

Karakterisasi Sifat Mekanik dan Magnetik Pada Magnet Hybrid BaFe/Ndfeb dengan Matriks Polivinil Alkohol dan Karboksimetil Selulosa

Characterization Of Mechanical And Magnetic Properties On Hybrid Magnet BaFe/Ndfeb with Polyvinyl Alcohol And Carboxymethyl Selulose Matrix

Tita Oktavia Cahya Rahayu¹, Ismudiati Puri Handayani², Handoko Setyo Kuncoro³

^{1,2} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, ³Balai Besar Keramik, Jl. Jendral Ahmad Yani 392 Bandung

titaoktaviacr@gmail.com, dekpuri@gmail.com, kuncoro.hs@gmail.com

ABSTRAK

Bahan baku pembuatan magnet permanen Barium ferit (BaFe) sangat berlimpah di Indonesia, namun nilai remanensinya hanya sepertiga dari NdFeB. Pada penelitian ini, BaFe dipadukan dengan NdFeB (*hybrid*) menggunakan matrix PVA dan CMC sebagai pengikatnya (*binder*) untuk mendapatkan sifat mekanik dan magnetik yang lebih unggul dari pada BaFe murni. Pada penelitian ini, komposisi BaFe/NdFeB serta konsentrasi matrix PVA dan CMC divariasikan untuk mengetahui tren sifat mekanik dan magnetik yang dihasilkan. Komposisi BaFe/NdFeB divariasikan pada 7:3, 5:5 dan 3:7 dari massa total 2,5 gram. Selain itu, matrix PVA dan CMC masing-masing divariasikan pada konsentrasi 0,1 wt%, 1 wt%, dan 2 wt%. Keseluruhan variasi sampel tersebut dianalisis sifat mekaniknya yang meliputi citra sebaran partikel, densitas, dan nilai kuat tekan (*compressive strength*), serta sifat magnetiknya untuk mengetahui nilai parameter magnetik yang meliputi remanensi (*Br*), koersifitas (*Hc*) dan produk energi maksimum (*BHmax*) yang dihasilkan. Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini, penambahan komposisi NdFeB menyebabkan kenaikan nilai densitas dengan densitas tertinggi sebesar 5.1 g/cm³ dan kenaikan remanensi magnetik dengan kenaikan rata-rata sebesar 1 kG untuk setiap penambahan wt% serta peningkatan nilai kuat tekan *compressive strength*. Penambahan konsentrasi matrix baik PVA maupun CMC menyebabkan penurunan densitas dan remanensi magnetik. Namun, *compressive strength* yang dihasilkan berbanding lurus terhadap konsentrasi matrix yang ditambahkan

Kata kunci: *hybrid* BaFe/NdFeB, matrix PVA, CMC, variasi komposisi, sifat mekanik, sifat magnetik

Abstract

The raw material for permanent magnets barium ferrite (BaFe) is very abundant in Indonesia. In this study, BaFe was combined with NdFeB (hybrid) using PVA and CMC matrices as bonded to obtain better mechanical and magnetic properties than pure BaFe. In this study, the composition of BaFe / NdFeB and the concentration of PVA and CMC matrices were varied to study the trends of the hybrid mechanical and magnetic properties. The variation of BaFe / NdFeB composition were 7: 3, 5: 5, and 3: 7 with total mass of 2,5 grams. In addition, each PVA or CMC matrix was varied at a concentration of 0,1 wt%, 1 wt%, and 2 wt%. The mechanical properties characterization includes particle distribution image, density calculation, and compressive strength measurement. The magnetic properties are studied by measuring the remanence (Br), coercivity (Hc) and maximum energy product (BHmax). The results showed that the addition of NdFeB increase the density with highest density of 5,1 g/cm³, the magnetic remanence also increase with the average increase of 1 kG for each addition of wt% and also increase the compressive strength of BaFe/NdFeB hybrid sample. The addition of matrix concentration, for both PVA and CMC, decreases the sample density and magnetic remanence. However, the compressive strength were observed directly proportional to the addition of matrices concentration.

Keywords: hybrid BaFe/NdFeB, PVA, CMC, matrix, composition of variation, mechanical properties, magnetic properties

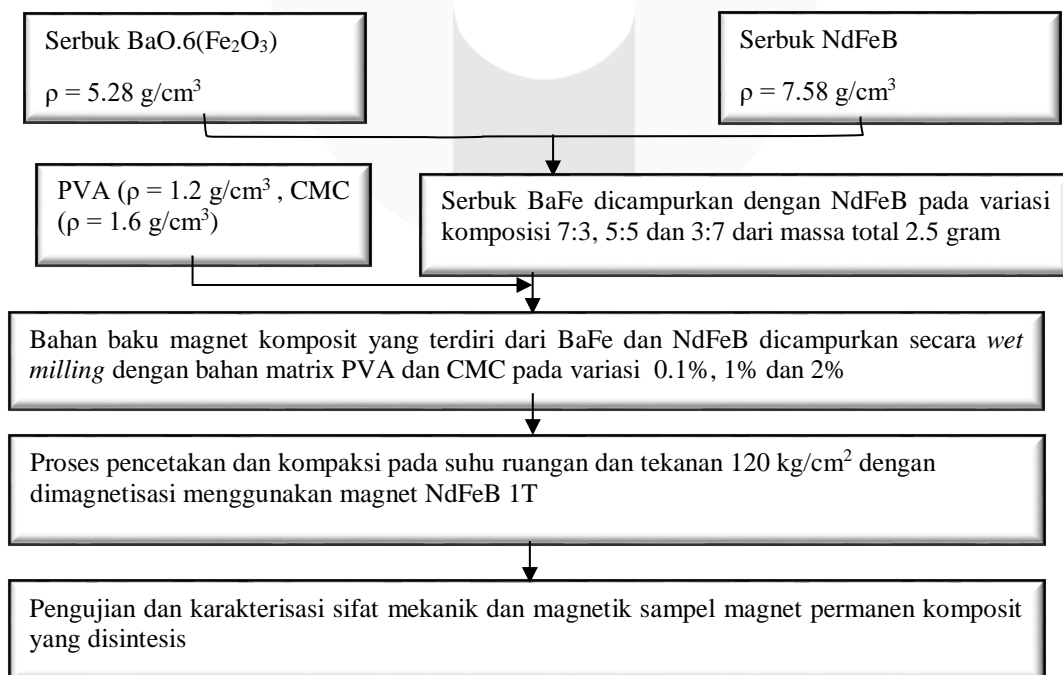
1. Pendahuluan

Tingginya penggunaan magnet permanen di Indonesia khususnya di bidang industri elektronik dan otomotif menyebabkan Indonesia menjadi pasar magnet permanen ke-2 terbesar di dunia. Adapun untuk memenuhi kebutuhan tersebut, 100% magnet permanen yang ada di pasaran diimpor dari Jepang dan Tiongkok. Padahal, Indonesia potensial untuk memproduksi sendiri tanpa harus impor, karena ketersediaan bahan baku untuk magnet permanen sangat berlimpah di dalam negeri, khususnya pasir besi [2]. Untuk itu maka dilakukan penelitian tentang pembuatan magnet permanen barium ferit.

Pasir besi merupakan bahan utama dalam pembuatan magnet permanen berbasis ferit. Jenis magnet ferit yang umum digunakan adalah barium ferit (BaFe) karena memiliki sifat mekanik yang kuat dan tidak mudah terkorosi [14]. Namun, magnet jenis ferit memiliki kelemahan, yaitu sifat magnetik yang rendah. Remanensi (B_r) dari magnet tersebut hanya 1/3 dari magnet tanah jarang (NdFeB) [8]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan penggabungan (*hybrid*) antara barium ferit dan NdFeB untuk meningkatkan kekuatan magnet barium ferit, sedangkan untuk menyederhanakan proses pembuatan agar lebih mudah maka metode yang digunakan yaitu *bonded* magnet dengan penambahan matrix / pengikat. Pada penelitian ini, matrix yang digunakan yaitu polivinil alkohol (PVA) dan karboksimetil selulosa (CMC) karena kedua binder tersebut tidak memerlukan suhu pemanasan tinggi selama proses pencampuran. Adapun suhu rata-rata untuk melarutkan kedua matrix tersebut kurang dari 25 °C. Disamping itu, kedua matrix tersebut memiliki durabilitas cukup baik dan resitansi terhadap bahan kimia [6].

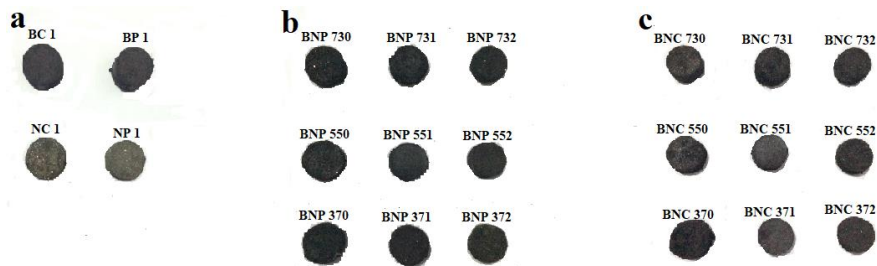
Dalam penelitian ini, BaFe dan NdFeB divariasikan pada komposisi tertentu, demikian pula dengan matrixnya, sehingga didapatkan tren dari sifat mekanik dan magnetik bahan magnet komposit *hybrid* yang diteliti. Adapun pengujian sifat mekanik magnet *bonded* BaFe dan NdFeB serta *hybrid* BaFe/NdFeB dengan matrix PVA dan CMC meliputi pengamatan citra sebaran partikel, pengukuran densitas, dan *compressive strength*. Sedangkan pengujian magnetik dilakukan menggunakan permagraf untuk mengetahui nilai parameter-parameter magnetiknya yang meliputi remanensi (B_r), koersifitas (H_c) dan produk energi maksimum (BH_{max}). Selanjutnya akan dipelajari dan dianalisis tren sifat mekanik dan magnetik yang dihasilkan sebagai fungsi dari variasi komposisi BaFe/NdFeB dan konsentrasi matrixnya.

2. Prosedur Pembuatan



Gambar 2.1. diagram alir pembuatan dan pengujian magnet *hybrid* BaFe/NdFeB

Proses pembuatan bahan magnet *bonded* pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode metalurgi serbuk dengan tahapan persiapan bahan, pencampuran dan kompaksi. Tahap pertama proses pembuatan komposit dilakukan dengan cara menghaluskan BaFe sampai dengan ukuran 63 μm dan NdFeB pada ukuran 44 μm menggunakan *planetary ball mill*. Setelah diperoleh serbuk bahan magnet dengan ukuran yang diinginkan, selanjutnya dilakukan pencampuran antara BaFe, NdFeB dan binder Polivinil Alkohol (PVA) serta karboksimetil Selusosa (CMC) dengan variasi komposisi seperti pada Tabel 2.1. Variasi sampel pada tabel tersebut dicampurkan dengan metode *wet mixing* menggunakan aquades. Campuran sampel yang telah mengering kemudian sampel dikompaksi (*dry pressing*) pada tekanan 120 kg/cm^2 menggunakan mesin kompaksi selenoida digital dan dimagnetisasi menggunakan magnet permanen NdFeB dengan *flux density* 1 Tesla untuk menyearahkan orientasi spin. Setelah itu, sampel yang telah dikompaksi didiamkan selama 24 jam untuk proses pematangan struktur ikatan (*age hardening*) hingga didapatkan sampel yang keras dan kuat seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.2. (a) Sampel *bonded* BaFe dan NdFeB, (b) *hybrid* BaFe/NdFeB menggunakan matrix PVA dan (c) *hybrid* BaFe/NdFeB menggunakan matrix CMC

Gambar 4.2 menunjukkan variasi sampel yang telah dikompaksi. Gambar (a) merupakan sampel magnet *bonded* BaFe dan NdFeB menggunakan matrix PVA dan CMC. Sampel *bonded* BaFe dengan matrix CMC dan PVA berturut-turut diberi label BC1 dan BP 1 terlihat berwarna kehitaman, sama dengan warna serbuknya. Sedangkan *bonded* NdFeB dengan matrix CMC dan PVA yang secara berturut-turut berlabel NC1 dan NP1 berwarna abu terang. Gambar selanjutnya yaitu gambar (b) merupakan variasi sampel magnet *hybrid* BaFe/NdFeB menggunakan matrix PVA. Sedangkan gambar (c) merupakan variasi sampel *hybrid* BaFe/NdFeB menggunakan matrix CMC sebagai pengikatnya. Angka pada kode tersebut menunjukkan komposisi bahan penyusunnya yang terdiri dari BaFe, NdFeB dan matrixnya. Adapun variasi komposisi bahan terdapat pada gambar berikut.

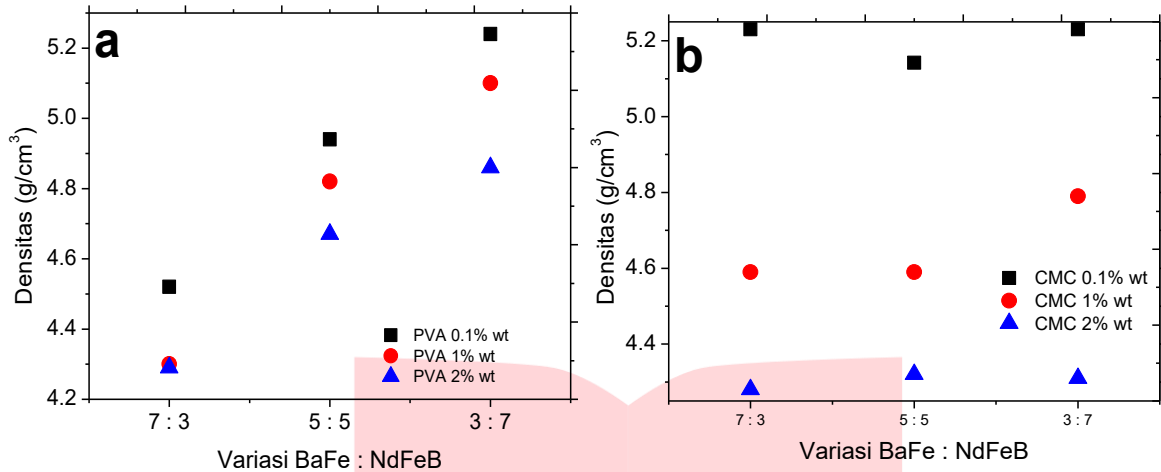
Tabel 2.1. Variasi komposisi magnet *bonded hybrid*

10	Variasi Komposisi	Variasi Matrix PVA		Variasi Matrix CMC	
	BaFe : NdFeB	%wt. Binder	Kode Komposisi	% Binder	Kode Komposisi
1	7 : 3	0.1%	BNP 730	0.1%	BNC 730
2	7 : 3	1%	BNP 731	1%	BNC 731
3	7 : 3	2%	BNP 732	2%	BNC 732
4	5 : 5	0.1%	BNP 550	0.1%	BNC 550
5	5 : 5	1%	BNP 551	1%	BNC 551
6	5 : 5	2%	BNP 552	2%	BNC 552
7	3 : 7	0.1%	BNP 370	0.1%	BNC 370
8	3 : 7	1%	BNP 371	1%	BNC 371
9	3 : 7	2%	BNP 372	2%	BNC 372

Selanjutnya, sampel yang telah dikompaksi dan terbentuk seperti pada Gambar 2.2 diuji sifat mekanik dan magnetiknya untuk mengetahui tren pengaruh variasi komposisi BaFe/NdFeB dan konsentrasi matrix terhadap sifat mekanik dan magnetik yang dihasilkan.

3. Pembahasan

Keseluruhan sampel pada Tabel 2.1 diukur densitasnya untuk mengetahui tren densitas yang dihasilkan dari *hybrid* BaFe/NdFeB sebagai fungsi dari variasi komposisi NdFeB dan konsentrasi matrixnya. Adapun hasil pengukuran densitas tersebut sebagai berikut.

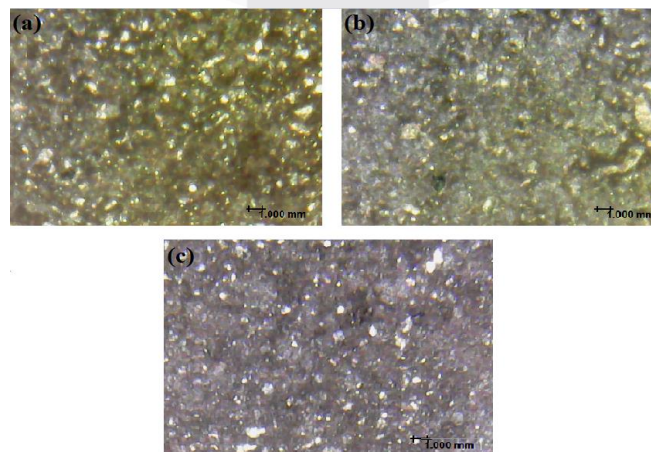


Gambar 2.3. Grafik pengaruh konsentrasi NdFeB dan matrix terhadap densitas (a) menggunakan matrix PVA, (b) matrix CMC

Berdasarkan Gambar 2.3, tren kenaikan densitas yang dihasilkan oleh variasi sampel menggunakan matrix PVA lebih stabil dibandingkan menggunakan matrix CMC yang fluktuatif. Hal tersebut berkaitan dengan sifat intrinsik matrix CMC yang lebih mudah beraglomerasi sehingga kurang mampu mengikat bahan magnet dengan sempurna. Hasil pengukuran densitas ini digunakan sebagai acuan untuk memilih matrix yang tepat sebagai pengikat sampel *hybrid* BaFe/NdFeB dengan variasi komposisi NdFeB yang dibahas pada sub-bab selanjutnya.

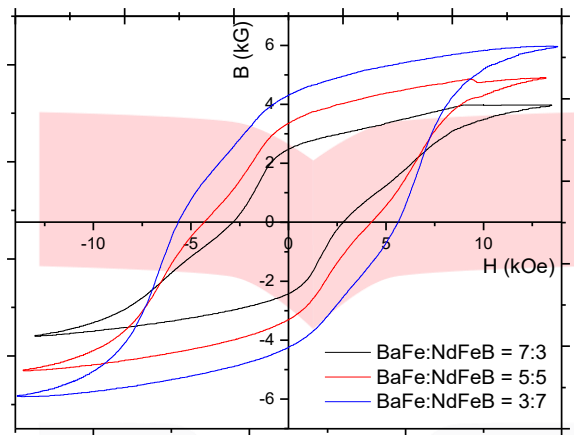
3.1. Hasil Pengujian Sifat Mekanik dan Magnetik Sampel Variasi Komposisi BaFe : NdFeB Menggunakan 1%wt. PVA

Komposisi NdFeB pada magnet *bondd hybrid* divariasikan dan diuji sifat mekanik dan magnetiknya. Sampel yang diuji yaitu variasi sampel dengan komposisi BaFe : NdFeB 7 : 3, 5:5 dan 3 : 7 menggunakan 1%wt. matrix PVA yang secara berturut-turut diberikan kode BNP 731, BNP 551 dan BNP 371. Pemilihan matrix PVA pada sub-bab ini dikarenakan hasil pengukuran densitas pada sub-bab sebelumnya yang menunjukkan tren kenaikan densitas variasi sampel dengan menggunakan matrix PVA lebih stabil dibandingkan matrix CMC yang fluktuatif. Sehingga dapat dianalisis tren pengaruh variasi komposisi NdFeB terhadap *hybrid* BaFe/NdFeB tanpa ada pengaruh anomali dari matrix. adapun Uji mekanik yang pertama dilakukan pada sampel tersebut yaitu pengamatan citra sebaran partikel seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3.1. Hasil pengamatan citra sebaran partikel variasi BaFe : NdFeB (a) 7 : 3 (b) 5 : 5 dan (c) 3 : 7 menggunakan matrix PVA

Pada Gambar 3.1, partikel matrix yang berwarna putih terlihat tersebar merata ke seluruh permukaan sampel dan tidak tampak adanya aglomerasi matrix. Selanjutnya hasil pengukuran dimensi dan densitas variasi sampel menunjukkan penambahan komposisi NdFeB pada sampel berbanding lurus terhadap densitas yang dihasilkan, dengan densitas BNP 731, BNP 551 dan BNP 371 berturut-turut sebesar 4.2, 4.82 dan 5.1 g/cm³. hal ini dikarenakan NdFeB memiliki densitas yang tinggi, yaitu 7.58 g/cm³, sedangkan BaFe 5.28 g/cm³, sehingga penambahan NdFeB akan meningkatkan densitasnya. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh nilai *compressive strength* ketiga sampel. *Compressive strength* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan NdFeB berturut-turut sebesar 7, 8 dan 10 kg/cm². Disamping itu, sifat magnetik yang dihasilkan juga mengalami peningkatan seperti pada gambar berikut.

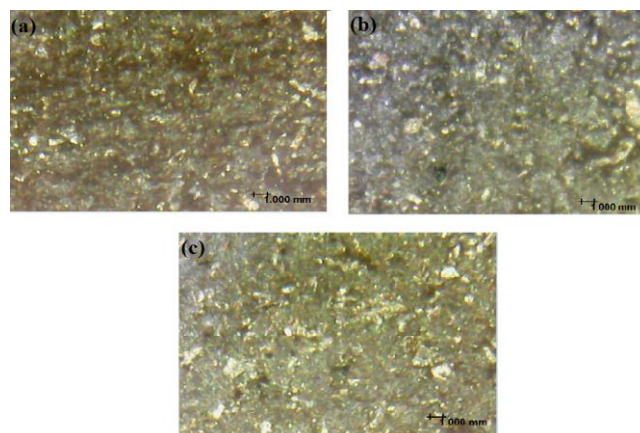


Gambar 3.2. Kurva histeresis variasi komposisi BaFe dan NdFeB menggunakan matrix PVA 1% wt

Pada kurva tersebut terlihat bahwa variasi komposisi NdFeB yang ditambahkan berbanding lurus terhadap sifat magnetik yang dihasilkan. sampel BNP 731, BNP 551 dan BNP 371 memiliki remanensi magnetik (B_r) berturut-turut sebesar 2.47, 3.35 dan 4.30 kG. Demikian pula dengan sifat magnetik lainnya seperti koersifitas (H_c) dan produk energi maksimum (BH_{max}).

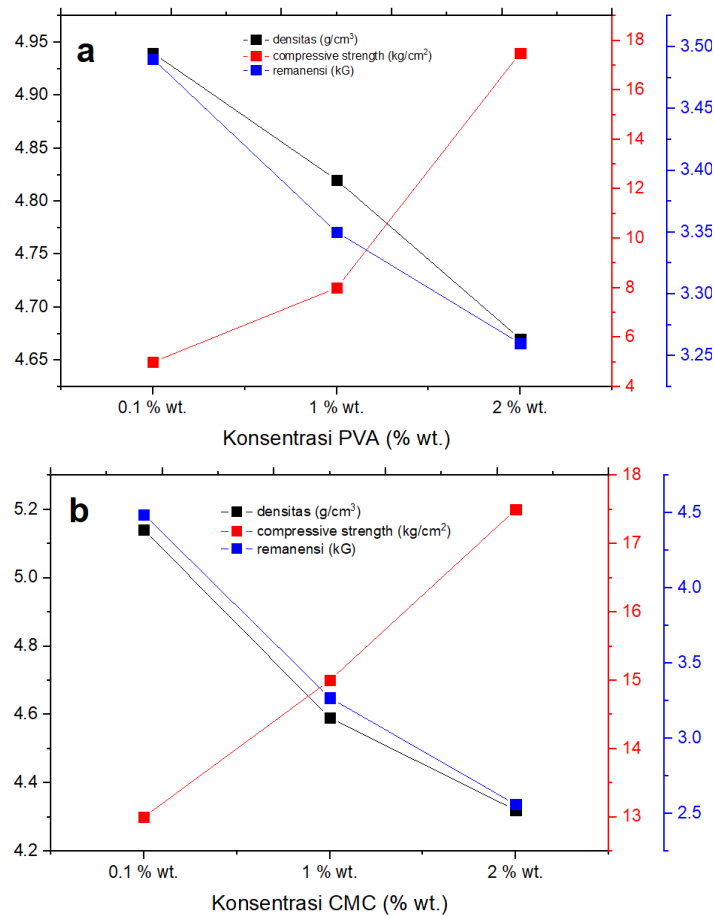
3.2. Hasil Pengujian Sifat Mekanik dan Magnetik Sampel Bonded Hybrid BaFe/NdFeB Menggunakan Variasi %wt. PVA dan CMC

Variasi konsentrasi (%wt.) PVA dan CMC yang ditambahkan berpengaruh terhadap sifat mekanik dan magnetik yang dihasilkan. dengan komposisi BaFe/NdFeB yang sama yaitu 5:5 disetiap variasinya, hasil citra sebaran partikel menunjukkan hasil yang berbeda untuk masing-masing konsentrasi PVA dan CMC seperti pada gambar berikut.



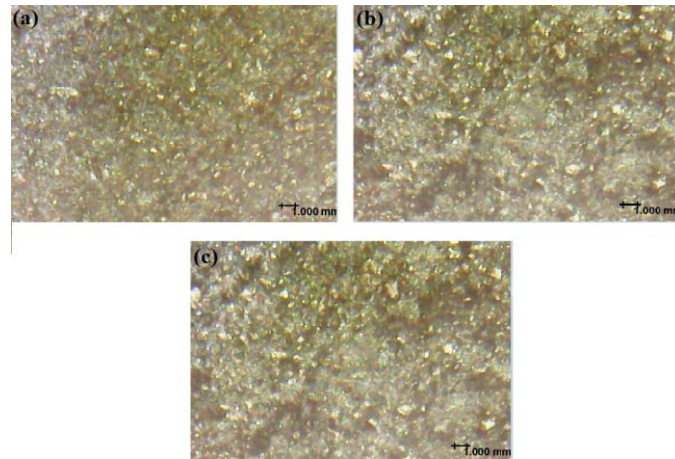
Gambar 3.3. Hasil pengamatan citra sebaran partikel sampel *hybrid* BaFe/NdFeB dengan variasi konsentrasi matrix PVA (a) 0.1% (b) 1% dan (c) 2%

Citra sebaran partikel *hybrid* BaFe/NdFeB dengan variasi konsentrasi PVA pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda antara satu dengan yang lain. Matrix PVA terlihat tersebar merata ke seluruh permukaan sampel, meskipun pada konsentrasi matrix yang lebih besar ditemukan lebih banyak pori/rongga. Gambar tersebut terlihat bahwa fungsi PVA sebagai pengikat menunjukkan hasil yang baik karena tidak beraglomerasi. Adapun densitas yang ditunjukkan juga menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Variasi sampel dengan konsentrasi PVA 0.1% wt., 1% wt., dan 2% wt. berturut-turut menunjukkan nilai densitas 4.94, 4.82, dan 4.67 g/cm³ dan remanensi magnetik sebesar 3.49, 3.35 dan 3.26 kG. Namun, tren yang berlawanan ditunjukkan oleh *compressive strength*nya. *compressive strength* justru mengalami kenaikan seiring dengan penambahan konsentrasi PVA dengan hasil 5, 8, dan 17.5 kg/cm² seperti pada gambar 4.7 (a).



Gambar 4.7. Grafik pengaruh variasi konsentrasi matrix (a) PVA dan (b) CMC terhadap tren sifat mekanik dan magnetik magnet *hybrid* BaFe/NdFeB

Tren sifat mekanik dan magnetik yang sama juga ditunjukkan oleh sampel magnet *hybrid* BaFe/NdFeB menggunakan variasi konsentrasi CMC. Namun, variasi konsentrasi (% wt. CMC) berdampak signifikan terhadap penurunan densitas dan remanensi yang dihasilkan karena matrix tersebut beraglomerasi dan memiliki pori yang semakin banyak seiring dengan penambahan konsentrasi CMC yang ditunjukkan oleh citra sebaran partikel berikut.



Gambar 4.8. hasil pengamatan citra sebaran partikel sampel *hybrid* BaFe/NdFeB dengan variasi konsentrasi matrix CMC (a) 0.1% (b) 1% dan (c) 2%

Pada Gambar 4.9, terlihat bahwa pori atau rongga yang ditunjukkan oleh warna hitam semakin membesar dan lebih banyak seiring dengan penambahan %wt. matrix CMC. Oleh karena itu, tren densitas dan remanensi magnetik yang dihasilkan juga berkurang secara signifikan. Adapun densitas sampel *hybrid* BaFe/NdFeB dengan konsentrasi CMC 0.1 %wt., 1 %wt. dan 2 %wt. secara berturut-turut adalah 5.14, 4.59 dan 4.32 g/cm³, sedangkan remanensi ketiga sampel tersebut sebesar 4.49, 3.27 dan 2.56 kG.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa citra sebaran partikel mempengaruhi densitas yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengamatan citra sebaran partikel, matrix PVA memiliki kemampuan untuk mengikat bahan magnet dengan baik yang ditunjukkan oleh partikel PVA yang tersebar merata sehingga ten sifat mekanik dan magnetik cenderung lebih stabil, sedangkan citra sebaran partikel, matrix CMC beraglomerasi sehingga secara tren densitas yang dihasilkan lebih fluktuatif. Penambahan komposisi NdFeB pada sampel komposit *hybrid* BaFe/NdFeB menyebabkan kenaikan densitas, *compressive strength*, dan sifat magnetik sampel tanpa terpengaruh matrix PVA dan CMC. Sedangkan penambahan konsentrasi (%wt.) matrix baik PVA maupun CMC pada sampel komposit *hybrid* menyebabkan penurunan densitas dan sifat magnetik, namun *compressive strength* yang dihasilkan berbanding lurus terhadap konsentrasi matrix.

Daftar Pustaka

- [1] Deswita, Sudirman, Gunawan, Indra. 2013. Pembuatan dan Karakterisasi *Bonded* Magnet Komposit Berbasis Polimer, Vol 9 (1). 2013, :5-8. Tangerang : Banten.
- [2] Kuncoro, Handoko S., dkk. 2016. Pengaruh Komposisi Bahan Barium Ferit dan NdFeB pada Sifat Kemagnetan Komposit BaFe/NdFeB. Bandung: Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia.
- [3] Sudrajat, Nanang. 2012. Pembuatan Magnet Barium Ferit Nano Partikel Bonded Hybrid untuk Aplikasi Generator. Laporan Tematis Teknik : LIPI.
- [4] Priyono. 2014. Efek Aditif Al₂O₃ Terhadap Struktur dan Sifat Fisis Magnet Permanen BaO6(Fe₂O₃). Semarang : UNDIP.
- [5] Callister, William D., Rethwisch, Davig G., 2010. Materials Science and Engineering : An Introduction 8th Edition. Wiley Asia Student Edition, John Wiley & Sons, Inc., Salt Lake City, Utah, USA.
- [6] Nuraini, Siti. 2014. Pembuatan *Bonded* Anisotropi Magnet NdFeB dan Karakterisasinya. Sumatra:Repository USU

- [7] Valko, Ladislav. 2003. Magnetic Properties of Ferrite–Polymer Composites. *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 54 (3-4). 2003, 100-1003.
- [8] Vlack, Lawrence H.Van. 1992. *Elements of Material Science and Engineering*. 5th Edition. Jakarta : Erlangga
- [9] Schramberg. *Hard Ferrite Magnets Barium Ferrite Isotropic Dry Pressed*. MS-Schamberg GmbH & Co.KG
- [10] Moulson, A.J. and Herbert, J.M. 2013. *Electroceramics Materials, Properties and Applications* 2nd Edition. John Wiley& Sons Ltd, The Atrium, SouthernGate, Chichester, West Sussex, England..
- [11] Neorem. *Characteristic Physical Properties of Sintered NdFeB Magnet Material*. Neorem Magnet Datasheet.
- [12] Manaf, Azwar.2000. *Magnet Permanen Berbasis NdFeB*. Prosiding Seminar Bahan Magnet I. Jakarta.
- [13] Marlina, Hilda Ayu, dkk. (2015). *Pembuatan Magnet Bonded Permanen PrFeB dengan Binder Polyester dan Silikon Rubber*. USU: Repository USU.
- [14] Jafirin, Serawati. 2014. *Carboxymethyl Cellulose from Kenaf Reinforced Composite Polymer Electrolytes based 49% Poly(Methyl Methacrylate)-Grafted Natural Rubber*. *The Malaysian Journal of Analytical Science*, Vol 18 (2). 2014, 376-384.
- [15] Godovsky, Dimitri. 2016. *Magnetic Properties of Polivinil Alcohol-based Composites Containing Iron Oxide Nanoparticles*. Researchgate
- [16] Rakhmatullah, Rhama. 2015. *Pembuatan Karboksimetil Selulosa dari Selulosa Mikrobial (Nata de Cassava)*. Bogor: IPB
- [17] Surdia, Tata. Saito, Shinroku. 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : P.T.. Dainippon Gitakarya Printing.
- [18] Hadi, Syamsul. 2016. *Teknologi Bahan*. Yogyakarta: Andi, Anggota IKAPI.
- [19] Martinez, Juan Fransisco. 2012. *Synthesis and Characterization of a Magnetic Hybrid Material Consisting of Iron Oxide in a Carboxymethyl Cellulose Matrix*. *Journal of Applied Polymer Science*.
- [20] *Permanent Magnet Catalog*. Copyright 1998-20001. Dexter Magnetic Technologies
- [21] Habibi, Taufiq. 2006. *Pembuatan Magnet Komposit Berbasis Karet alam dn serbuk Magnetik Barium Ferrite*. Semarang:UNNES