

SIFAT MEKANIK, STRUKTURMIKRO DAN SIFAT MAGNETIK MAGNET KOMPOSIT $\text{SrO.6Fe}_2\text{O}_3$ (SrM)-POLIMER TERMOPLASTIK DAN TERMOSET

Grace Tj. Sulungbudi, Aloma Karo Karo, Mujamilah dan Sudirman

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15413

ABSTRAK

SIFAT MEKANIK, STRUKTURMIKRO DAN SIFAT MAGNETIK MAGNET KOMPOSIT $\text{SrO.6Fe}_2\text{O}_3$ (SrM)-POLIMER TERMOPLASTIK DAN TERMOSET. Penggunaan magnet dalam aplikasi di industri tidak selalu mensyaratkan adanya sifat magnetik yang tinggi. Oleh sebab itu, pemakaian polimer sebagai matriks yang berfungsi sebagai *binder* (perekat) dapat diterapkan sehingga akan diperoleh magnet komposit yang ringan, fleksibel dan murah. Pada penulisan ini dibahas magnet komposit heksaferit $\text{SrO.6Fe}_2\text{O}_3$ (SrM) dengan polimer termoplastik tipe polipropilen (PP) terdiri dari PP2 dan PP10 maupun tipe polietilen (PE) jenis LDPE, serta polimer termoset berbentuk epoksi dan poliester. Sintesis magnet komposit berbasis polimer termoplastik (PP2, PP10, LDPE) menggunakan metode *blending* sedangkan dengan polimer termoset menggunakan metode *casting*. Magnet komposit dengan polimer termoplastik dicampur dengan komposisi 50 %berat, 41 %berat, 38 %berat, 33 %berat dan 29 %berat SrM dengan suhu *blending* 160 °C untuk LDPE dan 180 °C untuk PP2 dan PP10. Untuk magnet komposit termoset dicampur dengan komposisi 30 %berat, 40 %berat, 50 %berat dan 60 %berat SrM. Kemudian dilakukan pengujian yang meliputi : kekuatan tarik (*tensile strength*) dan perpanjangan putus. Struktur mikro pada permukaan bahan komposit diamati dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan sifat kemagnetannya diukur dengan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*. Pengamatan struktur mikro dengan *SEM* menunjukkan terbentuknya partikel serbuk SrM dengan bentuk pipih berukuran 1,6 μm . Secara umum sifat mekanik magnet komposit untuk polimer polipropilen lebih baik dibandingkan magnet komposit yang menggunakan *binder* polietilen (LDPE). Untuk *binder* polipropilen PP10 lebih baik dibandingkan PP2. Sifat magnetik dari magnet komposit berbasis heksaferit mempunyai nilai yang hampir sama baik dengan *binder* polipropilen maupun polietilen.

Kata kunci : Magnet komposit, Heksaferit $\text{SrO.6Fe}_2\text{O}_3$, Polipropilen, Polietilen, Epoksi, Poliester

ABSTRACT

MECHANICAL PROPERTIES, MICROSTRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF COMPOSITE MAGNET BASE ON $\text{SrO.6Fe}_2\text{O}_3$ (SRM)-THERMOPLASTIC AND THERMOSET POLYMER. The use of magnets in industrial applications do not always require high magnetic properties. Therefore, the use of polymer as a matrix that serves as a binder can be applied to obtain lightweight, flexible and cheap composite magnet. This report discuss composite magnet base on $\text{SrO.6Fe}_2\text{O}_3$ (SRM)-thermoplastic and thermoset polymer. Thermoplastic polymer consist of polypropylene (PP) type of PP2 and PP10 and polyethylene (PE) type of LDPE were used. For thermoset polymer, epoxy and polyester were used. Synthesis of composite magnet based on thermoplastic polymer (PP2, PP10, LDPE) were carried using the blending method, while the thermoset composites magnet using casting method. Thermoplastic composite magnets were prepared with compositions of 50, 41, 38, 33 and 29 %weight of SRM with the blending temperature of 160 °C for LDPE and 180 °C for PP2 and PP10. For thermoset composite magnets, the compositions were 30, 40, 50 and 60% by weight of SRM. The mechanical test conducted include tensile strength and elongation at break. Microstructure on the surface of the composite materials were observed using SEM (Scanning Electron Microscope) and the magnetic properties were measured using VSM (Vibrating Sample Magnetometer). The SEM results showed the formation of flat shape powder particle with size of 1.6 μm . In general, the mechanical properties of polypropylene polymer composite magnet are better than that using polyethylene (LDPE) binder. For polypropylene binder PP10 is better than PP2. Magnetic properties are not significantly affected by the change of polymer or binder types.

Key words : Composite magnet, Hexaferrite $\text{SrO 6 Fe}_2\text{O}_3$, Polypropylene, Polyethylene, Epoxy, Polyester

PENDAHULUAN

Bahan magnet konvensional yang sudah banyak digunakan pada umumnya bahan baku seluruhnya terbuat dari bahan logam, dengan metode *casting* dan *sintering* maka diperoleh bahan magnet yang dimaksud. Oleh sebab itu bahan magnet tersebut memiliki kelebihan pada sifat magnetnya tetapi beberapa kekurangan juga didapati seperti : berat, *rigid*, rapuh dan harganya cukup mahal [1]. Kebanyakan polimer mempunyai sifat relatif ringan dan murah dibandingkan dengan bahan logam, disamping itu polimer dapat berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan komposit magnet [2,3].

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa dalam industri mainan anak, nilai total penjualan produk magnet lokal sebesar Rp. 24.376.000,-. Sedangkan penjualan produk magnet untuk industri alat listrik rumah tangga, diperoleh sebesar Rp. 1.078.285.000,-[4]. Sementara itu perkembangan produksi komposit magnet berbasis heksaferit lebih baik dibandingkan dengan komposit magnet lain. Berdasarkan data [1], nilai penjualan komposit magnet ferit di Cina lebih tinggi dari pada komposit magnet NdFeB, yaitu 52 juta USD untuk komposit magnet ferit dan 13,5 juta USD untuk komposit magnet NdFeB, pada tahun 1998. Harga rata-rata penjualan di Cina untuk komposit magnet ferit sebesar 6,5 \$/kg, lebih tinggi dari *sintered ferrite* yang hanya sebesar 2,4 \$/kg, sehingga pembuatan komposit magnet ferit memiliki nilai tambah yang lebih tinggi dibandingkan dengan *sintered ferrite*. Data Biro Pusat Statistik (BPS) [4], menunjukkan data pemakaian magnet di berbagai industri, namun tidak memberikan spesifikasi magnet yang lengkap. Walaupun demikian dapat diperoleh informasi bahwa konsumsi magnet untuk industri mainan dan rumah tangga cukup tinggi, memberikan harapan yang baik pada produksi komposit magnet.

Berkembangnya industri mainan dan makin tingginya pemakaian alat listrik rumah tangga memberikan peluang yang baik pada pengembangan dan produksi komposit magnet. Dalam aplikasi di industri tersebut sifat magnetik dari komposit magnet tidak perlu tinggi. Oleh sebab itu, pemakaian polimer sebagai matriks yang berfungsi sebagai *bonded* (pengikat) dapat diterapkan sehingga akan diperoleh komposit magnet yang ringan, fleksibel dan murah. Pembuatan komposit magnet merupakan jalan keluar yang sangat baik dan banyak dikembangkan dewasa ini. Dalam pemakaiannya, magnet komposit berbasis heksaferit telah banyak digunakan seperti *speaker* pada bidang Audio, *VTR capstan motor*, *wiper motor*, *power window motor*, *fuel pump motor*, *compresor motor*, *blower motor*, *starter motor*, *power steering motor* dan *ABS motor* pada bidang Otomotif [5].

Di samping itu bahan utama dari heksaferit berupa Fe_2O_3 merupakan hasil samping (limbah) dari proses

industri baja di Indonesia selanjutnya melalui proses diperoleh $SrO.6Fe_2O_3$ (SrM). Sedangkan polimer sintetik berupa termoplastik yang berasal dari minyak bumi telah banyak diproduksi di Indonesia dengan berbagai jenis, seperti polietilena, polipropilena, polistirena dan polimer lainnya. Oleh sebab itu pembuatan magnet komposit berbasis heksaferit dengan berbagai polimer sebagai *binder* perlu dilakukan mengingat kompatibilitas antara serbuk heksaferit dengan polimer yang berbeda akan diperoleh hasil yang berbeda. Hal yang sama juga dapat dilakukan dengan polimer termoset jenis poliester tak jenuh dan epoksi.

Hasil dari sintesis dan modifikasi ini jika berhasil, diharapkan dapat memberikan alternatif pilihan terhadap bahan magnet sehingga ketergantungan pengadaannya melalui impor dapat ditekan serendah mungkin. Dalam pengembangan selanjutnya diharapkan dapat diperoleh produk-produk magnet yang memiliki kinerja yang lebih baik dan lebih aplikatif, khususnya untuk industri mainan dan industri alat listrik rumah tangga.

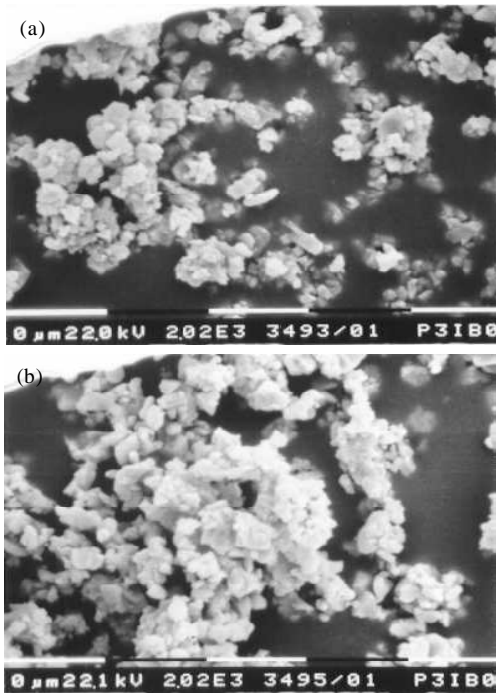
METODE PERCOBAAN

Pada penelitian ini digunakan jenis heksaferit $SrO.6Fe_2O_3$ (SrM) yang diperoleh dari PT. Sumimagne Utama - Cilegon, Banten. LDPE produksi PT. Merak Indonesia, Cilegon, Banten. Polipropilen baik *melt flow 2* (PP2) maupun *melt flow 10* (PP10) diperoleh dari PT. Tri Polyta Indonesia, Tbk-Cilegon, Banten. Untuk polimer termoset jenis epoksi dan poliester tak jenuh diperoleh dari PT Justus.

Dalam pembuatan magnet komposit digunakan *binder* berupa polimer termoplastik yaitu polipropilen *melt flow 2* (PP2) dan 10 (PP10) serta polietilen jenis LDPE. Pembuatan magnet komposit dilakukan dengan metode *blending* yaitu mencampurkan polimer (LDPE, PP MF2 dan PP MF10) dengan variasi fraksi volume serbuk heksaferit SrM sebesar 29 %berat, 33 %berat, 38 %berat, 41 %berat, 50 %berat dan 60 %berat ke dalam labo plastomill pada suhu 130 °C untuk LDPE dan 180 °C untuk PP2 dan PP10. Selanjutnya hasil yang diperoleh berupa bahan magnet komposit dibuat dalam bentuk lembaran dan dikarakterisasi sifat mekanik dan sifat magnetnya.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa serbuk magnet heksaferit jenis $SrO.6Fe_2O_3$ (SrM) dan polimer termoset jenis poliester dan epoksi, selanjutnya serbuk magnet heksaferit dicampur dengan poliester dan epoksi masing-masing dengan komposisi serbuk heksaferit 30 %berat, 40 %berat, dan 50 %berat.

Karakteristik sifat mekanik meliputi : kekuatan tarik (*Tensile strength*) dan perpanjangan putus. Strukturmikro pada permukaan bahan komposit diamati dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Dan sifat kemagnetannya diamati dengan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*.



Gambar 1. Foto SEM serbuk magnet BaM (a) dan serbuk magnet SrM (b)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 1 memperlihatkan hasil pengujian strukturmikro dengan SEM, dimana untuk heksaferit jenis SrM mempunyai ukuran sebesar 1,6 μm dengan bentuk pipih, sementara itu heksaferit jenis BaM berbentuk nodular dengan ukuran 1,2 μm. Dari hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa komposit magnet dengan *filler* SrM mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan BaM untuk komposisi dan polimer yang sama sebagai binder [6]. Hal ini diduga diakibatkan ukuran porositas dari kedua jenis heksaferit, dimana pada saat uji tarik dilakukan pembebanan dikenakan terhadap pori, bukan pada matriks seperti yang seharusnya. Oleh sebab itu pada penelitian ini digunakan heksaferit jenis SrM.

Tabel 1 dan Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian sifat mekanik dan magnetik dari komposit magnet berbasis heksaferit SrM dengan polimer termoplastik jenis polipropilen (PP2 dan PP10) dan polietilen jenis LDPE.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa penambahan serbuk magnet pada *matriks* polimer secara umum menurunkan nilai kekuatan tarik bahan komposit magnet. Disamping itu, penambahan serbuk magnet mengakibatkan nilai *yield strength* pada komposit tidak ada nilai, karena matriks berupa polimer termoplastik tidak bersifat elastis lagi.

Tabel 1 juga memperlihatkan bahwa polipropilen jenis PP2 memiliki sifat kompatibilitas lebih baik dibandingkan dengan PP10 dan LDPE, hal ini ditunjukkan dengan fungsi *binder* pada komposisi SrM mencapai

Tabel 1. Sifat Mekanik Komposit Magnet Berbasis Heksaferit SrFe₁₂O₁₉ dengan Polimer PP dan LDPE Pada Berbagai Komposisi (%berat)

No	Jenis Sampel	Yield Strength (Kg/Cm ²)	Tensile Strength (Kg/Cm ²)	Elongation at Break (%)
1.	PP2	251,28	318,72	832,86
2.	PP10	274,73	322,49	901,43
3.	LDPE	93,44	140,89	722,85
4.	PP2 + 60% SrM	---	169,91	---
5.	PP2 + 50% SrM	---	220,54	---
6.	PP2 + 41% SrM	---	151,49	---
7.	PP2 + 38% SrM	---	169,25	---
8.	PP2 + 33% SrM	---	174,07	---
9.	PP2 + 29% SrM	---	167,93	---
10.	PP10 + 50% SrM	---	158,78	---
11.	PP10 + 41% SrM	---	169,82	---
12.	PP10 + 38% SrM	---	199,06	---
13.	PP10 + 33% SrM	---	205,78	---
14.	PP10 + 29% SrM	---	187,37	---
15.	LDPE + 50% SrM	---	99,20	---
16.	LDPE + 41% SrM	---	67,72	---
17.	LDPE + 38% SrM	---	67,72	---
18.	LDPE + 33% SrM	---	73,23	---
19.	LDPE + 29% SrM	---	64,87	---

60 % berat sedangkan *binder* lainnya hanya pada komposisi 50 % berat. Sifat mekanik yang ditunjukkan dengan nilai *tensile strength* memperlihatkan bahwa polipropilen jenis PP2 memiliki nilai tertinggi pada komposisi SrM sebesar 50 % berat dengan harga *tensile strength* 220,54 kg/cm². Untuk PP10 mempunyai nilai *tensile strength* tertinggi sebesar 205,78 kg/cm² pada

Tabel 2. Sifat magnetik Komposit Magnet Berbasis Heksaferit dengan Polimer PP dan LDPE pada Berbagai Komposisi (%berat)

Sampel	Br (kG)	Hci (kOe)	Hc (kOe)	BH _{maks} (MGoe)
PP2 60% SrM	1,150	1,870	0,935	0,276
PP2 50% SrM	1,010	1,920	0,830	0,219
PP2 41% SrM	0,848	1,940	0,713	0,155
PP2 38% SrM	0,798	1,960	0,686	0,139
PP2 33% SrM	0,650	1,950	0,570	0,098
PP2 29% SrM	0,618	1,970	0,588	0,092
PP10 50% SrM	0,997	1,930	0,833	0,216
PP10 41% SrM	0,828	1,950	0,704	0,153
PP10 38% SrM	0,718	1,990	0,611	0,112
PP10 33% SrM	0,623	1,970	0,558	0,088
PP10 29% SrM	0,595	2,000	0,525	0,080
LDPE 50% SrM	0,982	1,900	0,814	0,212
LDPE 41% SrM	0,848	1,920	0,740	0,162
LDPE 38% SrM	0,648	1,940	0,562	0,094
LDPE 33% SrM	0,585	1,920	0,516	0,079
LDPE 29% SrM	0,551	1,910	1,498	0,069

Tabel 3. Kekuatan Tarik Komposit Magnet dengan Berbagai Komposisi Polimer Termoset

No.	Komposisi SrM terhadap polimer	Jenis Matriks Komposit	
		Epoksi	Poliester
1.	30	297,2	219,4
2.	40	260,6	189,9
3.	50	260,0	70,7
4.	60	254,0	69,7

Tabel 4. Sifat Magnetik dari komposit magnet berbasis heksaferit SrM dengan polimer termoset

Sampel	Br (Gauss)	Hc (Oe)	BHmax (MGOe) $\times 10^{-3}$
SrM (50%)+Poliester (50%)	1107,9	993	278,2
SrM (50%)+Epoksi (50%)	662,1	579,3	90,5
BaM (50%)+Poliester (50%)	1076,8	945,6	258,8
BaM (50%)+Epoksi (50%)	1010,9	882,4	227,1

komposisi SrM sebesar 33 % berat. Pada polietilen jenis LDPE nilai *tensile strength* terbesar pada komposisi 50 % berat SrM dengan harga *tensile strength* sebesar 99,20 kg/cm².

Pada polimer polipropilen dengan harga *Melt Flow Index (MFI)* semakin besar menunjukkan bahwa jumlah berat polimer dengan suhu dan waktu yang sama memiliki berat yang semakin besar, artinya PP MFI 10 (PP10) lebih berat (gram) dibandingkan PP MFI 2 (PP2) sehingga berat molekul yang dimiliki juga semakin kecil. Oleh sebab kompatibilitas PP2 lebih baik dibandingkan dengan PP10 maka komposisi SrM yang diikatnya juga semakin besar sampai mencapai 60 % berat SrM.

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian sifat magnetik komposit magnet heksaferit dengan polimer termoplastik pada berbagai komposisi (% berat). Besarnya sifat magnetik ditentukan oleh banyaknya (komposisi) SrM yang terikat oleh molekul polimer. Oleh sebab itu secara umum nilai sifat magnetik untuk komposit dengan matriks PP2 lebih besar dibandingkan dengan komposit dengan matriks PP10.

Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian sifat mekanik dari komposit magnet berbasis heksaferit SrM dengan polimer termoset jenis epoksi dan poliester tak jenuh. Sifat mekanik untuk komposit magnet dengan matriks epoksi lenig besar nilainya dibandingkan dengan komposit magnet dengan matriks poliester tak jenuh. Hal ini dikarenakan pada polimer epoksi mempunyai ikatan silikik antara molekulnya sehingga untuk pemutusan diperlukan energi yang lebih besar dibandingkan dengan poliester tak jenuh yang mempunyai ikatan rangkap.

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian sifat magnetik dari komposit magnet berbasis heksaferit SrM dengan polimer termoset jenis epoksi dan poliester tak jenuh

Dari Tabel 4 tersebut, menunjukkan bahwa besarnya sifat magnetik ditentukan oleh banyaknya serbuk magnet SrM yang diikat oleh molekul polimer termoset, oleh sebab itu pengikatan serbuk magnet heksaferit SrM dalam komposit yang lebih besar untuk poliester tak jenuh dibandingkan dengan epoksi. Hal ini dikarenakan pengikatan molekul polimer berbentuk senyawa siklik (epoksi) lebih sulit dibandingkan dengan polimer tak jenuh (poliester) sehingga nilai sifat magnetik komposit dengan matriks poliester tak jenuh akan memiliki sifat magnetik yang lebih besar dibandingkan dengan polimer efoksi.

Untuk komposit magnetik berbasis heksaferit jenis BaM menunjukkan bahwa pengikatan dengan molekul epoksi dan poliester tidak menunjukkan perbedaan nilai sifat magnetiknya. Hal ini dikarenakan bentuk serbuk magnet BaM yaitu nodular (bulat).

KESIMPULAN

Strukturmikro dengan *SEM* menunjukkan bahwa ukuran partikel serbuk SrM sebesar 1,6 μ m dengan bentuk pipih sedangkan BaM berbentuk nodular dengan ukuran partikel sebesar 1,2 μ m.

Penambahan serbuk magnet pada *matriks* polimer secara umum menurunkan nilai kekuatan tarik bahan komposit magnet. Ketiga jenis polimer PP2, PP10 dan LDPE dapat berfungsi sebagai *binder* didalam komposit magnet, tetapi hanya polimer jenis PP2 yang dapat berfungsi sebagai *binder* untuk komposisi 60 % berat.

Komposit magnet yang dibuat dari matriks ketiga polimer berbeda memiliki sifat mekanik yang keras sehingga tidak diperoleh kekuatan luluh dan perpanjangan putus. Sedangkan tegangan tarik (*tensile strength*) komposit magnet berbasis SrM untuk matriks polimer PP10 paling tinggi dicapai pada komposisi 33 % berat serbuk yakni sebesar 205,78 kg/cm². Untuk LDPE diperoleh *tensile strength* maksimum sebesar 99,20 kg/cm² pada komposisi 50 % berat, sedangkan pada polimer PP2 diperoleh *tensile strength* sebesar 220,54 kg/cm² untuk komposisi 50 % berat.

Dari hasil pengujian sifat kemagnetan, dengan melihat nilai produk energi diketahui bahwa magnet komposit ini hanya dapat digunakan pada kondisi yang tidak memerlukan energi magnet yang besar.

DAFTAR ACUAN

- [1]. ZBIGNIEW D. JASTRZEBSKI, *The Nature and Properties of Engineering Materials*, Edisi II, (1977) 336-339
- [2]. RICHARD BRADLEY, *Radiation Technology Handbook*, Marcel Dekker Inc., New York, (1984)
- [3]. MASCIA L., *Thermoplastics*, Materials Engineering, Elsevier Applied Science, London, (1989) 52
- [4]. Badan Pusat Statistik, Jakarta, (1997)

- [5]. BENYAMIN M.W., *Handbook of Thermoplastic Elastomer*, Van Norstand Rein Company, New York, (1989)
- [6]. H. KOJIMA, *Fundamental properties Of Hexagonal Ferrites With Magnetoplumbite Structure*, di dalam *Ferro-Magnetic Materials*, a handbook on the properties of magnetically ordered substances, Ed. E. P. Wohlfourth, North-Holland Publishing Company, (1982) 305-308
- [7]. SUDIRMAN, RIDWAN, MUJAMILAH, WALUYO TRIJONO, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **2** (1) (2000)13-17
- [8]. RIDWAN, SUDIRMAN, MUJAMILAH, WALUYOT., Sifat-sifat Magnet Bahan Komposit Karet Alam dengan BaO $6\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan SrO $6\text{Fe}_2\text{O}_3$, *Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet I*, P3IB-Batan, Serpong, (2000)
- [9]. F. V. LENEL, *Powder Metallurgy Principles and Applications*, (1985)
- [10]. J. J. CROAT, J.F. HERBST, MRS Bulletin, *Rapidly Solidified Neodymium-Iron-Boron Magnets*, (1988)