

# Peningkatan Daya Listrik Pada Generator Putaran Rendah Melalui Peningkatan Sifat Magnetik Magnet Permanen BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

Kevin Andreas<sup>1,a)</sup>, Dwita Suastiyanti<sup>2,b)</sup>, Pathya Rupajati<sup>3,c)</sup>

<sup>1,2,3)</sup> Program Studi Teknik Mesin ITI,  
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

<sup>a)</sup> kevinandreas4@gmail.com, <sup>b)</sup> dwita\_suastiyanti@iti.ac.id, <sup>c)</sup> pathya.rupajati@iti.ac.id

## Abstrak

Generator adalah suatu alat atau sistem yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik dan menghasilkan tenaga listrik bolak-balik atau tenaga listrik searah tergantung pada tipe generator. Umumnya magnet yang digunakan pada Generator putaran rendah adalah NdFeB, yang sulit diperoleh unsur-unsur pembentuknya, maka digunakan bahan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> sebagai magnet alternatif. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh sifat magnetik tertinggi pada BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> melalui variasi perlakuan sinter. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode sol-gel, dengan pengujian karakteristik serbuk yaitu permagraph, XRD dan SEM. Parameter yang digunakan yaitu pada temperatur sinter 750, 800 dan 850°C, masing-masing dilakukan selama 8, 10 dan 12 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk menghasilkan daya listrik yang tinggi pada generator dapat digunakan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dengan rasio mol Ba:Fe = 1:12 pada kondisi temperature sinter dan waktu sinter 850°C dan 12 jam. Kondisi tersebut menghasilkan energi magnetik terbesar (89,019 T.kA/m) dengan serbuk dalam kondisi fasa tunggal (100% BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>).

**Kata kunci:** Generator, Magnet Permanen, Metode Sol-Gel, BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

## Abstract

*A generator is a device or system that can convert mechanical power into electric power and produce alternating electric power or electric power in the direction of the type of generator. Generally the magnet used in the low speed generator is NdFeB, which is difficult to obtain by its constituent elements, so BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> is used as an alternative magnet. The purpose of this study was to obtain the highest magnetic properties on BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> through variations of sintered treatment. The methodology used in this study is using the Sol-Gel Method, by testing powder characteristics, namely Permagraph, XRD, and SEM. The parameters used were sintered temperatures of 750, 800 and 850°C, each carried out for 8, 10 and 12 hours. The results showed that BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> with a high mol ratio Ba: Fe = 1:12 under sintered temperature conditions 850 ° C and sintered time 12 hours. In this condition, the largest magnetic energy (89,019 T.kA / m) and powder were produced under single phase conditions (100% BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>).*

**Keywords:** Generator, Permanent Magnet, Sol-Gel Method, BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Generator adalah suatu alat atau sistem yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik dan menghasilkan tenaga listrik bolak-balik atau tenaga listrik searah tergantung pada tipe generator. Generator arus bolak-balik sering disebut juga generator sinkron. Prinsip kerja generator berdasarkan Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet, maka akan membangkitkan gaya gerak listrik. Konstruksi generator sinkron terdiri dari Stator dan Rotor.

Magnet permanen adalah magnet yang mempertahankan kekuatan magnet dalam jangka waktu yang lama. Magnet permanen biasanya terbuat dari bahan ferromagnetik, BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>, NdFeB, dll. Aplikasi magnet NdFeB cukup banyak, seperti pada peralatan elektronik,

motor listrik/generator, sensor/transduser, industri otomotif, industri petrokimia dan produk peralatan kesehatan [1].

Pada penelitian ini dicoba untuk melakukan sintesis material keramik BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> menggantikan NdFeB sebagai bahan dasar magnet permanen pada generator putaran rendah. Hal ini dilakukan mengingat material NdFeB terdiri dari unsur-unsur Neodyum (Nd) dan Boron (B) yang merupakan unsur-unsur yang sulit diperoleh (logam tanah jarang). Keunggulan lain dari BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> adalah lebih mudah disintesis bila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya, sehingga menyebabkan magnet barium heksaferit sangat disukai untuk diaplikasikan sebagai magnet permanen. Untuk menghasilkan material ini digunakan metode *sol-gel* [2]. Perlakuan dengan variasi temperatur dan waktu sinter, diharapkan akan diperoleh peningkatan sifat magnet BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> yang dapat meningkatkan output daya listrik dari generator putaran rendah.

### B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh sifat magnetik tertinggi pada  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  melalui variasi perlakuan sinter (temperatur dan waktu).

### C. Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah dalam analisa ini adalah:

1. Bahan dasar untuk melakukan sintesis  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  adalah:

- Citrid acid monohydrate  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$
- Iron(III) nitrate nanohydrate  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
- Barium nitrate  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$
- Aquabidestilate

Bahan-bahan dasar tersebut merupakan produk dari merk KGaA, 64271 Darmstadt.

2. Metode sintesis menggunakan metode sol gel yang terdiri dari tahapan sebagai berikut :

- Pembentukan gel (pemanasan pada  $80^\circ\text{C}$ - $90^\circ\text{C}$  selama 4-5 jam) sampai terbentuk gel.
- Proses penguapan  $150^\circ\text{C}$  selama 2 jam.
- Proses kalsinasi pada temperatur  $450^\circ\text{C}$  selama 24 jam.
- Proses sinter pada temperatur  $750^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$  dan  $850^\circ\text{C}$  (masing-masing selama 8,10,12 jam).

3. Pengujian karakteristik serbuk :

- Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD).
- Pengamatan SEM.
- Pengujian Permagraph.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Generator

Generator Listrik adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik [3]. Energi yang menggerakkan generator sendiri sumbernya bermacam macam. Pada pembangkit listrik tenaga angin misalnya generator bergerak karena adanya kincir yang berputar karena angin. Demikian pula pada pembangkit pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan energi gerak dari air. Sedangkan pada pembangkit listrik gerak dari generator didapatkan dari proses pembakaran bahan bakar diesel. Generator putaran rendah ditunjukkan pada Gambar 1.



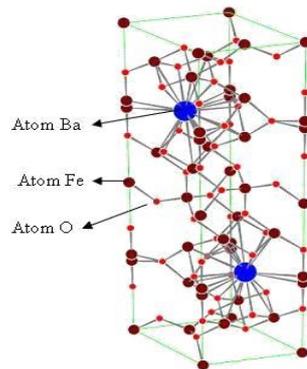
Gambar 1. Generator

### B. Barium HeksaFerit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ )

Heksaferit tergolong dalam ferimagnetik, Ferimagnetik memiliki arah atom-magnetik yang berlawanan, tetapi tidak seimbang, jadi magnet ini memiliki suatu magnetisasi total. Berdasarkan rumus kimia dan struktur kristalnya, Barium Heksaferit merupakan tipe-M. Tipe-M yang lebih dikenal dengan sebutan barium heksagonal ferit

(BaM) merupakan oksida keramik yang paling banyak dimanfaatkan secara komersial dan hingga kini telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan material tersebut baik dari segi fabrikasinya maupun penggunaannya. Barium ferit dibuat dengan cara mencampurkan hematit hasil oksidasi magnetik pasir besi Batang Sukam dengan barium karbonat [3].

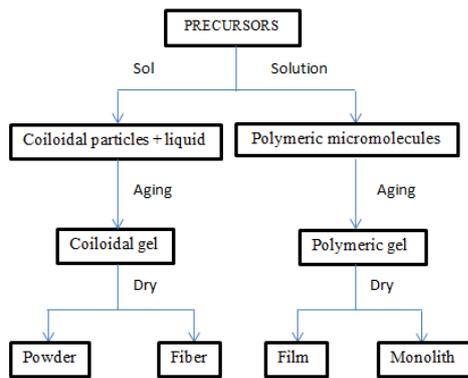
Barium M-heksaferit atau dikenal dengan sebutan BaM memiliki rumus kimia  $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) dan struktur heksagonal yang sesuai [3]. Sel kompleks BaM tersusun atas 2 sistem kristal yaitu struktur kubus-pusat-sisi (*face-centered-cubic*) dan heksagonal mampat (*hexagonal-close-packed*) seperti terlihat pada Gambar 2. Keduanya tersusun dengan lapisan atom yang sama, satu lapisan di atas lapisan yang lain, dalam setiap lapisan, atom terletak di pusat jaringan. Material barium hexaferrite fasa tunggal dan nanopartikel ini dapat diaplikasikan untuk material *multiferroic* karena ukuran nano pada serbuk material dasar penyusun material *multiferroic* dapat membangkitkan efek kopling magnetoelektrik [4], [5], [6].



Gambar 2 Struktur kristal  $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$

### C. Metode Sol-Gel

Metode *sol-gel* merupakan salah satu metode yang paling sukses dalam mempersiapkan material oksida logam berukuran nano. *Sol* adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk padat dan fasa pendispersinya berbentuk cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoxida dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis. *Gel* (gelation) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energi ikat lebih rendah. Reaksinya adalah reaksi kondensasi, baik alkohol atau air, yang menghasilkan *oxygen bridge* (jembatan oksigen) untuk mendapatkan metal oksida. Metode sintesis menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbeda-beda bergantung prekursor dan bentuk produk akhir, baik itu berupa powder, film, aerogel, atau serat. Gambar 3 merupakan skema umum proses *sol-gel*.



Gambar 3. Skema umum proses sol-gel.

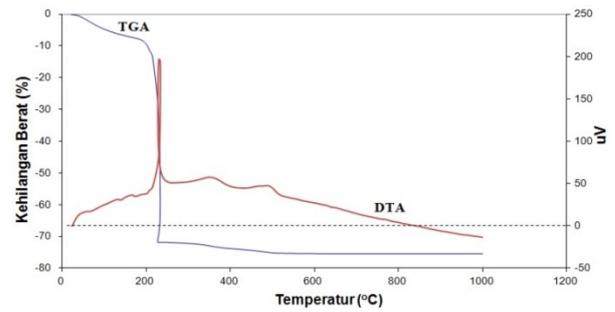
III. METODE PENELITIAN

Tahap pertama dilakukan penimbangan material dasar Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O, dan C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> dengan rasio Ba<sup>2+</sup>:Fe<sup>3+</sup> = 1:12. Tahap kedua dilakukan pelarutan material dasar kedalam air deionisasi (aquabidestilat) menjadi larutan. Tahap ketiga dilakukan pemanasan larutan diatas hot plate 80°C sampai 90°C selama 4-5 jam sampai terbentuk gel, kemudian dilakukan uji data TGA/DTA yang digunakan untuk informasi temperatur kalsinasi dan sinter. Tahap keempat dilakukan proses penguapan gel dalam furnace pada temperatur 150°C selama 2 jam. Tahap kelima dilakukan proses kalsinasi pada temperatur 450°C selama 24 jam. Kemudian dilakukan penggerusan powder yang sudah terbentuk. Setelah itu, dilakukan proses sinter pada temperatur 750, 800 dan 850°C masing-masing selama 8,10 dan 12 jam. Tahap keenam dilakukan pengujian karakterisasi powder dengan uji Permagraph, uji XRD dan uji SEM. Setelah itu dilakukan analisa dan pembahasan untuk mendapatkan kesimpulan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengamatan uji TGA/DTA

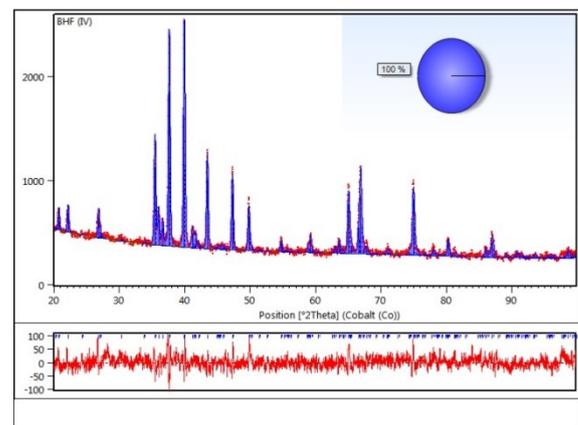
Hasil pengujian pada Gambar 4 dengan DTA (DTA/merah) menunjukkan juga suatu perubahan yaitu terjadi peningkatan energi kurang lebih sebesar 200 µV pada temperatur yang sama seperti ditunjukkan oleh TGA yaitu 150°C. Lalu pada garis DTA (DTA/merah) mengalami peningkatan pada temperatur 450°C yang dimana terjadi proses kalsinasi selama 24 jam. Fenomena tersebut tidak dapat dibaca oleh TGA (TGA/biru). Saat penurunan aktifitas DTA hampir tercapai, maka dapat diambil variasi suhu untuk sinterring yaitu pada rentang temperatur suhu 600°C -1000°C sehingga dapat diambil tiga buah variasi temperatur suhu sinterring yaitu 750, 800, dan 850°C.



Gambar 4. Hasil Uji TGA/DTA

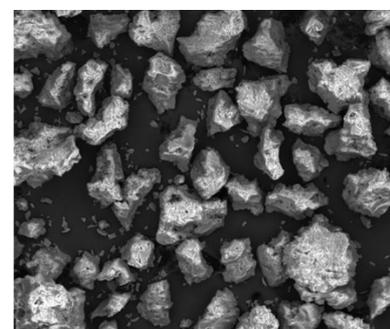
B. Hasil Uji XRD

Pada Gambar 5 menunjukkan pola XRD untuk sampel yang disintering pada suhu 750, 800 dan 850°C. Ternyata, dari gambar memperlihatkan bahwa terdapat 1 fasa yaitu, fasa dominan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> sebesar 100%.

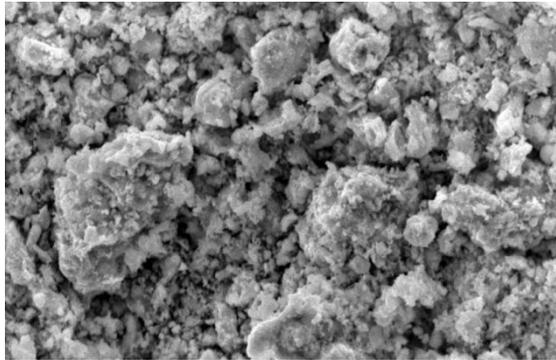


Gambar 5 Pola Difraksi Serbuk BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>.

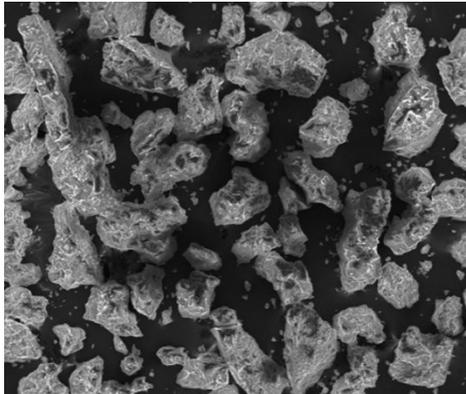
C. Hasil Uji SEM



Gambar 6 Hasil Uji SEM Pembesaran 2000x proses sinter 12 jam temperatur 750°C Rasio mol Ba<sup>2+</sup>.Fe<sup>3+</sup>= 1 : 12.



**Gambar 7** Hasil Uji SEM Pembesaran 2000x proses sinter 12 jam temperatur 800°C Rasio mol Ba<sup>2+</sup>.Fe<sup>3+</sup>= 1 : 12.



**Gambar 8** Hasil Uji SEM Pembesaran 2000x proses sinter 12 jam temperatur 850°C Rasio mol Ba<sup>2+</sup>.Fe<sup>3+</sup>= 1 : 12.

Hasil Uji SEM pada Gambar 6 dan Gambar 8 butiran BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> terlihat homogen dengan butiran disekelilingnya dibandingkan dengan Gambar 7 butiran BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> tidak homogen dengan butiran disekelilingnya.

**D. Data Kuantitatif Ba:Fe = 1:12**

Data kuantitatif Ba : Fe = 1:12 ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data-data Sifat Magnetik Ba : Fe = 1:12

Temp. sinter (°C)	Remanen (T)			Koersivitas (kA/m)			Saturasi (T)		
	8 Jam	10 Jam	12 Jam	8 Jam	10 Jam	12 Jam	8 Jam	10 Jam	12 Jam
750	0,107	0,108	0,115	190,3	233,2	275,8	0,12	0,15	0,18
800	0,155	0,161	0,170	336,4	427,0	451,8	0,25	0,28	0,30
850	0,181	0,195	0,210	326,8	415,6	423,9	0,32	0,37	0,45

Dari Tabel 1 dapat terlihat bahwa makin tinggi temperatur dan makin lama waktu sinter makin besar nilai sifat magnetik dimiliki oleh serbuk yang mengalami waktu sinter 12 jam untuk temperatur 750, 800, dan 850°C.

**E. Hasil Perhitungan mencari Energi Magnetik**

Setelah didapat data kuantitatif dari uji permagraph yang memiliki data sifat magnetik maka dapat ditentukan berapa besar energi magnetik dari data kuantitatif dengan perkalian remanen (R) dan koersivitas (K) bahwa energi magnetik menentukan kualitas kemagnetan yang pada akhirnya mempengaruhi daya listrik.

**Tabel 2.** Energi Magnetik rasio mol Ba : Fe= 1 : 12

Temp.Sinter °C	Energi Magnetik		
	8 jam	10 jam	12 jam
750	20,3621	25,1856	31,717
800	52,142	68,747	76,806
850	59,1508	81,042	89,019

Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai energi magnetik paling tinggi dimiliki oleh serbuk dengan waktu sinter 12 jam pada temperatur 750 , 800, dan 850°C.

Teori *Maxwell* menyebutkan bahwa perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet, dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan medan listrik. Pernyataan tersebut dituangkan dalam persamaan *Faraday*, yaitu:

$$\epsilon = -N \cdot \frac{d\phi B}{dt}$$

Dimana :

N = Jumlah lilitan

$\epsilon$  = GGL induksi yang dihasilkan (V)

$d\phi B/dt$  = Laju perubahan fluks magnetik terhadap waktu (Wb/s) (Linier dengan energi magnetik).

Dari persamaan hukum *Faraday* diatas membuktikan bahwa jika fluks magnetiknya besar maka tegangan listrik yang dihasilkan tinggi. Tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik yang besar dibuktikan dengan rumus:

$$P = I^2 \cdot R = V \cdot I$$

Dimana :

P = Daya listrik (W)

I = Arus listrik (A)

V = Tegangan listrik (V)

Persamaan tersebut membuktikan bahwa jika tegangan listrik tinggi maka akan menghasilkan daya listrik yang tinggi pula. Hal ini linier dengan hasil penelitian yaitu makin besar energi magnetik maka akan menghasilkan daya listrik yang tinggi.

**V. KESIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat ditulis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Serbuk yang mengandung fasa 100% BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> (*single phase*) adalah serbuk yang mengalami sinter 750, 800, dan 850°C selama 8,10 dan 12 jam pada rasio mol Ba:Fe = 1:12. Hal ini membuktikan bahwa pembentukan serbuk BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> adalah bersifat stoikhiometri.
2. Makin tinggi temperatur dan waktu sinter untuk semua kondisi maka menghasilkan Energi Magnetik yang tinggi.
3. Untuk menghasilkan daya listrik yang tinggi pada generator dapat digunakan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> temperatur sinter 850°C dan waktu sinter 12 jam dengan rasio mol Ba:Fe = 1:12 sebagai bahan untuk magnet permanen pada rotor.

**REFERENSI**

- [1] P. Irasari & N. Idayanti, Pada generator magnet permanen kecepatan rendah skala kecil magnet neodmium iron boron (NdFeB). *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 11(1), 2009, 38–41.
- [2] D. Suastiyanti & M. Wijaya, Metode Sol-Gel pada Sintesa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Nanopartikel dan Fasa Tunggal Sebagai Material Dasar untuk Ultimate Memory Device. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY*, (April), 2015, 31–34.
- [3] M. Rizki, A. Budiman & D. Puryanti, Barium Ferit ( BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>) Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand* 7(1), 2018, 15–20.
- [4] D. Suastiyanti, B. Soegijono & A. Manaf, Sintesa Material Nanopartikel BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Fasa Tunggal dengan Metode Sol-Gel by Sol-Gel Method. *Jurnal Teknik Mesin ITI* 3, 2014, 24–31.
- [5] D. Suastiyanti, B. Soegijono & M. Hikam, Simple recipe to synthesize BaTiO<sub>3</sub>-BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> nanocomposite bulk system with high magnetization. *Applied Mechanics and Materials*. 493, 2014, 634-639.
- [6] D. Suastiyanti, B. Soegijono & M. Hikam, Magnetolectric coupling phenomena based on the change of magnetic properties in multiferroic nanocomposite BaTiO<sub>3</sub>-BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> system. *Advanced Materials Research*. 896, 2014, 385-390.