

PENGARUH ADITIF SiO₂ TERHADAP SIFAT FISIS DAN SIFAT MAGNET PADA PEMBUATAN MAGNET BaO.6Fe₂O₃

Jafri Haryadi¹, Muljadi², Perdamean Sebayang²

¹Kopertis Wilayah I DPK- UMN Al-Washliyah Medan

²Pusat Penelitian Fisika-LIPI-Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314

ABSTRAK

Magnet BaO.6Fe₂O₃ dibuat dari bahan baku utama: Fe₂O₃ yang berasal dari limbah PT Krakatau Steel dan bahan BaCO₃ (p.a) serta bahan aditif SiO₂. Variabel penelitian yang dilakukan adalah variasi penambahan aditif SiO₂ yaitu: 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%, dan komposisi BaO.6Fe₂O₃ dibuat tetap yaitu: 1 mole BaO : 6 mole Fe₂O₃. Proses pencampuran bahan baku digunakan *ball mill* dan air sebagai medianya, kemudian dikeringkan pada suhu 110°C, dan di kalsinasi 1000°C. Serbuk yang telah dikalsinasi dihaluskan dan diayak hingga lolos 170 mesh, kemudian dicetak tekan dengan tekanan 50 MPa, dan disintering pada suhu 1200°C, dan masing-masing sampel yang telah disintering dikarakterisasi meliputi sifat fisis: uji densitas – porositas, dan sifat magnet: pengukuran kuat magnet (remanensi magnet), serta analisa struktur mikro dengan menggunakan SEM dan XRD. Hasil karakterisasi yang diperoleh adalah sampel dengan aditif 0,5 % dan 1 % SiO₂, serta disintering 1200°C menghasilkan keramik magnet permanen dengan kekuatan magnet tertinggi sekitar 800 – 990 Gauss, densitas 5,00 – 5,13 g/cm³, dan porositas sekitar 0,57 – 1,60 %. Dari hasil analisa difraksi sinar X ternyata untuk semua variasi aditif SiO₂ menghasilkan fasa BaO.6Fe₂O₃, serta dari hasil pengamatan dengan SEM, terlihat peran aditif SiO₂ sampai 1% mampu meredam terjadinya pertumbuhan butir (*grain growth*), dimana untuk sampel dengan aditif 0,5 % dan 1 % SiO₂ diperoleh ukuran butir setelah di sintering 1200°C adalah sekitar 1,5 – 2,0 µm.

Kata Kunci: Aditif SiO₂, magnet BaO.6Fe₂O₃.

ABSTRACT

Magnet BaO.6Fe₂O₃ has been made from raw materials such as: Fe₂O₃ from solid waste of PT Krakatau Steel, BaCO₃ (pa) and additive SiO₂. The variables was additive SiO₂ : 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% , and composition of BaO.6Fe₂O₃ was 1 mole BaO: 6 mole Fe₂O₃. The mixing process of raw materials were used a Ball Mill and water for media, and dried at 110°C, and then calcined at 1000°C. The clacined powder was sieved until passing 170 mesh, then pressed at pressure 50 MPa, and sintered at 1200°C. Each samples were characterized such as: density, porosity, remanent magnet, and microstructure by using SEM and XRD. The characterization results showed that, samples with 0.5 % ,1 % SiO₂ have highest remanent magnet about 800 – 990 Gauss, and density about 5.00 – 5.13 g/cm³ , also porosity about 0.57 – 1.60 % after sintering at 1200°C. The XRD result shows that it found BaO.6Fe₂O₃ as dominant phase, and from observation of photos SEM show that additive until 1 % has significant influent on grain growth, and samples with 0.5 % and 1 % SiO₂ have a grain size about 1.5 – 2.0 µm.

Keywords: SiO₂ additive, BaO.6Fe₂O₃ magnet.

I. PENDAHULUAN

Limbah padat dari PT Krakatau Steel yang berbentuk *pellet* Fe_2O_3 diperoleh dari proses acid regenerator mempunyai kemurnian relatif cukup tinggi, sekitar 95 wt%. Selama ini limbah tersebut dimanfaatkan hanya sebatas untuk pengeras jalan di sekitar lokasi pabrik. Oleh karena limbah padat Fe_2O_3 masih mempunyai nilai tambah dan perlu dioptimalkan pemanfaatannya maka dalam penelitian ini lebih menekankan pemakaiannya sebagai bahan baku utama untuk pembuatan keramik magnet permanen *ferrite* berbasis $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$. Bahan baku lainnya yang digunakan adalah BaCO_3 sebagai sumber BaO, dari produk *Aldrich Chemical Company*.

Pada umumnya pembuatan magnet permanen dilakukan melalui cara proses reaksi padatan (*solid state reaction process*), yaitu diawali dengan proses preparasi serbuk melalui bahan baku dalam bentuk padatan/serbuk, dimana Ba-Ferrite ($\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$) terbentuk melalui proses kalsinasi pada suhu sekitar 1148°C dan terjadi reaksi padatan antara BaCO_3 dengan Fe_2O_3 [1, 2]. Serbuk $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ yang diperoleh tersebut supaya dapat menghasilkan sifat-sifat kemagnetan yang maksimal, maka selanjutnya harus di haluskan hingga mencapai ukuran butiran yang kecil sekali yaitu sekitar sub mikron [3].

Sifat-sifat kemagnetan dari ferrite sangat tergantung pada mikrostrukturnya, seperti misalnya ukuran butir (*grain size*) dan distribusi *grain size* [3]. Dalam pembuatan $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ (*ferrite*) ditambahkan bahan aditif yang berfungsi memperbaiki mikrostruktur yaitu mencegah pertumbuhan butir dan sebagai *filler* [4, 5]. Beberapa jenis aditif yang digunakan dalam pembuatan *ferrite* antara lain: B_2O_3 , SiO_2 , Na_2O [3, 5].

Magnet yang dibuat termasuk jenis keramik magnet permanen hexagonal ferrite yang aplikasi cukup luas, seperti untuk speaker, komponen otomotif, motor listrik dan lainnya [6]. Vidyawathi S.S. [3] telah melakukan membuat magnet $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ dengan menggunakan aditif B_2O_3 , dimana hasilnya dapat memberikan efek yang signifikan terhadap proses sintering (densifikasi) $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$, dimana dengan penambahan 0,1 % sampai 0,6 % B_2O_3 diperoleh densitas mendekati densitas teoritis dan diperoleh ukuran butir (*grain size*) sekitar 1 – 2 μm .

Pada penelitian yang dilakukan ini digunakan bahan aditif SiO_2 . Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah suhu sintering yang akan digunakan adalah 1200°C dengan waktu penahan selama 2 jam, serta komposisi perbandingan Fe_2O_3 : BaO adalah 1 : 6. Sedangkan sebagai variable adalah aditif SiO_2 , dimana variasi aditif adalah: 0, 0,5, 1,0, 1,5, dan 2,0 % SiO_2 (berat). Karakterisasi yang dilakukan setelah proses sintering adalah meliputi pengukuran susut bakar, densitas dan porositas; dilanjutkan dengan proses magnetisasi dan pengukuran kekuatan magnet serta ketahanannya terhadap perubahan suhu atau disebut sebagai temperatur curie.

II. METODOLOGI

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat berbentuk *pellet* dari PT Krakatau Steel sebagai sumber Fe_2O_3 . Sedangkan komponen BaO diperoleh dari bahan murni BaCO_3 . Pembuatan magnet $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$ dari kedua bahan diatas dengan perbandingan komposisi BaO : Fe_2O_3 adalah 1 : 6. (MOLE RATIO).

Penambahan aditif mikrosilika (SiO_2) merupakan parameter pengamatan yang divariasikan mulai dari 0,5 sampai 2% dari berat total bahan baku. Adapun suhu pembakaran (sintering) ditetapkan pada suhu 1200°C dengan waktu penahanan selama 2 jam.

Benda uji yang telah disinter diamati sifat fisisnya antara lain: densitas dan porositas. Untuk menguji kekuatan magnet permanen yang diperoleh dilakukan dengan alat ukur Gaussmeter. Sedangkan pengukuran titik curie dari magnet dilakukan dengan cara pemanasan, mengacu pada prosedur standar. Artinya pada posisi suhu tertentu kekuatan magnet bahan tersebut hilang.

Pengamatan besaran fisis seperti densitas dan porositas diukur dengan mengacu metoda standar (Archimedes). Formula untuk menghitung densitas dan porositas ditunjukkan pada persamaan berikut [7]:

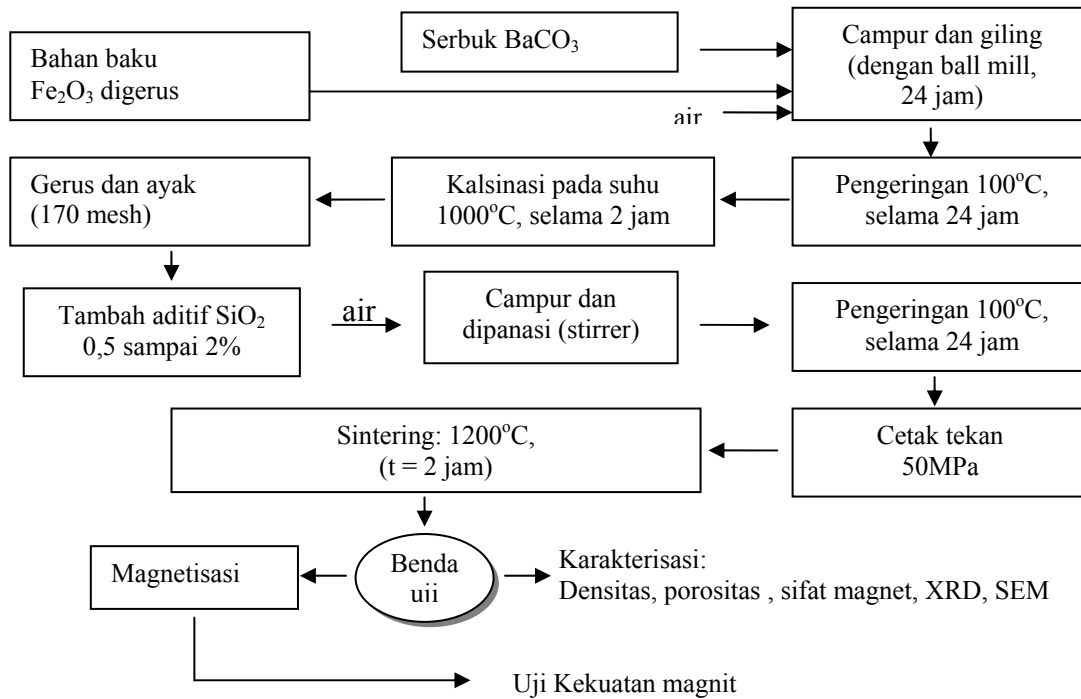
$$\text{Bulk Density} = \frac{W_s}{W_b - (W_g - W_k)} \times \rho_{\text{air}} \quad (1)$$

$$\text{Porositas} = \frac{W_b - W_s}{W_b - (W_g - W_k)} \times 100\% \quad (2)$$

dimana :

- W_s : Berat sampel kering, g
- W_b : Berat sampel setelah direndam air, g
- W_g : Berat sample digantung didalam air, g
- W_k : Berat kawat penggantung, g

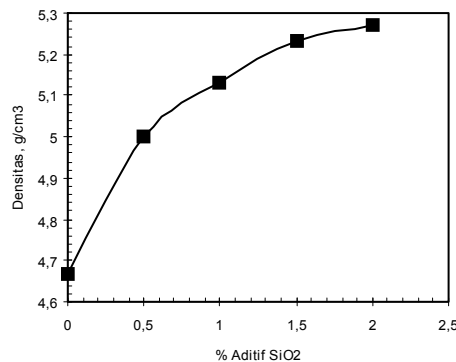
Diagram alir preparasi sampel ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



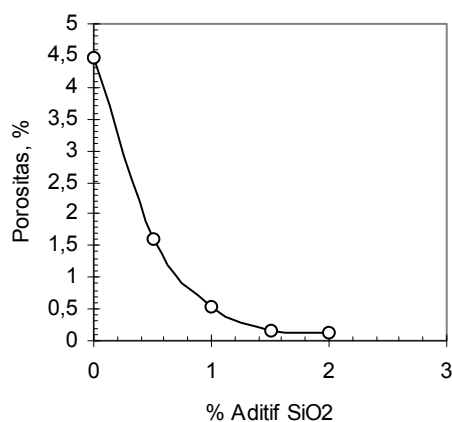
Gambar 1. Diagram Alir Preparasi Sampel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sifat fisis yaitu densitas dari sampel dengan berbagai macam aditif dan telah dibakar/sintering 1200°C ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Kurva Hubungan Densitas Terhadap % Aditif SiO₂.



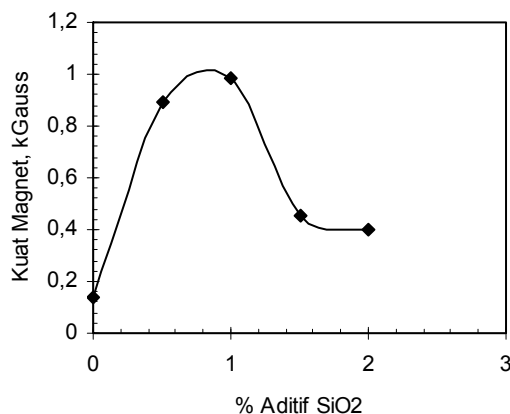
Gambar 3. Kurva Hubungan Porositas Terhadap % Aditif SiO₂.

Gambar 2 memperlihatkan bahwa penambahan aditif SiO₂ memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan densitas, yang berarti proses pematatan selama proses sintering semakin cepat. Dimana sampel tanpa aditif diperoleh densitas tertinggi hanya 4,67 g/cm³ pada suhu sintering 1200°C, sedangkan densitas teoritis adalah 5,28 g/cm³ [6], berarti tingkat pematatannya masih rendah, dan masih banyak pori-pori yang terdapat didalam benda sampel tersebut. Sedangkan dengan penambahan aditif sampai 2 % SiO₂ dapat memberikan peningkatan densitas sampai mendekati nilai literature, yaitu densitas tertinggi tercapai untuk masing-masing aditif 0,5 %, 1%, 1,5 %, dan 2 % pada suhu sintering 1200°C adalah : 5,0 g/cm³, 5,13 g/cm³, 5,23 g/cm³, dan 5,27 g/cm³. Jadi aditif SiO₂ akan mengisi pori-pori diantara butir sehingga terjadi proses pematatan yang ditunjukkan dengan adanya peningkatan densitas.

Sedangkan pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa dengan pemberian aditif SiO₂ memberikan penurunan nilai porositas yang besar, karena sifat SiO₂ mampu mengisi rongga/pori diantara butiran dan sekaligus fungsi SiO₂ mencegah pertumbuhan butir yang berlebih. Untuk sampel tanpa aditif SiO₂, nilai porositasnya setelah disintering 1200°C adalah 4,46 % dan porositas pada sampel dengan aditif 1%, 1,5 %, dan 2 % memiliki nilai porositas yang jauh lebih kecil yaitu nilai porositasnya masing-masing : 0,52 %, 0,17 % dan 0,12 %.

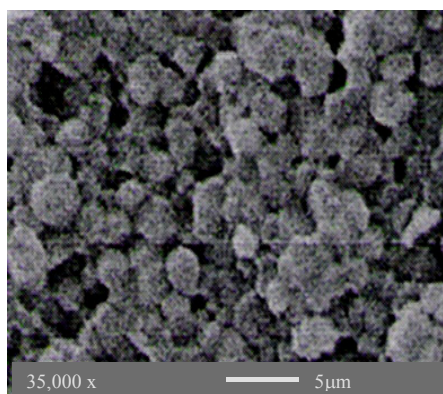
Hasil pengukuran sifat magnet yaitu kekuatan magnet ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai berikut. Dari Gambar 4 tersebut terlihat bahwa dengan penambahan aditif SiO₂ dari 0 % sampai 1 % berat menunjukkan peningkatan nilai kuat magnet yaitu dari 0,14 kGauss meningkat menjadi 1kGauss. Tetapi sebaliknya dengan penambahan aditif SiO₂ diatas 1 % maka nilai kuat magnetnya menjadi turun. Jadi penambahan aditif SiO₂ yang efektif adalah sampai 1 %, karena peranan aditif SiO₂ mampu

mencegah terjadinya pertumbuhan butir, tetapi bila aditif lebih besar dari 1 % , maka sebaliknya akan menjadi bahan pengotor, sehingga dapat menurunkan nilai kuat magnetnya.

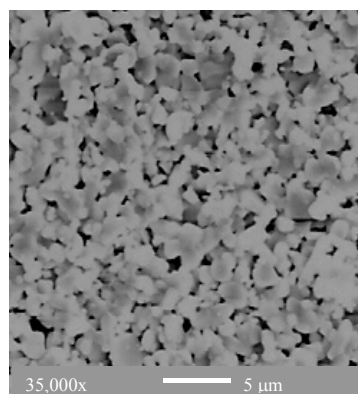


Gambar 4. Kurva hubungan Kuat Magnet terhadap % Aditif SiO₂.

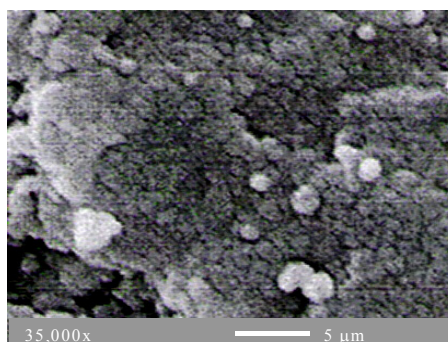
Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil foto SEM yang menggambarkan mikrostruktur dari sampel magnet akibat penambahan aditif SiO₂. Pada Gambar 5 a, menunjukkan bahwa dengan aditif SiO₂ sebanyak 0,5 % diperoleh ukuran butir sekitar 2 – 2,5 μm. Tetapi dengan aditif SiO₂ sebanyak 1 % ukuran butirnya mengecil menjadi sekitar dibawah 2 μm seperti terlihat Gambar 5 b. Dan sebaliknya dengan penambahan aditif SiO₂ sebanyak 2 % seperti terlihat pada Gambar 5 c, menunjukkan bahwa terjadi aglomerasi dari butiran kecil sehingga menjadi butiran yang lebih besar yaitu rata-rata diatas 5 μm.



Gbr. 5a. Foto SEM Sampel dengan Aditif 0,5% SiO₂.

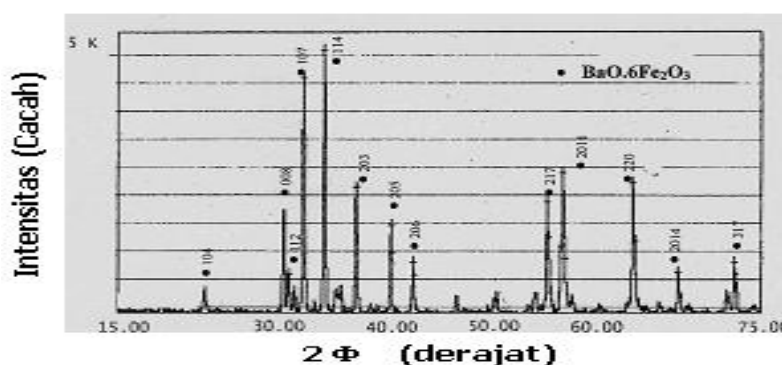


Gbr. 5b. Foto SEM Sampel dengan Aditif 1 % SiO₂.



Gbr 5.c. Foto SEM Sampel Dengan Aditif 2 % SiO₂

Hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai kuat magnetnya, dan penyebab terjadinya aglomerasi dari butiran-butiran kecil menjadi butiran yang lebih besar adalah aditif SiO₂ itu sendiri, bila terlalu banyak aditif SiO₂ yang digunakan akan berfungsi sebagai pengotor. Hasil analisa dengan difraksi sinar X dari sampel dengan aditif SiO₂ ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Pola Difraksi Sinar X dari Sampel dengan aditif SiO₂ 1 % dan disinterring 1200°C.

Hasil difraksi sinar X seperti ditunjukkan Gambar 6 tersebut diatas bahwa telah teridentifikasi terbentuknya fasa BaO.6Fe₂O₃. Fasa tersebut merupakan fasa yang diharapkan untuk magnet permanen Barium Ferrit dan terbentuk dari reaksi antara BaO dengan Fe₂O₃ melalui reaksi padatan pada suhu 1100-1200°C.

KESIMPULAN

- Limbah padat dari Industri PT Krakatau Steel ternyata dapat dibuat menjadi magnet permanen barium Ferrit (BaO.6Fe₂O₃).

- Aditif SiO₂ memberikan pengaruh yang signifikan terhadap proses densifikasi/sintering, dan juga memberikan pengaruh terhadap kekuatan magnet permanennya (remanensi magnet), serta mempengaruhi perubahan struktur mikronya (ukuran butir/*grain* sesudah sintering).
- Penambahan aditif SiO₂ yang optimum adalah 0,5 % dan 1,0 % , pada kondisi tersebut diperoleh karakteristik magnet permanen adalah: densitas = 5 – 5,13 g/ cm³, porositas = 0,57 – 1,60 %, dan kekuatan magnet = 800 – 990 Gauss.
- Penambahan aditif SiO₂ dari 0,5 % sampai dengan 1 % mampu meredam pertumbuhan butir selama proses sintering , sehingga dapat diperoleh ukuran butir setelah disinterring 1200°C sekitar 1,5 – 2 μm .
- Besarnya ukuran butir setelah proses sintering, serta porositasnya mempengaruhi nilai kekuatan magnet dari magnet permanen Barium Ferrit.
- Dari hasil sampel magnet yang diperoleh dengan kekuatan magnet sekitar 900 Gauss , hanya dapat dipergunakan sebagai komponen Holder, Magnet untuk meteran Air.

DAFTAR PUSTAKA

1. Messer PF, Batching and Mixing Raw Materials, Engineered Materials Handbook, ed. By Samuel J. Schneider, Jr, , ASM International Handbook Committee, USA, 1991, Vol.4, 97-99.
2. Zenji Kato, N. Uchida, K. Uematsu, K. Saito, Powder Characterization of Strontium Ferrite by Solid State Reaction, Journal of the Ceramic Society of Japan, 1990, vol. 98-590.
3. Vidyawathi SS, Amaresh R, Satapathy L N, Effect of Boric Acid Sintering Aid on Densification of Barium Ferrite, Bulletin Material Science, Indiana Academic of Sciences, 2002, Vol. 25, No.6.
4. Dekker, Marcel, *Ceramic Materials for Electronics*, USA, 1986, hal. 240 – 242.
5. Buchanan Relva C., *Ceramics Materials for Electronics* , Marcel Dekker, INC, New York and Basel, 1986, hal. 240-253.
6. Moulson A.J., Herbert J.M., *Electroceramics: materials-properties-application*, Chapman and Hall, London, 1990, p. 370 – 426.
7. Anonius, Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Porosity on Fire White Ware Product, New York, 1977, ASTM – 372-73.