

## Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Densitas dan Ukuran Kristal Barium Heksaferite Berbasis Pasir Besi

Achmad Arif Ichwani, Rahmat Doni Widodo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

### Info Artikel

**Keywords:**  
*Sintering, Densitas,  
 Ukuran Kristal, Barium  
 heksaferite, Pasir Besi*

### Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas dan ukuran kristal barium heksaferit berbasis pasir besi. Pasir besi dari pantai selatan Purworejo diuji XRD untuk mengetahui senyawa yang terkandung. Pasir besi tersebut juga disaring secara mekanik menggunakan magnet permanen sebanyak 35 kali dan kemudian dipanaskan pada temperatur 800°C selama 5 jam. Pasca dipanaskan, serbuk pasir besi di uji kembali menggunakan XRD dan kemudian pasir besi hasil pemanasan dicampur dengan barium karbonat (BaCO<sub>3</sub>) dengan alat *shaker mill* selama 3 jam. Serbuk campuran lalu dikompaksi dengan tekanan 5 ton. Sempel yang berbentuk pelet lalu di-*sintering* pada temperature 1100°C, 1150°C dan 1200°C di dalam *furnace* selama 2 jam. Pasca *sintering*, pelet lalu diuji densitas dengan menggunakan metode Archimedes. Ukuran kristal pelet diperoleh menggunakan metode XRD *line boardening analysis* dengan metode *Debye-Scherrer*. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa pada pelet yang di *sintering* 1200°C memiliki nilai *density* rata-rata yang tertinggi yaitu 4,12 g/cm<sup>3</sup> dan juga menghasilkan ukuran kristal terbesar yaitu 64,29 nm. Meningkatnya temperatur *sintering* sampai dengan 1200°C dapat meningkatkan nilai densitas dan ukuran kristal.

### Abstract

*The purpose of this study was to determine the effect of sintering temperature on the density and crystallite-size of barium hexaferrite based on iron sand. The iron sand from the south coast of Purworejo was XRD tested to determine the compounds contained. The iron sand is also mechanically filtered using a permanent magnet 35 times and then heated at a temperature of 800°C for 5 hours. After heating, the iron sand powder was tested again using XRD after that the powder of iron sand was mixed with barium carbonate (BaCO<sub>3</sub>) with a shaker mill for 3 hours. The mixed powder is compacted with a pressure of 5 tons. The sample pellets is sintered at temperatures of 1100°C, 1150°C and 1200°C in the furnace for 2 hour. After sintering, the pellets were then tested for density using the Archimedes method. The crystallite-size of the pellets was obtained using the XRD line boardening analysis method with the Debye-Scherrer method. The results of this study found that the pellets sintered at 1200°C had the highest average density value of 4.12 g/cm<sup>3</sup> and also produced the largest crystallite-size is 64.29 nm. Increasing the sintering temperature up to 1200°C can increase the density and crystallite-size values.*

Alamat korespondensi:

Gedung E9 Lantai 2 FT Unnes  
 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229  
 E-mail: rahmat.doni@mail.unnes.ac.id

## PENDAHULUAN

Persebaran pasir besi di Indonesia sangatlah melimpah khususnya di pesisir pantai selatan pulau Jawa (Hilman dkk, 2014). Pada umumnya pasir besi hanya dijadikan sebagai bahan bangunan, padahal pasir besi mengandung bahan mineral magnetik yang merupakan basis untuk pengembangan alat elektronik dalam kehidupan modern (Purwanto, 2008 dan Idayanti dkk, 2002).

Pada pasir besi terkandung beberapa anggota besi oksida, diantaranya magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Maghemit dan hematit memiliki komposisi kimia yang sama ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) akan tetapi memiliki struktur kristal yang berbeda (Aji dkk, 2007; Muhajir dkk, 2015 dan Mambu dkk, 2000). Senyawa hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ini sangat potensial untuk dijadikan material magnet berbasis ferit. Pada umumnya ferit dibagi menjadi tiga kelas yaitu ferit lunak, ferit keras, dan ferit berstruktur garnet. Hasil dari olahan pasir besi dapat menghasilkan magnet keras (*hard magnet*) dan magnet lunak (*soft magnet*). Dalam industri salah satu magnet keras (*hard magnet*) yang biasanya digunakan adalah barium ferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_9$ ) dan strontium ferit ( $\text{SrFe}_{12}\text{O}_9$ ) (Thompson, 1969 dan Wicaksono dkk, 2013). Material BHF dapat diaplikasikan pada komponen otomotif seperti *stater motor*, *window motor*, *viper motor*, *compressor motor*, *audio automotive device*, dan lain-lain. dapat diaplikasikan pada komponen otomotif seperti *stater motor*, *window motor*, *viper motor*, *compressor motor*, *audio automotive device*, dan lain-lain.

Untuk mendapatkan magnet permanen dengan kualitas yang baik, proses *sintering* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristik sifat magnet. Ukuran kristal sangat mempengaruhi sifat magnetik bahan. Pertumbuhan kristal yang besar akan merugikan karena turunnya harga koersifitas, sedangkan untuk menghasilkan koersifitas yang besar ukuran kristal haruslah kecil (Muhajir dkk, 2015; Jayanti dkk, 2013; Simbolo dkk, 2013 dan Billah, 2006). Untuk mendapatkan ukuran partikel dan kristalin BHF yang optimum pada proses pencampuran/*milling* material dasar yaitu serbuk  $\text{BaCO}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dapat dilakukan dengan menggunakan metode *mechanical alloying*. Pengendalian ukuran partikel dan kristalin  $\text{Ba}_0.6\text{Fe}_2\text{O}_3$  dapat dengan mudah dilakukan dengan metode ini, dengan cara mengatur lamanya waktu pencampuran/*milling*. Keunggulan lain dari metode *mechanical alloying* ini adalah relatif ekonomis, dan dapat memproduksi material dalam jumlah besar.

Pada penelitian ini melaporkan pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas dan ukuran kristal material barium heksaferit berbasis pasir besi yang dijadikan sebagai material magnet permanen dengan metode yang sederhana dan murah.

## METODE PENELITIAN

Pasir besi yang berasal dari pesisir pantai selatan Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah diambil dan diuji menggunakan *x-ray diffractometer* (XRD) untuk mengetahui kandungan senyawanya. Pasir besi disaring secara mekanik dengan menggunakan magnet permanen sebanyak 35 kali penyaringan. Serbuk hasil penyaringan tersebut kemudian dioksidasi dengan temperatur pemanasan  $800^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Pasca oksidasi serbuk pasir besi diuji kembali menggunakan XRD. Serbuk pasir besi hasil oksidasi lalu dicampur dengan  $\text{BaCO}_3$  dengan cara *mechanical alloying* selama 3 jam dengan menggunakan *shaker ball mill*. Perbandingan berat serbuk terhadap bola baja yang dimasukkan ke dalam vial atau mangkuk pada alat tersebut adalah 1 : 10. Kemudian serbuk campuran dikompaksi menggunakan cetakan (*dies*) berdiameter 2 cm dengan tekanan 5 ton untuk di jadikan sampel berbentuk pelet. Pelet hasil kompaksi di-*sintering* dengan variasi temperatur  $1100^\circ\text{C}$ ,  $1150^\circ\text{C}$ , dan  $1200^\circ\text{C}$  dengan menggunakan *furnace* (Nabertherm N31/H) selama 2 jam, lalu didinginkan sampai temperatur ruang. Sebagian pelet yang sudah di-*sintering* kemudian diuji densitasnya menggunakan metode Archimedes dengan Persamana 1 sebagai berikut:

$$\rho = \frac{mk}{mk-m} \rho_{\text{air}} \quad (1)$$

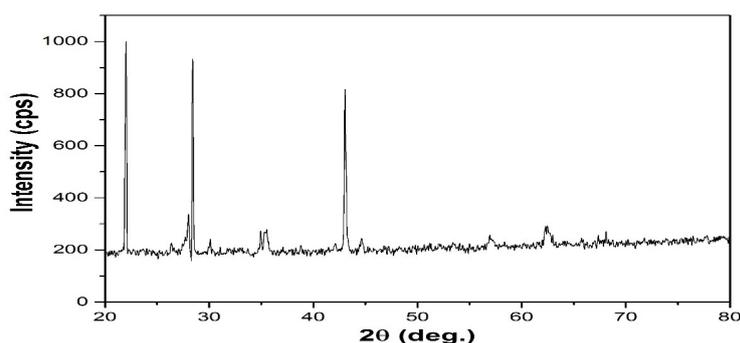
Dimana :  $\rho$  = Densitas sampel ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 $\rho$  air = Densitas air ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 $mk$  = Massa sampel udara terbuka (g)  
 $mb$  = Massa sampel di dalam air (g)

Pelet yang lain di uji menggunakan x-ray difractometer (XRD) untuk mendapatkan pola difraksinya. Evaluasi ukuran kristal rata-rata dilaksanakan melalui penerapan metode analisis pelebaran puncak difraksi (XRD *line boardening analysis*) terhadap pellet. Analisis pelebaran puncak difraksi juga dikenal sebagai metode *Debye-Scherrer* (Cullity, 1978). Metode ini menjadi dasar untuk menghitung ukuran kristal pelet dimana metode tersebut juga terdapat di dalam *software high score plus*, sehingga berdasarkan pola difraksi XRD yang di masukkan ke dalam *software* tersebut nilai ukuran kristal pelet dapat diketahui.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Pengujian X-ray Diffraction (XRD) Raw Material dan Pasca Oksidasi

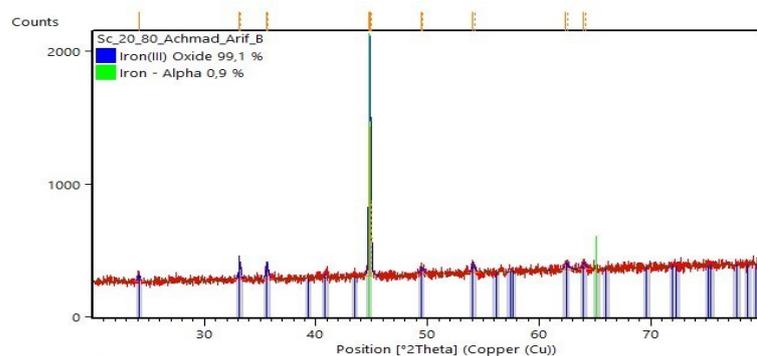
Pasir besi yang diambil dari pesisir pantai kabupaten Purworejo digunakan sebagai *raw material* di dalam penelitian ini dilakukan pengujian XRD untuk memastikan senyawa apa saja yang terdapat didalamnya. Hasil pengujian tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola difraksi x-ray dari raw material pasir besi

Pola difraksi pada Gambar 1. dianalisis awal menggunakan *software* High Score Plus dari PANalytic dimana hasil analisisnya adalah pola difraksi x-ray pasir besi memiliki kesesuaian dengan pola difraksi senyawa Hemagnette ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan Cristobalite Low ( $\text{SiO}_2$ ) pada *data base Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) nomor 98-015-8740 dan 98-005-2371. Hasil analisis kuantitatif komposisi ke dua senyawa utama pada pasir besi yaitu  $\text{SiO}_2$  sebesar 61,1% dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebesar 38,9%.

Langkah selanjutnya dilakukan proses penyaringan atau pemisahan terhadap selain partikel pasir besi menggunakan magnet permanen yang telah ada sebanyak 35 kali penyaringan. Hal ini dilakukan agar diperoleh pasir besi yang terbebas dari partikel lain yang tidak mengandung unsur Fe (besi). Hasil penyaringan secara menanik yang berupa senyawa magnetite low ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) perlu dirubah atau ditransformasikan menjadi senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Proses trnasformasi ini diistilahkan dengan proses pengayaan. Proses pengayaan dilakukan dengan memanaskan serbuk senyawa magnetite low ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sampai temperatur  $800^\circ\text{C}$  selama 5 jam atau proses ini dinamakan proses oksidasi magnetite low ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Pasca proses oksidasi serbuk pasir besidikarakterisasi menggunakan XRD. Hasil karakterisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 2.

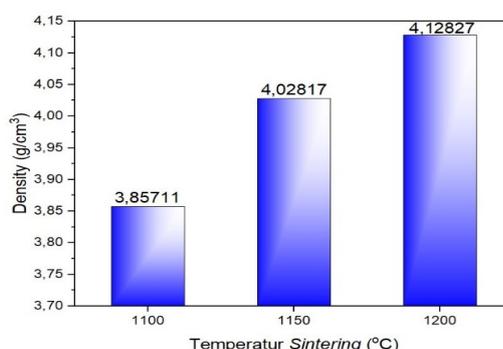


Gambar 2. Hasil analisis pola difraksi *x-ray* setelah proses oksidasi 800°C

Berdasarkan Gambar 2 serbuk pasir besi yang telah mengalami proses oksidasi pada temperatur 800°C selama 5 jam mengalami transformasi fasa atau senyawa, dimana senyawa yang dominan yaitu *magnetite low* (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) dan *iron-alpha* (Fe).

### Uji Densitas

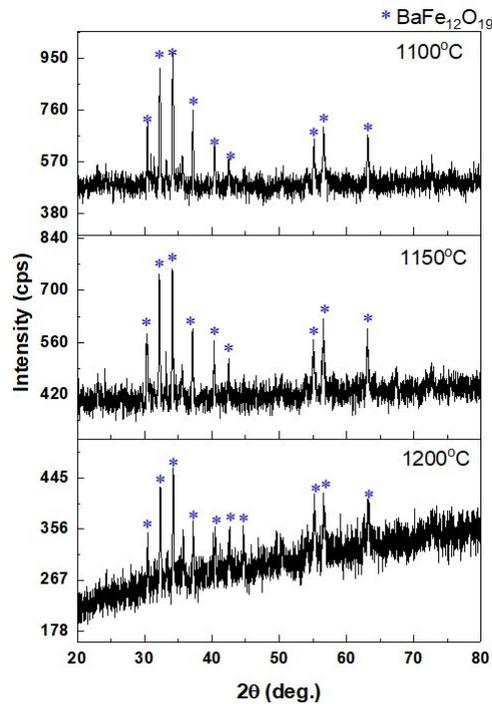
Hasil dari pengujian *density* pada sampel yang berbentuk pelet yang telah kompak dengan tekanan 5 ton dan di-*sintering* dengan temperatur 1100°C, 1150°C, dan 1200°C dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pelet yang telah di-*sintering* dengan temperatur 1100°C, 1150°C, dan 1200°C menghasilkan rata-rata *density* berkisar 3,85711 – 4,12827 g/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan Gambar 3 nilai dari *density* mengalami kenaikan seiring penambahan temperatur *sintering*. Terlihat dari grafik, pada temperatur *sintering* 1150°C dan 1200°C mengalami kenaikan nilai *density*. Hal ini terjadi dikarenakan terjadinya pertumbuhan butir partikel selama proses *sintering* (Idayantidkk, 2002). Nilai dari *density* dapat dipengaruhi dari beberapa faktor seperti kemurnian bahan baku, ukuran tiap-tiap partikel, homogenitas dari campuran bahan baku dan proses *sintering* pada bahan material (Billah, 2006).



Gambar 3. Grafik nilai *density* pada pelet yang di-*sintering* temperatur 1100, 1150, dan 1200°C

### Uji X-ray Diffraction (XRD) Pada Pelet Pasca Sintering

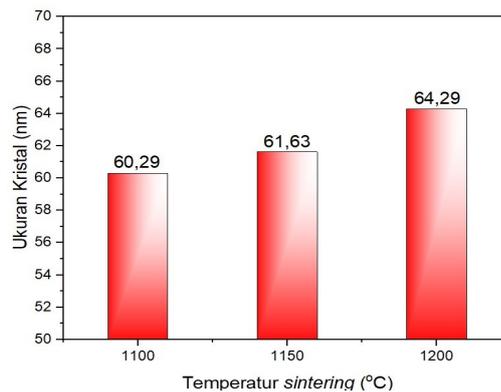
Pelet yang telah di-*sintering* pada temperatur 1100°C, 1150°C, dan 1200°C yang di-*hold* atau ditahan selama 2 jam, kemudian pelet diuji dengan XRD. Hasil pengujian XRD ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 puncak difraksi ke 3 pelet menunjukkan pola difraksi dari senyawa yang dominan adalah Barium Dodecairon (III) Oxide atau barium heksaferit (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>). Meskipun ada fasa lain yaitu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tetapi fasa tersebut hadir dengan komposisi yang kecil, hal ini menunjukkan bahwa proses pembentukan material barium heksaferit ini belum optimal.



Gambar 4. Pola difraksi x-ray pelet yang di-sintering pada temperatur 1100°C, 1150°C, dan 1200°C selama 2 jam

### Ukuran Kristal

Berdasarkan pola difraksi pada Gambar 4, maka di peroleh hasil perhitungan nilai ukuran kristal ke 3 pelet pasca *sintering* pada temperatur 1100°C, 1150°C, dan 1200°C selama 2 jam melalui perhitungan menggunakan *software* High Score Plus. Hasil ukuran kristal yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik ukuran kristal terhadap kenaikan temperatur *sintering*

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa pertumbuhan ukuran kristal pada BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> adalah fungsi dari adanya kenaikan pada temperatur *sintering*. Sehingga apabila temperatur semakin naik, maka ukuran kristal pada BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> juga akan semakin besar. Naiknya temperatur *sintering* menyebabkan tumbuhnya kristal yang ada dan mereduksi pori-poti diantara kristal material barium heksaferit.

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan nilai densitas pada penambahan proses *sintering*. Pada temperatur 1200 °C nilai densitas sebesar 4,12827 g/cm<sup>3</sup>. Hal ini terjadi dikarenakan pertumbuhan butir partikel seiring penambahan temperatur *sintering*. Hal ini diperkuat dengan bertambahnya ukuran kristal sebesar 64,29 nm pada temperature 1200 °C.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. Prasetya., A. Yulianto., dan S. Bijaksana., 2007, Sintesis Nano Partikel Magnetit, Maghemit dan Hematit Dari Bahan Lokal. *Jurnal Sains Materi Indoneisa*, pp 106-108
- Billah, Arif., 2006, Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit Dengan Bahan Dasar Pasir Besi. *Skripsi*. Program S1 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Cullity, B.D., 1978, *Elements of X-Ray Diffraction*, 2<sup>nd</sup> Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Hilman, P. Muharam., S. J. Suprpto., D. N. Sunuhadi., A. Tampubolon., R. Wahyuningsih., D. Widhyatna., B. Pardiarto., R. Gunardi., Franklin., K. Yudawinata., D. T. Sutisna., D. Dinarsih., Sukaesih., E. T. Yuningsih., Candra., P. Oktaviani., R. Rahmawati., R. M. Ulfa., I. Sukmayana., I. Ostman. 2014, *Pasir Besi di Indonesia Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi – Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- Idayanti, Novrita., Dedi., dan S. Djaja. 2002. Proses *Sintering* Dalam Pembuatan Magnet Permanen Untuk Meteran Air. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 3(2): 29-33.
- Jayanti, N. Dwi., A. Yulianto., dan Suhaldi. 2013. Fabrikasi Magnet Komposit Berbahan Dasar Magnet Daur Ulang Dengan Pengikat Cult. *Unnes Physics Journal* 2(1): 24-29
- Mambu, G. A., E. S. B. Sudrajat., Dedi., dan M. A. Hidayat. 2000, Pengaruh Kemurnian Bahan Baku (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan BaCO<sub>3</sub>) Dalam Pembuatan Magnet Permanen Barium Ferit. *Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet 1*: 37-39
- Muhajir, M. Arif., dan D. Asmi. 2015. Sintesis dan Karakteristik Bahan Magnet Barium Heksaferit (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>) menggunakan Bahan Dasar Barium Karbonat (BaCO<sub>3</sub>) dan Pasir Besi dari Daerah Pesisir Pantai Selatan Pandeglang-Banten. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* 3(1): 9-16
- Purwanto, Setyo. 2008. Membangun Industri Komponen Bahan Magnet Bekas Berbasis Sumber Daya Alam Lokal Melalui Sentuhan Nanoteknologi. *Jurnal Riset Industri* 2(2): 107-133
- Simbolon, Silviana., A. P. Tetuko., P. Sebayang., K. Sebayang., dan H. Ginting. 2013. *Sintesis dan Karakterisasi Barium M-Heksaferit Dengan Doping Ion Mn dan Temperatur Sintering*. Seminar dan Focus Group Discussion (FGD) Material Maju: Magnet dan Aplikasinya. Solo. 25-27 Juni.
- Thompson, John E. 1969. *The Magnetic Properties of Materials*. 1<sup>st</sup>ed. The Hamlyn Publishing Group Ltd.
- Wicaksono, Rahmawan., A. Yulianto., dan Sulhadi. 2013. Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Komposit Berbahan Dasar Barium Ferit Dengan Pengikat Karet Alam. *Jurnal Sains Dasar* 2(1): 79-84.