

## **ANALISIS SIFAT MEKANIK MAGNET KOMPOSIT BERBASIS HEKSAFERIT DENGAN Matriks POLIESTER DAN EPOKSI PADA PENAMBAHAN ADITIF SILAN**

**Sudirman<sup>1,2</sup>, Ridwan<sup>1</sup>, Mujamilah<sup>1</sup>, Aloma K.K.<sup>1</sup>, Marisa Rembulan<sup>2</sup> dan Fitriyanti<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) – BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314, Banten

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Kimia, FTI – ITI

Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Tangerang 15310

### **ABSTRAK**

**ANALISIS SIFAT MEKANIK MAGNET KOMPOSIT BERBASIS HEKSAFERIT DENGAN Matriks POLIESTER DAN EPOKSI PADA PENAMBAHAN ADITIF SILAN.** Pemakaian magnet komposit untuk berbagai macam keperluan dalam industri besar maupun industri rumah tangga, terutama magnet komposit berbasis heksaferit banyak dijumpai di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk membuat magnet komposit antara heksaferit dengan polimer poliester dan atau epoksi serta mempelajari pengaruh penambahan *coupling agent* berupa 3-aminopropyltriethoxysilane (3-APE) terhadap sifat mekaniknya. 3-APE akan menjembatani antara serbuk magnet dengan polimer sehingga akan meningkatkan kekuatan tarik dari magnet komposit tanpa mengurangi sifat kemagnetannya. Serbuk magnet (SrM dan BaM) yang telah dibasahi dengan *coupling agent* 3-APE dicampurkan ke dalam matriks yang terdiri dari campuran poliester dengan Mekpo sebagai bahan penguat atau epoksi dengan Versamid sebagai bahan penguat, diaduk sampai homogen selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk *dumbbell* dan diberi tekanan. Untuk epoksi, penekanan dilakukan dengan menggunakan *hot press* pada suhu 70 °C dengan beban 150 kg/cm<sup>2</sup> kemudian didinginkan dengan *cold press*. Pada poliester, tekanan dilakukan dengan *press hydraulics* selanjutnya *curing* pada suhu 70 °C menggunakan oven selama 1 jam. Komposisi SrM dan BaM divariasikan pada 30%, 40% dan 50% fraksi volume dan *coupling agent* 3-APE divariasikan sebesar 5mL, 10mL dan 15 mL untuk setiap fraksi volume. Kemudian dilakukan karakterisasi kekerasan, sifat mekanik, dan sifat kemagnetan. Hasil yang diperoleh menunjukkan secara umum penambahan *coupling agent* 3-APE pada magnet komposit memberikan efek terbaik pada volume sebesar 10 mL untuk magnet komposit dengan perekat poliester maupun epoksi. Penambahan serbuk magnet SrM dan BaM pada matriks polimer secara umum menurunkan harga kekuatan tarik magnet komposit, harga maksimum kekuatan tarik terjadi pada kandungan 40% fraksi volume SrM maupun BaM. Sifat kemagnetan komposit berbasis SrM lebih baik dibandingkan BaM baik dengan matriks epoksi maupun poliester

**Kata kunci :** Magnet komposit, sifat mekanik, *coupling agent* 3-APE, poliester, epoksi

### **ABSTRACT**

**MECHANICAL PROPERTIES ANALYSIS OF COMPOSITE MAGNETIC BASE ON HEXAFERITE AND POLYESTER OR EPOXY MATRIX WITH SILANE ADDITIVE ADDITION.** Application of composite magnetic especially hexaferite magnet for industry and home industry in Indonesia has been used. Research purposes were making composite magnetic by mixing hexaferite powder with polyester or epoxy and studying the effect of coupling agent 3-aminopropyltriethoxysilane (3-APE) addition on mechanical properties of composite magnetic. The coupling agent may increase bonding properties between magnetic powder and matrix polymer, so that tensile strength of magnetic composite will increase without decreasing the magnetic properties. Magnetic powder (SrM or BaM) which be coated by coupling agent were added to matrix polyester and mekpo or epoxy and versamid, mixed until homogen then pressing into to the dumbbell form molding. For epoxy matrix, pressing was done in hot press at 70 °C and 150 kg/cm<sup>2</sup> following by cooling in cold press, while for polyester matrix pressing was done in hydraulic press and following by curing at 70 °C in an oven for 1 hour. The composition of magnetic powder were varied to 30, 40 and 50% volume fraction and coupling agent were varied to 5, 10 and 15 mL for every volume fraction. The result showed that 10 mL added of coupling agent was give best mechanical properties both polyester and epoxy matrix. However generally, increasing of magnetic powder content decreased the tensile strength of magnetic composite. The properties of magnetic composite SrM was better than BaM either in polyester or epoxy matrix.

**Key words :** Composite magnetic, mechanical properties, coupling agent 3-APE, polyester, epoxy

## PENDAHULUAN

Pemakaian magnet komposit untuk berbagai macam keperluan, baik dalam industri besar maupun industri rumah tangga, terutama magnet komposit berbasis heksaferit ( $M_6Fe_2O_3$ ) banyak dijumpai di Indonesia. *Bonded magnet* merupakan suatu magnet komposit yang dibuat dari serbuk magnet yang dicampur dengan bahan matriks (pengikat/ *binder*) yang bersifat non magnet. Adapun fungsi dari matriks adalah untuk menyatukan butiran serbuk magnet menjadi satu kesatuan dalam bentuk komposit. Selain itu bahan matriks sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik, listrik maupun stabilitas termal dari magnet komposit[1].

Penggunaan resin sebagai *binder* dalam *bonded magnet* telah banyak dilakukan oleh para peneliti, termasuk paten yang dikeluarkan. Resin poliester dan epoksi merupakan polimer yang telah dikenal secara luas dan digunakan diberbagai bidang. Beberapa sifat dan kelebihan yang dimiliki oleh resin sebagai matriks dalam komposit antara lain ketahanannya terhadap pelarut organik, panas, oksidasi dan kelembaban; ringan; *adhesive*; sifat mekanik; serta mudah dimodifikasi dalam pembuatannya[1,2]

Pada umumnya *bonded magnet* diaplikasikan pada kondisi yang tidak memerlukan karakteristik magnetik yang tinggi, seperti untuk pelapis pintu lemari pendingin, dan mainan anak-anak [3]. Dengan semakin berkembangnya industri mainan anak-anak dan makin tingginya pemakaian alat listrik rumah tangga di Indonesia, kebutuhan magnet komposit semakin bertambah, terutama kebutuhan magnet komposit berbasis heksaferit. Data Biro Pusat Statistik (BPS) [4] menunjukkan bahwa dibidang industri 80% bahan komposit magnet masih diimpor. Hal ini yang mendorong pengembangan bahan magnet yang memenuhi sifat-sifat yang diinginkan dan memiliki daya saing yang cukup tinggi. Pembuatan komposit magnet terutama *bonded magnet* merupakan jalan keluar yang sangat baik dan banyak dikembangkan dewasa ini.

Pada penelitian sebelumnya, pembuatan magnet komposit dilakukan dengan cara mencampurkan serbuk magnet MQP-0 ( $NdFeB$ ) ke dalam matriks yang terdiri dari campuran poliester dengan bahan penguat dan epoksi dengan bahan penguat. Hasil yang diperoleh adalah baik resin poliester maupun epoksi dapat digunakan sebagai *binder* dalam pembuatan *rigid bonded magnet* berbahan dasar MQP-0. Kekerasan komposit magnet bermatriks epoksi lebih besar dibandingkan matriks poliester. Proses *curing* sangat berpengaruh dalam meningkatkan interaksi atau gaya *adhesi* antara matriks dengan serbuk magnet [5,6]

Sedangkan pada penelitian ini akan dibuat *bonded magnet* menggunakan serbuk magnet heksaferit ( $SrO_6Fe_2O_3$  dan  $BaO_6Fe_2O_3$ ) dengan matriks berupa poliester dan epoksi serta dengan penambahan *coupling agent*. *Coupling agents* yang akan digunakan berupa

3-APE (*3-Aminopropyltriethoxysilane*), yang berfungsi untuk mengubah dua fasa yang berlainan menjadi suatu fasa yang mempunyai sifat mekanik dan elektriknya lebih baik. Dalam hal ini 3-APE diharapkan menjembatani antara serbuk magnet dengan polimer yang tujuannya untuk meningkatkan kekuatan tarik tanpa mengurangi sifat kemagnetannya. Setelah itu akan dilihat pengaruh penambahan *coupling agent* terhadap berbagai komposisi serbuk magnet dengan matriks (poliester dan epoksi).

Penambahan *coupling agent* (*3-Aminopropyltriethoxysilane*) diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik dan sifat fisik magnet komposit yang terbentuk dan kompatibilitas, yaitu kemampuan polimer (polyester dan epoksi) mengikat atau menjadi perekat terhadap serbuk magnet ( $SrM$  dan  $BaM$ ), pada fraksi volume 50% diharapkan lebih besar dibandingkan pada fraksi volume 30% dan 40%, sehingga akan mendapatkan magnet komposit dengan komposisi yang optimal dengan sifat mekanik yang baik tanpa mengurangi sifat kemagnetannya.

## METODE PERCOBAAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa serbuk magnet heksaferit ( $SrO_6Fe_2O_3$  dan  $BaO_6Fe_2O_3$ ) dan polimer jenis poliester dan epoksi, selanjutnya serbuk magnet heksaferit dicampur dengan poliester dan epoksi masing-masing dengan komposisi serbuk heksaferit 30%, 40%, dan 50% (fraksi volume). Serbuk magnet dan polimer yang telah dicampur kemudian ditambahkan dengan *coupling agent*. Karakteristik sifat mekanik meliputi : kekuatan tarik (*Tensile strength*) dan perpanjangan putus. Sifat kekerasan bahan komposit diuji dengan *Shore A*. Srukturmikro pada permukaan bahan komposit diamati dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Elektron Microscope*). Dan sifat kemagnetannya diamati dengan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*).

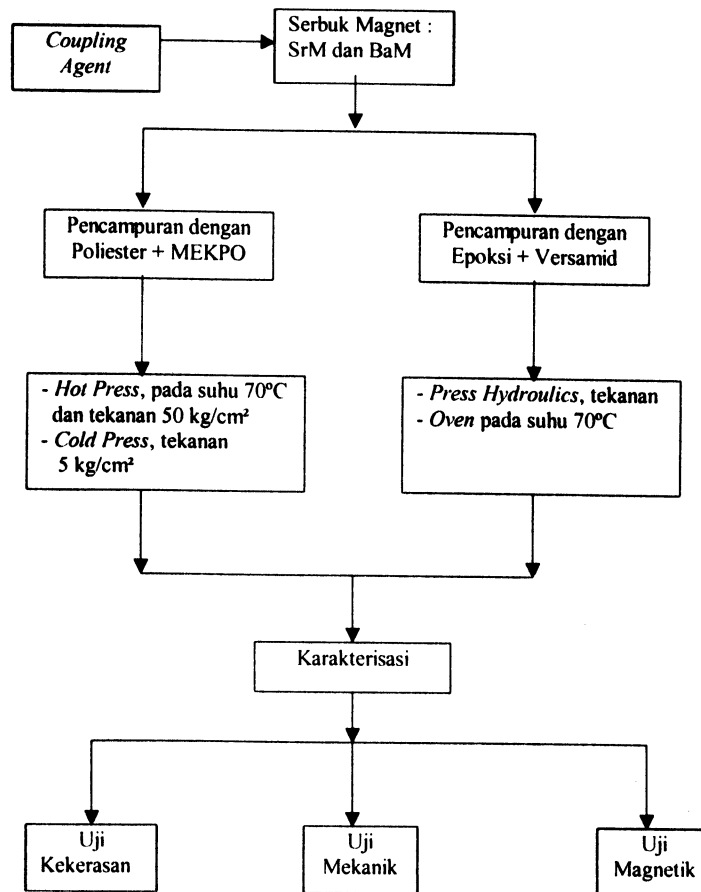
Tahapan metode yang dilakukan digambarkan seperti diagram alir penelitian pada Gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pembuatan Magnet Komposit

Proses pencampuran pertama berupa pelapisan serbuk  $SrM$  atau  $BaM$  dengan *coupling agent* *3-Aminopropyltriethoxysilane* (3-APE). Fungsi *coupling agent* 3-APE ini untuk menjembatani antara serbuk magnet dengan polimer sebagai matriks sehingga diperoleh peningkatan kekuatan tarik tanpa mengurangi sifat kemagnetannya. Proses selanjutnya adalah pencampuran matriks poliester atau epoksi dengan dengan serbuk magnet yang telah dibasahi oleh 3-APE.

Untuk komposit bermatriks epoksi, setelah pencampuran semua bahan, dilakukan pencetakan



Gambar 1. Diagram alir penelitian

dengan menggunakan *hot press* pada suhu 70 °C selama 30 menit. Suhu ini dipilih karena merupakan suhu *curing* untuk resin epoksi. Dan diharapkan setelah 30 menit sampel tercampur dengan baik. Sedangkan pada komposit bermatriks poliester, pencetakan bahan komposit dilakukan dengan mesin press biasa dan proses *curing* dilakukan pada suhu 70°C dengan menggunakan oven setelah sampel dicetak. Perbedaan perlakuan ini dikarenakan jika komposit bermatriks poliester dicetak dengan mesin *hot press*, sampel akan sangat sulit dikeluarkan dari cetakan dan sering menyebabkan sampel patah.

Perbedaan cara pembuatan magnet komposit disebabkan oleh matriks yang digunakan, untuk matriks epoksi diperlukan proses *curing* bersamaan dengan *hot press*, dikarenakan pada molekul epoksi mengandung R1 (alkil) dan R2 (alkil) dengan molekul rantai yang pendek sehingga proses polimerisasi berlangsung lebih cepat, sebaliknya untuk poliester dengan rantai molekul yang panjang maka diperlukan proses polimerisasi yang lebih lama, disamping itu poliester lebih mudah patah.

### Sifat Mekanik

Pada umumnya polimer jenis termoset (epoksi dan poliester) tidak mempunyai kekuatan luluh (*yield*

*strength*) dan perpanjangan putus (*elongation at break*). Kekuatan bahan magnet komposit dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti : bentuk geometri dan distribusi serbuk magnet, banyaknya serbuk yang ditambahkan pada matriks polimer tersebut bila dibandingkan dengan bahan kompositnya, serta interaksi antara matriks dengan serbuk yang sering disebut dengan ikatan antar muka (*interfacial bond*). Hasil pengujian sifat mekanik diperlihatkan pada Tabel 1 untuk matriks poliester dan untuk magnet komposit dengan matriks epoksi ditunjukkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa secara umum penambahan serbuk magnet pada polimer menurunkan nilai kekuatan tarik bahan magnet komposit, namun ternyata tidak memberikan efek yang sama untuk matriks dan bahan penguat (serbuk magnet) yang

Tabel 1. Kekuatan Tarik Magnet Komposit Berbasis SrM dan BaM dengan Matriks Poliester

Jumlah Coupling Agent (mL)	Kekuatan Tarik (MPa)					
	Kandungan SrM (%)			Kandungan BaM (%)		
	30	40	50	30	40	50
5	25,8	23,5	23,4	26,2	24,4	22,8
10	35,5	34,5	24,7	32,6	29,4	24,7
15	25,2	30,5	21,2	26,5	20,2	19,4

**Tabel 2.** Kekuatan Tarik Magnet Komposit Berbasis SrM dan BaM dengan Matriks Epoksi

Jumlah <i>Coupling Agent</i> (mL)	Kekuatan Tarik (MPa)					
	Kandungan SrM (%)			Kandungan BaM (%)		
	30	40	50	30	40	50
5	23,9	22,6	31,5	27,8	27,1	23,6
10	32,8	34,7	32,5	35,6	23,3	26,6
15	26,1	29,6	19,9	26,2	23,8	20,9

berbeda. Harga kekuatan tarik resin poliester sebesar 56,7 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik resin epoksi sebesar 37,3 MPa [7,8].

Bila dibandingkan dengan kekuatan tarik resinnya, maka pada matriks polimer polyester harga kekuatan tariknya cenderung menurun lebih besar sedangkan pada matriks polimer epoksi penurunan yang diperoleh relatif tidak besar dan nilainya sangat variatif (tidak ada kecenderungan tertentu). Untuk matriks polimer poliester dengan serbuk SrM, secara umum pada volume 3-APE yang sama diperoleh penurunan kekuatan tarik dengan meningkatnya kandungan serbuk SrM didalam magnet kompositnya. Untuk matriks polimer epoksi, diperoleh penurunan yang variatif (tidak beraturan).

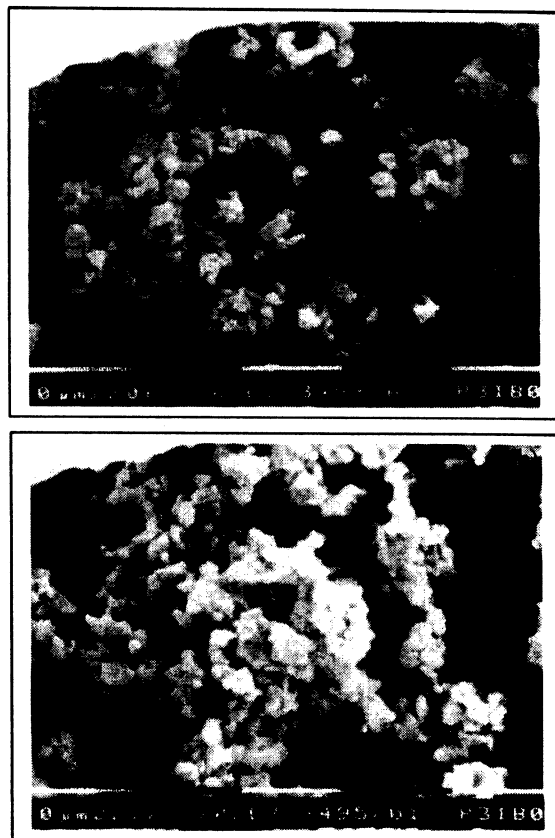
Dari Tabel 1 dan Tabel 2 tersebut diatas juga terlihat bahwa volume 3-APE sebagai *coupling agent* memberikan efek pada sifat mekanik dan harga terbaik pada kandungan 3-APE sebesar 10 mL untuk semua komposisi baik pada polimer poliester maupun epoksi.

Jika ditinjau dari bahan pengisinya (*filler*), secara umum SrM memberikan nilai kekuatan tarik yang lebih besar bila dibandingkan dengan BaM. Namun untuk nilai kekuatan tarik tertinggi dicapai oleh komposit bermatriks epoksi dengan pengisi BaM pada fraksi volume 30% dan volume *coupling agent* 10 mL yaitu 35,6 MPa dan nilai kekuatan tarik terendah pada komposit bermatriks poliester dengan pengisi BaM pada fraksi volume 50% dan volume 3-APE 15 mL yaitu 19,4 MPa. Volume *coupling agent* yang ditambahkan juga harus diperhatikan. Volume *coupling agent* yang terlalu sedikit menyebabkan tidak semua permukaan serbuk magnet terlapisi secara merata. Sedangkan volume *coupling agent* yang berlebihan dapat mengakibatkan serbuk magnet terlapisi dalam dua tingkatan atau lebih, sehingga transfer dari matriks menuju serbuk tidak terjadi dengan baik. Bila dibandingkan dengan poliester, epoksi memiliki kekuatan yang bagus karena adanya gugus hidroksil polar dan eter, sehingga memiliki kekuatan rekatan yang lebih besar.

Pada magnet komposit beban tidak langsung dikenakan pada serbuk magnet, tetapi pada matriks lalu terjadi transfer pada serbuk melalui bidang antar muka. Bidang antar muka ini berfungsi untuk mentransmisikan beban dari matriks ke serbuk yang memberikan kontribusi terbesar pada kekuatan bahan komposit. Terjadinya penurunan kekuatan bahan komposit diantaranya disebabkan oleh interaksi antara matriks dengan serbuk lemah, sehingga beban yang dikenakan pada matriks

tidak tertransfer dengan baik pada serbuk yang akhirnya membuat bahan komposit menjadi kurang kuat terhadap pembebanan. Untuk memberikan kontribusi terhadap kekuatan komposit, serbuk harus terikat kuat pada matriks. Penambahan *coupling agent*, berupa 3-APE, akan menjembatani antara serbuk magnet dengan matriks, sehingga ikatan antara serbuk dengan matriks akan menjadi kuat dan matriks dapat dengan baik mentransfer beban kepada serbuk magnet.

Bentuk geometri serbuk juga sangat mempengaruhi interaksi antara serbuk dengan matriks. Perbandingan luas permukaan terhadap volume komposit untuk bahan yang berbentuk nodular (BaM) lebih besar daripada dalam bentuk partikel pipih/serpihan (SrM), sehingga luas bidang antar muka antara serbuk dengan matriksnya lebih banyak. Dengan semakin banyak bidang antar muka yang terjadi antara serbuk dengan matriks maka bahan akan mampu menerima transfer beban lebih baik. Disamping itu sebaran serbuk BaM lebih merata (tidak menggumpal) dibandingkan dengan sebaran serbuk SrM sehingga akan mempengaruhi kekuatan tarik magnet komposit yang terbentuk, seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Seharusnya sesuai dengan teori diatas, serbuk BaM akan menghasilkan nilai kekuatan uji tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan serbuk SrM. Namun data pada Tabel 1 dan Tabel 2 secara umum memperlihatkan nilai kekuatan tarik pada komposit SrM lebih besar daripada



**Gambar 2.** Foto SEM serbuk magnet BaM (a) dan serbuk magnet SrM (b)

komposit BaM. Fenomena ini diduga diakibatkan adanya porositas pada beberapa sampel, sehingga pada saat uji tarik dilakukan pembebanan dikenakan terhadap pori, bukan pada matriks seperti yang seharusnya.

## Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan *Shore A*. Uji kekerasan *Shore A* dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan secara makro. Menurut ASTM, uji kekerasan *Shore A* menggunakan identer berupa kerucut yang dipotong bagian atas (*truncated cone*) yang digerakkan oleh pegas yang dikalibrasi. Nilai *Shore A* menunjukkan jarak penetrasi yang dikenai identer pada permukaan bahan uji. Pengujian kekerasan ini dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan dari magnet komposit apabila dikenakan suatu beban.

Pengaruh penambahan serbuk magnet pada matriks polimer poliester dan epoksi terhadap kekerasannya diperlihatkan pada Tabel 3 sebagai berikut

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan

Jenis Polimer	Kekerasan (Shore A)					
	Kandungan SrM (%)			Kandungan BaM (%)		
	30	40	50	30	40	50
Poliester	96,0	96,0	95,0	88,7	96,3	93,7
Epoksi	95,0	95,3	96,3	92,7	97,0	92,3

Dari Tabel 3, secara umum terlihat terjadi penurunan nilai kekerasan seiring penambahan serbuk magnet pada matriks polimer. Terlihat juga untuk setiap bahan komposit BaM memiliki nilai kekerasan yang lebih kecil daripada bahan komposit SrM dan nilai ini bertolak belakang dengan nilai kekuatan tariknya.

Dari hasil uji tarik, komposit dengan serbuk magnet BaM memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dari komposit berbasis SrM. Dari Tabel 4, nilai kekerasan tertinggi diperoleh bahan komposit berbasis BaM dengan matriks epoksi yaitu 97,0 *Shore A* dan yang terendah adalah komposit berbasis BaM dengan matriks poliester yaitu sebesar 88,7 *Shore A*.

Berdasarkan hubungan antara nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik yang berbanding lurus, hal ini jelas menunjukkan bahwa dengan menurunnya nilai kekuatan tarik maka nilai kekerasannya pun menurun. SrM yang bentuk geometrinya berupa pipih (serpihan) tidak memungkinkan mengisi semua bagian dari matriks polimer. Pada serbuk magnet SrM, serbuk ini hanya mengisi bagian tengahnya saja sedangkan dalam uji kekerasan *Shore A* beban di-transfer melalui identer dikenai pada bagian permukaan bahan uji, sehingga identer hanya mengenai matriks polimernya saja. Sedangkan untuk serbuk magnet BaM yang memiliki bentuk geometri *nodular* (bulat) memungkinkan distribusi serbuk BaM pada matriks lebih dapat mengisi bagian dari matriks tersebut lebih merata. Sehingga ketika

identer mengenai permukaan bahan, BaM sudah berperan.

Dari penjelasan tersebut seharusnya nilai kekerasan komposit dengan pengisi serbuk BaM lebih tinggi daripada komposit dengan pengisi serbuk SrM. Namun secara umum, data yang diperoleh adalah sebaliknya, diduga hal ini dikarenakan pada proses pencampuran yang kurang homogen, sehingga terbentuk pori. Dan identer yang dikenakan pada benda uji mengenai pori tersebut.

## Sifat Kemagnetan

Sesuai dengan sistem kristalnya yang heksagonal, heksaferit (SrM dan BaM) merupakan jenis bahan magnet keras. Bahan magnet keras ditandai dengan nilai koersivitas magnet,  $H_c$  diatas 200 Oe.  $H_c$  menyatakan besar medan magnet balik yang dibutuhkan untuk meniadakan kemagnetan suatu bahan. Sedangkan untuk kekuatan magnet (*magnetic field*) ditentukan oleh besarnya  $B_r$  dari bahan, yaitu nilai remanensi magnet yang tersisa didalam bahan setelah pengaruh medan magnet diiadakan. Kedua besaran ini secara langsung dapat dilihat dari kurva histerisis bahan hasil pengukuran menggunakan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*), yaitu pada daerah kuadran kedua dari kurva histerisis (daerah demagnetisasi). Untuk melihat produk energi,  $BH_{max}$  dari magnet tersebut dapat diperoleh dari nilai maksimal hasil perkalian antara  $B$  dan  $H$  pada kuadran kedua kurva histerisis. Semakin tinggi remanensi, maka gaya koersif dan loop histerisis semakin "gemuk" dan semakin besar pula produk energinya. Data hasil pengujian sifat kemagnetan dapat dilihat dalam Tabel 4 sebagai berikut :

Tabel 4. Data Induksi Remanensi ( $B_r$ ), Koersivitas ( $H_c$ ) dan Produk energi ( $BH_{max}$ )

Sampel	$B_r$ (Gauss)	$H_c$ (Oe)	$BH_{max}$ (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

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa kedua serbuk, baik SrM maupun BaM memiliki koersivitas magnet ( $H_c$ ) diatas 200 Oe, ini membuktikan bahwa kedua serbuk magnet tersebut bersifat magnet keras. Pada Tabel 4 juga terlihat, nilai remanensi dari keempat sampel tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Hal ini karena komposisi serbuk magnet dalam tiap sampel adalah sama, yaitu 50%. Dimana tinggi rendahnya remanensi sangat bergantung pada kontribusi magnetik dari setiap elemen magnet yang dikandung dalam bahan kompositnya. Untuk produk energi maksimal ( $BH_{max}$ ) pada sampel diatas juga tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Produk energi ini menyatakan besar kekuatan medan magnet yang dikandung suatu bahan. Dan dari

hasil pengujian terlihat bahwa pada magnet komposit ini, kekuatan medan magnet tidak terlalu besar.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dalam pembuatan magnet komposit berbasis heksaferit dengan matriks poliester dan epoksi dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara umum penambahan 3-APE (*3-Aminopropyltriethoxysilane*) sebagai *coupling agent* pada bahan magnet komposit memberikan efek terbaik pada volume 10 mL. Hal ini ditandai dengan nilai kekuatan tarik yang relatif mendekati nilai kekuatan tarik matriksnya. Sedangkan pada penambahan 3-APE 15 mL bahan magnet komposit memiliki nilai kekuatan tarik terendah.
2. Penambahan serbuk magnet pada *matriks* polimer secara umum menurunkan nilai kekuatan tarik bahan magnet komposit.
3. 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]. BENYAMIN M.W., *Handbook of Thermoplastic Elastomer*, Van Norstand Rein Company, New York, (1989).
- [3]. MASCIA L., *Thermoplastics, Materials Engineering*, Elsevier Applied Science, London, (1989) 52
- [4]. Biro Pusat Statistik, Jakarta, (1997).
- [5]. MIYAHARA, *Ferrite Permanent Magnet Industry for Card & Tape Application*, Dai Nihon Inki Chemical Company, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Magnetic Industry, China, (1999), 67-73
- [6]. KOJIMA, H., *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]. NUNING AISAH, *Pembuatan Komposit Polimer Berpenguat Serat Sintetik Untuk Bahan Genteng*, Jurusan Fisika, FMIPA-IPB, Bogor, (2003).
- [8]. RATNI KARTINI, H. DARMASETIAWAN, A. KARO KARO Dan SUDIRMAN, Pembuatan dan karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 3(3) (2002) 30-38