

## PENGARUH KOMPOSISI BAHAN BARIUM FERIT DAN NdFeB PADA SIFAT KEMAGNETAN KOMPOSIT BaFe/NdFeB

*The Influence of Barium Ferrite and NdFeB Compositions on Magnetic Properties of The BaFe/NdFeB Composite*

Handoko Setyo Kuncoro<sup>1</sup>, Ratih Resti Astari<sup>1</sup> dan Tita Oktavia Cahya Rahayu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Keramik, Jl. Jendral Ahmad Yani 392 Bandung 40272 Tlp: (022) 7206221

<sup>2</sup>Telkom University, Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40257  
e-mail: keramik@bbk.go.id

Naskah diterima : 03 Mei 2016, Rev I : 05 Mei 2016, Diterima : 28 Juni 2016

### ABSTRAK

*S*tudi tentang pengaruh komposisi bahan-bahan sumber (penyusun) terhadap sifat kemagnetan komposit magnet BaFe/NdFeB beserta sintesis barium ferit dan NdFeB yang dibantu binder PEG (polyethylene glycol) 6000. Keberhasilan sintesis bahan komposit tersebut bisa ditunjukkan dengan beberapa hasil pengujian seperti pengujian SEM, uji gores, dan pengujian DTA/TG. Morfologi dari komposit yang dibentuk dari bahan sumber (BaFe, NdFeB dan binder PEG) bisa teridentifikasi dengan baik oleh mikrograf SEM. Hasil uji gores menunjukkan bahwa penambahan binder PEG 6000 terbaik adalah 7,5% dari berat total. Sedangkan hasil uji DTA/TG memberikan data suhu degradasi termal komposit minimum (350°C) masih dibawah temperatur Curie bahan NdFeB. Hasil penelitian juga membuktikan bahwa komposisi bahan sumber komposit kurang berpengaruh terhadap sifat koersifitas magnetik tetapi lebih mempengaruhi terhadap sifat retentivitas magnet (induksi remanen) komposit BaFe/NdFeB. Tren pengaruh komposisi bahan penyusun terhadap sifat induksi remanen magnetik (Br) kompositnya mendekati formulasi untuk menghitung konduktivitas komposit.

**Kata Kunci:** Komposit magnet keramik, sintesis, komposisi, induksi remanensi magnetik, formulasi konduktivitas komposit

### ABSTRACT

*A*n investigation on the influences of raw material composition to magnetic properties of BaFe-NdFeB composite and its synthesis have been performed by using PEG 6000 binder. The success of the synthesis of the composite material had been shown by some examination results such as SEM testing, scratch testing, and testing of DTA/TG. The composite morphology formed by raw materials (BaFe, NdFeB and PEG binder) could be well identified by SEM micrographs. The scratch test results had shown that the best addition of the PEG 6000 binder was 7.5% of the total weight. While the results

from DTA/TG testing had provided data for the minimum thermal degradation temperature of composite (350° C) which still below the Curie temperature of NdFeB material. The results had also shown that the compositions of composite raw materials were less effect on the magnetic properties of the composite coercivities but more influence on the retentivity of BaFe/NdFeB composite (remanent induction). The influence trends of the composition of the constituent materials to the remanent induction properties (Br) of composites had approached to the formulation of composite conductivity calculation.

**Keywords:** Ceramic magnet composite, synthesis, composition, magnetic remanent induction, composite properties formulation

## I. PENDAHULUAN

Produk magnet khususnya magnet keramik memiliki banyak aplikasi untuk berbagai keperluan (seperti aplikasi audio, stator motor, generator listrik, sensor gerak, batang stirrer, asesoris refrigerator, dll.)[1]. Di Indonesia bahan magnet keramik berbasis barium ferit (BaFe) masih memiliki kesempatan untuk diteliti mengingat bahan baku dasarnya (oksida besi) yang berlimpah di Indonesia [2] dan industrinya belum ada.[3] Namun sayang, magnet keramik jenis ini masih memiliki induksi remanensi yang tidak terlalu tinggi [4] (kira-kira 1/3 dari induksi remanensi yang dimiliki magnet jenis paduan kristal nano Nd-Fe-B) [5], meskipun memiliki koersifitas magnetik dan temperatur *Curie* yang lebih baik. Untuk itu perlu dilakukan penelitian yang mengkaji kemungkinan memadukan sifat-sifat unggul dari kedua bahan magnet tersebut melalui pembuatan bahan komposit.[6]

Cara memadukan dua bahan bisa ditempuh lewat beragam cara diantaranya melalui metoda kompaksi sintering [7] atau juga bisa menggunakan binder atau resin sebagai pengikat bahan baku/penyusun

[8]. Pembuatan bahan komposit menggunakan binder nampak lebih murah dalam pembiayaan pembuatannya karena hanya memerlukan pemanasan sedikit untuk suhu rendah (umumnya untuk epoksi resin dibawah 100°C), bahkan beberapa binder hanya memerlukan tekanan kompaksi saja. Namun demikian ketahanan termal bahan komposit menggunakan binder jauh lebih rendah dibandingkan hasil metoda kompaksi sintering. Untuk menghindari masalah kerusakan termal, penggunaan bahan/jenis binder dalam pembuatan magnet komposit disyaratkan memiliki suhu degradasi termal diatas nilai temperatur *Curie* terendah dari bahan-bahan penyusunnya. Komposisi binder juga perlu diperhatikan agar terjadi pengikatan yang baik antar bahan penyusun komposit.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya terkait dengan produk magnet keramik, umumnya dijumpai tiga sifat magnet penting yang perlu diperhatikan dalam disainnya (yakni: kuat magnet diwakili oleh induksi remanensi magnet,

kepermanenan magnet diwakili sifat koersifitas dan energi total magnet yang diwakili oleh nilai  $BH_{max}$ . [9] Khusus kasus desain bahan komposit, dibutuhkan informasi penting tentang pengaruh komposisi bahan-bahan penyusun pada perubahan perilaku hasil sifat kemagnetan kompositnya. Untuk komposit dengan kualitas sifat fisis (misal sifat S) jenis bahan penyusun yang satu (misal bahan 1) dibandingkan dengan bahan penyusun yang lain (bahan 2) nilainya berbeda jauh (misal  $S_1 \gg S_2$ ), sifat fisis produk akhirnya ( $S_k$ ) bisa diformulasikan dengan:

$$S_k = S_1 (1 - f_d) / (1 + kf_d) \quad \dots \quad (1)$$

dimana k dan  $f_d$  merepresentasikan konstanta dan fraksi massa terdispersi. [10] Sifat komposit ini telah baik digunakan untuk memprediksi sifat konduktivitas listrik komposit untuk  $k = 0,5$ . Apakah formulasi tersebut berlaku untuk sifat kemagnetan bahan komposit masih menjadi tanda tanya.

Dalam penelitian ini akan dibahas analisis hasil sintesis bahan komposit beserta hasil karakterisasinya, dengan mempertimbangkan formulasi sifat komposit yang telah berlaku untuk sifat konduktivitas komposit.

## II. METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan yang Digunakan

Sebelum sampai pada metode pembuatan bahan komposit, berikut diuraikan beberapa bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini. Bahan utama penelitian ini berupa:

- Pasir besi;
- $BaCO_3$ ;
- Magnet NdFeB;
- Binder PEG 6000.

Sedangkan peralatan utama yang digunakan meliputi:

- Magnetic stirrer
- Cetakan stainless steel
- Timbangan teknis
- Tungku listrik
- Alat tekan

### Metode Pembuatan Bahan Komposit

Langkah awal adalah menyiapkan bahan magnet barium ferit (BaFe). Pembuatan BaFe (dengan rumus kimia  $BaFe_{12}O_{19}$ ) diawali dengan mensintesis  $Fe_2O_3$  dari pasir besi dengan ekstraksi asam dan pengendapan basa. Selanjutnya  $Fe_2O_3$  yang telah terbentuk dicampur dengan  $BaCO_3$  menggunakan *magnetic stirrer*. Campuran tersebut dikeringkan dengan *oven* kemudian dipress dengan alat tekan menggunakan cetakan dan dibakar pada suhu  $1100^\circ C$ . Pembuatan komposit dilakukan dengan mencampur magnet barium ferit dan magnet NdFeB dengan bantuan PEG 6000 sebagai binder untuk beberapa variasi komposisi seperti tercantum dalam tabel berikut.

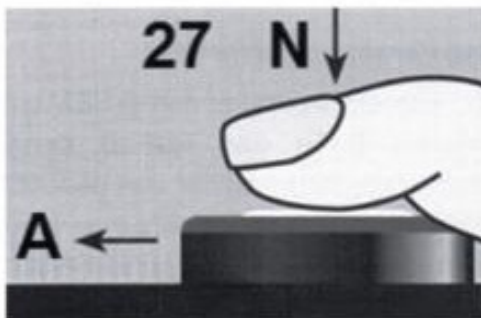
Tabel 1 Variasi Komposisi Magnet Komposit

Kode komposisi	Variasi Komposisi (%)		Binder (dari Total)
	NdFeB	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	
BN82-5	20	80	5%
BN82-7	20	80	7,5%
BN82-10	20	80	10%
BN64-5	40	60	5%
BN64-7	40	60	7,5%
BN64-10	40	60	10%
BN46-5	60	40	5%
BN46-7	60	40	7,5%
BN46-10	60	40	10%

Simbol BN menunjukkan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>; NdFeB

Campuran serbuk yang telah disiapkan sesuai komposisi Tabel 1 di *milling* dengan mortar selama 10 menit, kemudian dicetak melalui proses kompaksi panas dengan tekanan 100 kg/cm<sup>2</sup> pada suhu matras 70°C.

Analisis yang dilakukan terhadap magnet komposit yang telah terbentuk meliputi uji gores untuk melihat ikatan yang optimal, uji struktur mikro dengan menggunakan SEM yang ada di Balai Besar Tekstil Bandung, karakterisasi sifat kemagnetan dengan menggunakan alat Magnet Physic Dr. Steingroever GmbH Permagraph C yang ada di Laboratorium PPET-LIPI Bandung dan karakterisasi termal menggunakan peralatan DTA/TG yang dimiliki oleh Balai Besar Keramik Bandung. Khusus untuk uji gores dilakukan di laboratorium karakterisasi keramik maju BBK dengan kondisi STP. Uji ini dilakukan dengan menekan dan mendorong bahan komposit diatas kertas HVS kurang lebih sejauh 5 cm dari kedudukan semula.



Gbr.1 Ilustrasi uji gores secara manual dengan gaya tekan sekitar 27 N.

Diharapkan bahan binder yang mengikat bahan baku komposit dengan baik tidak meninggalkan goresan bahan baku komposit pada kertas dibawahnya.

### Analisis Komposisi dan Sifat Kemagnetan Komposit

Dengan argumen bahwa total energi magnet ditentukan oleh karakterisasi kurva histeresis BH, dimana B mewakili induksi remanen magnet dan H mewakili koersifitas magnet, maka dalam penelitian ini sifat kemagnetan yang diamati berfokus pada kedua sifat yang disebut terakhir.

Dilihat dari koersifitasnya, nilai H<sub>c</sub> (koersifitas terukur) untuk bahan baku BaFe lebih besar dibanding NdFeB, sebaliknya nilai Br (induksi remanensi terukur) untuk bahan baku NdFeB jauh lebih besar dibanding bahan BaFe sekitar 3 kali lipatnya. Faktor komposisi bahan dalam menentukan sifat fisis bahan komposit sudah terwakili oleh persamaan 1 dengan fraksi massa bahan baku terdispersi walaupun masih belum ada batasan yang jelas antara bahan kontinyu dan bahan terdispersi namun umumnya bahan kontinyu memiliki tendensi jumlah yang lebih besar.

Persamaan 1 tidak berlaku untuk  $S_1 \ll S_2$ , dimana S<sub>1</sub> dianggap sebagai bahan baku kontinyu (*base material*). Jika formula komposit ini diberlakukan dalam komposit magnet, maka untuk kasus pengamatan sifat induksi remanensi magnet  $Br_{BaFe} \ll Br_{NdFeB}$  dan bahan baku BaFe dianggap sebagai *base material*, maka sesuai dengan formula yang berlaku pada sifat konduksi listrik ataupun panas komposit (biasanya k=2), sifat induksi remanensi magnet produk akhir bisa ditulis sebagai:

$$Br_k = Br_{BaFe} (1 + kf_d)/(1 - f_d) \quad \dots \quad (2)$$

dimana  $Br_k$  merepresentasikan sifat induksi remanensi magnet komposit dan  $Br_{BaFe}$  mewakili sifat induksi remanensi magnet bahan baku *base material*.

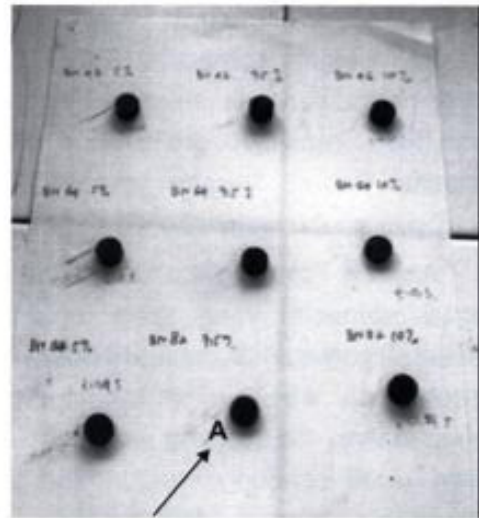
Untuk keperluan analisis data juga dilakukan beberapa interpolasi dan ekstrapolasi menggunakan teknik *cubic spline*. Teknik ini sangat handal karena memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil mendekati nol terhadap data terukur yang dipakai. Dalam penelitian ini ekstrapolasi diperlukan sebagai metode pendekatan untuk menentukan nilai  $Br_{BaFe}$  dalam komposit dengan kandungan bahan baku terdispersi NdFeB mendekati tidak ada.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengamatan Uji Gores

Komposisi binder terlalu sedikit dari jumlah optimalnya, dalam uji gores ini akan meninggalkan goresan gelap diatas kertas yang ditekan, sebaliknya komposisi yang binder yang berlebihan mengurangi sifat kemagnetan dari produk akhir magnet komposit.

Kolom bahan sebelah kiri dalam Gbr. 2 berikutnya merupakan variasi bahan komposit dengan kadar binder 5% diikuti dengan kolom sebelah tengah dan kanan masing-masing memiliki kadar binder 7,5% dan 10% secara urut kolom. Sedangkan baris atas hingga ke bawah mewakili komposisi BN46, BN64, dan BN82.



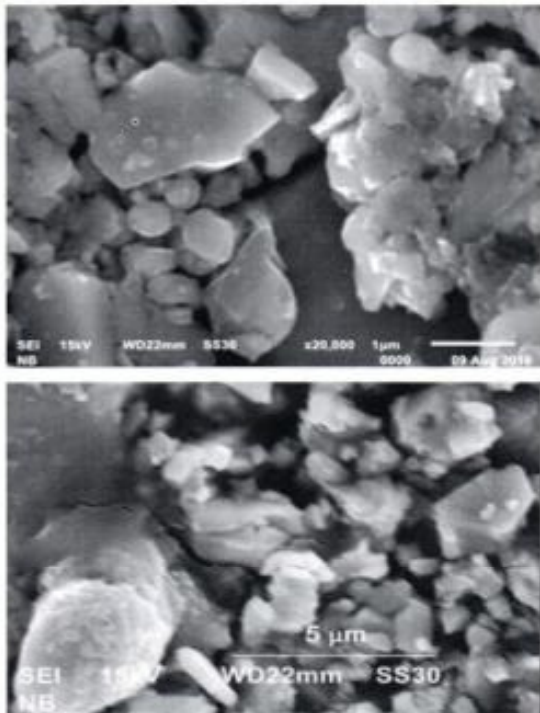
Gbr. 2 Hasil visual uji gores untuk 9 variasi bahan magnet komposit.

Goresan pada kertas dibawahnya menunjukkan transisi dari adanya goresan nyata di kolom bahan sebelah kiri kemudian goresan hilang di kolom bahan sebelah kanan. Kolom tengah (baik untuk BN46, BN64 ataupun BN82) hampir juga tidak memiliki goresan di kertas mengindikasikan sebagai komposisi binder optimal untuk penelitian dengan kadar 7,5%.

#### Hasil Karakterisasi Uji SEM

Gambar mikrograf dari uji SEM untuk komposit BaFe dan NdFeB dengan metode pengikatan binder dari penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bentuk serpih untuk NdFeB dan bulatan-bulatan lonjong kasar untuk BaFe. Sedangkan binder diwakili oleh penampakan celah gelap dalam mikrograf SEM. Hasil uji SEM penelitian ini seperti ditunjukkan gambar 3 berikutnya memberikan bukti keberhasilan pembuatan bahan komposit dengan bahan dasar BaFe dan NdFeB. Walaupun memiliki ukuran butiran bahan yang berbeda dengan riset-riset sebelumnya,

akan tetapi bentuk-bentuk formasi serpih, bulatan kasar dan celah hitam terlihat jelas dalam mikrograf tersebut.

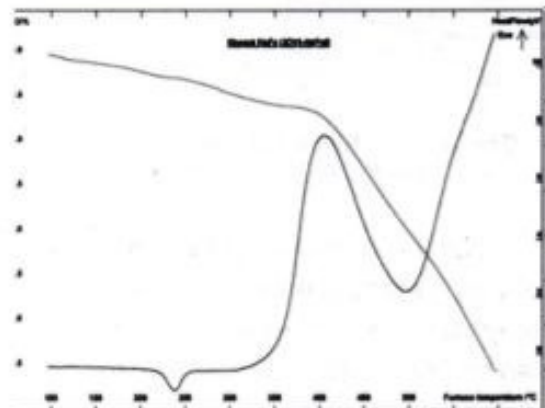


Gbr. 3 Mikrograf dari hasil SEM untuk komposit dengan variasi BN46-7.

Gambar mikrograf sebelah atas dan bawah diambil dari bahan yang sama dengan sifat kemagnetan terbaik yakni BN46-7 (lihat Gbr.3). Serpihan butiran paduan nano NdFeB ditunjukkan dengan jelas pada mikrograf atas berwarna abu terang, sedangkan butiran kristal BaFe dengan formasi lonjong kasar berwarna abu terang juga bisa dilihat pada mikrograf dibawahnya. Ukuran butiran NdFeB dan BaFe diperkirakan sekitar 0,1-2,0 mikron dan 3 mikron secara urut. Sedangkan celah gelap yang mewakili binder PEG 6000 berukuran sekitar 1 mikron. Celah gelap tersebut tersebar di berbagai tempat dalam mikrograf menunjukkan fungsi pengikatan komposit yang baik [11].

### Hasil Karakterisasi Uji DTA/TG

Temperatur Curie yang terkecil dari kedua bahan dasar penyusun komposit BaFe-NdFeB dimiliki oleh bahan baku NdFeB dimana memiliki nilai 310°C.

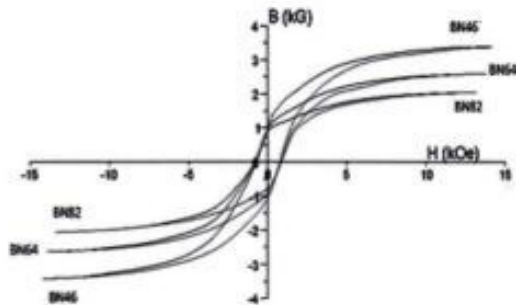


Gbr. 4 Grafik termogravimetrik uji DTA /TG untuk komposit dengan variasi BN46-7.

Efek eksotermik pada suhu 350-500°C dalam gambar 4 menunjukkan degradasi termal atau dekomposisi dari material komposit. Hal ini mengindikasikan melemahnya energi ketahanan binder pengikat dan menguraikan komposit menjadi bahan-bahan sumber komposit. Suhu minimum degradasi termal ini masih diatas temperatur curie NdFeB sehingga memenuhi persyaratan kestabilan suhu produk akhir magnet komposit.

### Hasil Karakterisasi Uji Permagraf

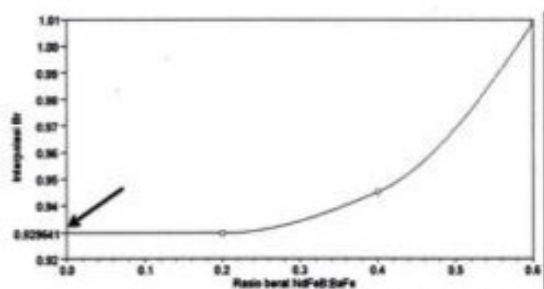
Hasil pengujian sifat kemagnetan komposit dengan uji menggunakan peralatan permagraf menunjukkan kurang berpengaruhnya variasi komposisi terhadap sifat koersifitas produk magnet komposit yang dibuat. Seperti terlihat dalam gambar 5 berikut, ketiga variasi memberikan nilai koersifitas Hc yang sama.



Gbr. 5 Kurva histeresis BH untuk variasi BN46, BN64 dan BN82.

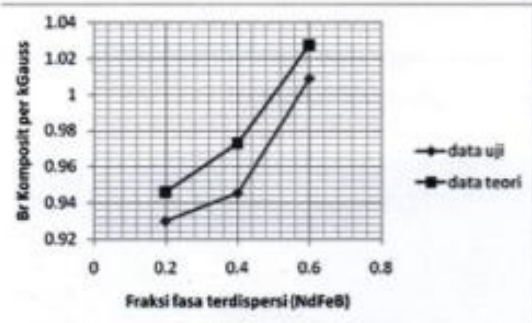
Namun demikian titik magnetisasi saturasi menunjukkan bahwa variasi komposisi mempengaruhi retentivitas magnet (induksi remanen)–nya.

Seperti dibahas sebelumnya penelitian ini juga akan menguji pengaruh komposisi BN46, BN64 dan BN82 dengan formulasi untuk konduktivitas komposit (lihat persamaan 2). Untuk mendapatkan nilai  $Br_{BaFe}$  digunakan teknik ekstrapolasi pada titik variasi BN10.0 (atau komposisi 10:0).



Gbr. 6 Kurva ekstrapolasi untuk  $Br_{BaFe}$

Hasil ekstrapolasi yang ditunjukkan kurva pada gambar 6 dikerjakan dengan bantuan program SCILAB yang memberikan harga prediksi  $Br_{BaFe}$  sekitar 0,93 kGauss. Dengan asumsi nilai  $k=-0,93$  dan mensubstitusi hasil ekstrapolasi  $Br_{BaFe}$ , plot data persamaan 2 untuk ketiga variasi komposisi diberikan dalam gambar berikut.



Gbr. 7 Perbandingan data uji dan teori untuk variasi BN46, BN64 dan BN82.

Walaupun hasil perhitungan dari teori sedikit lebih tinggi dari data uji riil namun tren perubahan induksi remanensi  $Br$  oleh perubahan komposisi variasi BN82, BN64 dan BN46 (fraksi fasa 0,2 0,4 dan 0,6) nampak sama.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Telah berhasil dibuat bahan komposit magnet keramik dari bahan BaFe dan NdFeB (berdasarkan hasil uji SEM) dengan komposisi binder PEG terbaik 7,5% (berdasarkan uji gores) untuk ketahanan ikatan dibawah 350°C (berdasarkan uji DTA/TG). Suhu ketahanan ikatan tersebut masih diatas temperatur Curie bahan NdFeB, yakni 310°C. Komposisi bahan komposit penyusun kurang berpengaruh terhadap sifat koersifitas magnetik kompositnya tetapi lebih mempengaruhi retentivitas magnet (induksi remanen) kompositnya. Tren pengaruh komposisi bahan penyusun terhadap sifat induksi remanen magnetik ( $Br$ ) kompositnya mendekati formulasi konduktivitas komposit dengan konstanta (sifat induksi remanensi) sekitar -0,93.

### Saran

- Pengaruh ukuran butiran pada sifat kemagnetan produk komposit untuk penelitian selanjutnya perlu diperhatikan.
- Pengaruh tekanan kompaksi pada kestabilan binder pengikat bahan komposit juga perlu dikaji lebih lanjut.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih utamanya kepada Bapak M. Ramdhan Kirom, M.Si. selaku Kaprodi Teknik Fisika - Telkom University dan Ibu Dr. Ismudiyati Puri Handayani selaku KK Energi di Program Studi Teknik Fisika - Telkom University, yang telah mengizinkan mahasiswanya terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penelitian ini mulai bulan April hingga Juni 2016.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. M. D. Coey, "Permanent magnet applications," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 248, no. 3, pp. 441–456, (2002).
- [2] Setiawan B., Pardiarto B., dan Sunuhadi.D.N., "Mineral and Energy," *ESDM*, vol. 2, pp. 45–50, 2004.
- [3] Priyo S., "Inovasi Teknologi Pembuatan Magnet Permanen untuk Membangun Industri Magnet Nasional," *Pros. InsiNas*, (2012).
- [4] M. J. Molaei, A. Ataie, S. Raygan, M. R. Rahimpour, S. J. Picken, F. D. Tichelaar, E. Legarra, and F. Plazaola, "Magnetic property enhancement and characterization of nano-structured barium ferrite by mechano-thermal treatment," *Mater. Charact.*, vol. 63, pp. 83–89, (2012).
- [5] H. Wuest, L. Bommer, T. Weissgaerber, and B. Kieback, "Magnetic and structural properties of spark plasma sintered nanocrystalline NdFeB-powders," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 392, pp. 74–78, (2015).
- [6] M. D. Banea and L. F. M. da Silva, "Adhesively bonded joints in composite materials: an overview," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials Design and Applications*, 2009, vol. 223, no. 1, pp. 1–18.
- [7] L. Su, P. Liu, Y. He, J. Zhou, L. Cao, C. Liu, and H. Zhang, "Electrical and magnetic properties of low-temperature sintered  $x\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3+(1-x)\text{Ni}_{0.2}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.62}\text{O}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.98}$  composite ceramics," *J. Alloys Compd.*, vol. 494, no. 1–2, pp. 330–335, (2010).
- [8] M. D. . D. S. Banea L.F.M., "Adhesively bonded joints in composite materials: an overview," *J. Mater. Des. Appl.*, vol. 223, no. 1, pp. 1–18, (2009).
- [9] A. S. Teja and P. Y. Koh, "Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles," *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, vol. 55, no. 1–2, pp. 22–45, (2009).
- [10] L. H. Van Vlack, *Elements of materials science and engineering*, vol. 156, no. 1–3. (1989).
- [11] Aleksander P. Stajcic, Jasna T. Stajic-Trosic, Aleksander S. Grujic, Mirko Z. Stijepovic, Nada L. Lazic, Tomas Zak, Radoslav R. Aleksic, "Hybrid Nd-Fe-B/barium ferrite magnetic materials with epoxy matrix", *Hem. Ind.* 66 (3) 301–308 (2012)