliknya proses penyusutan akan menjadi kecil jika proses densifikasi terjadi pada tekanan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, jarak antar partikel serbuk yang akan mempengaruhi besar kecilnya penyusutan sampel setelah proses sintering.

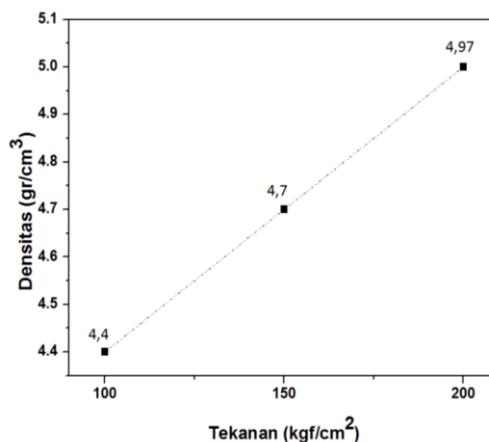


Gambar 3. Hubungan tekanan kompaksi terhadap susut bakar sampel magnet BaO.6Fe₂O₃

Pengaruh tekanan kompaksi terhadap sifat fisis sampel (densitas)

Gambar 4 memperlihatkan pengaruh tekanan kompaksi terhadap densitas sampel. Berdasarkan gambar terlihat bahwa densitas sampel meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi.

Hal tersebut dikarenakan perbedaan tingkat kepadatan dan kekompakan sampel. Sampel yang dikompaksi dengan tekanan yang tinggi akan jauh lebih kompak dengan sampel yang dikompaksi dengan tekanan yang lebih kecil. Ditambah juga dengan proses densifikasi pada *sintering*. Sampel dengan tekanan kompaksi yang lebih tinggi akan bertambah kompak lagi jika pada *sintering* telah terjadi proses densifikasi. Begitu pula sebaliknya. Sehingga didapatkan densitas atau tingkat kerapatan sampelnya yang mengalami peningkatan dan jauh lebih besar dari pada densitas sampel dengan tekanan kompaksi yang lebih rendah.

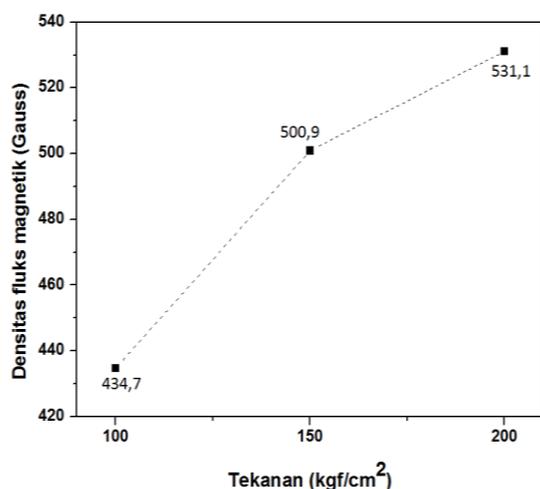


Gambar 4. Hubungan tekanan kompaksi terhadap densitas sampel magnet Barium Heksaferit (BaO.6Fe₂O₃).

Pengaruh tekanan kompaksi terhadap densitas fluks magnetik

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh tekanan kompaksi terhadap densitas fluks magnetik (*flux density*) sampel. Berdasarkan Gambar terlihat bahwa besarnya nilai densitas fluks magnetik juga meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi.

Hal ini dapat dimengerti, karena pengaruh densitas fisis sampel juga akan mempengaruhi besar sifat magnetnya (lihat Gambar 4). Semakin tinggi tingkat kerapatan suatu sampel maka akan menghasilkan sifat magnet yang lebih baik juga. Karena jika sampel semakin rapat dan padat, maka jarak antar partikel akan semakin dekat, sehingga interaksi antar domain-domain magnet pada tiap-tiap partikelnya akan semakin kuat.



Gambar 5. Hubungan tekanan kompaksi terhadap densitas fluks magnetik (*flux density*) sampel magnet Barium Heksaferrit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$).

4 KESIMPULAN

Dari analisa hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan;

1. Efek tekanan kompaksi berpengaruh terhadap besar kecilnya penyusutan sampel setelah disintering pada temperatur yang tetap. Susut bakar menurun seiring meningkatnya tekanan kompaksi.
2. Efek tekanan kompaksi juga berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai densitas fisis (densitas sinter) dan densitas fluks magnetik sampel setelah

disintering pada temperatur yang tetap. Densitas sinter dan densitas fluks magnetik sampel meningkat seiring meningkatnya tekanan kompaksi.

3. Dari hasil analisa sifat fisis dan sifat magnet didapatkan tekanan kompaksi yang relatif baik sebesar 200 kgf/cm^2 dengan susut bakar sebesar 9,7%, densitas sinter sebesar $4,97 \text{ gr/cm}^3$ dan densitas fluks magnetik sebesar 531,1 Gauss.

REFERENSI

- [1] Zhang, Qingmei, dkk. 2011. *Preparation of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Ni}_2\text{O}_3/\text{FeCl}_3$ Composite Nano-particles by Hydrothermal Process Useful for Ferrofluids*. Hindawi Publishing Corporation Smart Materials Research Volume 2011, Article ID 351072
- [2] Feni A Ilmi, Yudyanto, Nandang M. 2013. Sintesis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Dengan Metode Kopresitasi Dengan Variasi Jumlah Barium Klorida dan Metode Reaksi Padatan Berbasis Pasir Besi Lokal dan Karakterisasinya. *Paper Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang*.
- [3] Rashad M. M, dkk. 2006. Effect of Fe/Ba Mol Ratio and Surface -Active Agents on the Formation and Magnetic Properties of Co-presipitated Barium Hexaferrite. *Journal of Alloy and Compounds* 453 (2008) 304-308
- [4] Novrita, Idayanti. 2003. Karakterisasi Magnet Ferrite E-core Untuk Aplikasi Power Supply AC to DC (220 volt AC to 48 volt DC). Bandung:LIPI
- [5] Costa M. M, G.F.M. Pires Junior, A.S.B. Sombra. 2010. Dielectric and impedance properties' Studies of the lead doped (PbO)- Co_2Y type hexaferrite ($\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}(\text{Co}_2\text{Y})$). *International Journal of Materials Chemistry and Physics*, 123, pp 35-39.
- [6] Alexandre R. Buena, Maria L.Gregorib, Maria C.S.No'Bregac. 2008. *Journal Of Magnetism and Magnetic Materials* 320 (2008) 864 - 870.
- [7] Estevez Rams, R.Martinez Garcia, E.Reguera, H.Montiel Sanchez, H.Y.Madeira. 2000. *Journal Physic and Application Material Physic*.33. 2708- 2715.
- [8] Obradors X, et.all. 1985.X-Ray Analysis of the structural and dynamic properties of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ hexagonal ferrite at room temperature. *Journal of Solid state Chemistry* 56, 171-181 (1985).
- [9] Relva C, 1986. *Ceramic Materials for Electronics, Processing, Properties, and Application*, New York.
- [10] Novrita I, Dedi. 2003. Pembuatan Magnet Barium Heksaferrit Anisotrop. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol.5, No.1, Oktober 2003, hal: 34-38. ISSN :1411-1098.
- [11] Nayiroh, Nurun. 2013. *Metalurgi Serbuk. Paper penelitian material*. Bandung.LIPI