

## PENGARUH PENAMBAHAN PENGENCER PADA PROSES SINTESIS DAN KARAKTERISTIK MAGNET *BONDED* BERBASIS SERBUK MAGNET $Nd_2Fe_{14}B$ DAN POLIMER EPOKSI

Mujamilah, Sudaryanto, Evi Yulianti, Eko Y. P., Sudirman dan Ridwan

Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314

### ABSTRAK

**PENGARUH PENAMBAHAN PENGENCER PADA PROSES SINTESIS DAN KARAKTERISTIK MAGNET *Bonded* BERBASIS SERBUK MAGNET  $Nd_2Fe_{14}B$  DAN POLIMER EPOKSI.** Telah diteliti sistem magnet *bonded* berbasis  $Nd_2Fe_{14}B$  dan polimer epoksi yang diencerkan dengan pengencer (*diluent*) yang bersifat reaktif yaitu PO (Propylene Oxide) dan PPG (Poly Propylene Glycol) serta non-reaktif *xylene*. Hasil penelitian menunjukkan penambahan pengencer menurunkan viskositas campuran magnet *bonded* yang akan berpengaruh pada empat sifat bahan yang diukur yaitu waktu beku, kerapatan, kekerasan dan sifat magnetik. Proses pembuatan menjadi lebih mudah dan interval waktu pembekuan menjadi lebih panjang. Karakter magnet *bonded* yang dihasilkan berubah bergantung pada jenis dan jumlah pengencer yang diberikan. Secara umum *xylene* memberikan pengaruh yang lebih baik pada keseluruhan sifat yang ditinjau dibanding PO maupun PPG.

**Kata kunci :** Propylene oxide, polypropylene glycol, *xylene*, epoksi,  $Nd_2Fe_{14}B$

### ABSTRACT

**DILUENT ADDITION EFFECT TO SYNTHESIS PROCESS AND CHARACTERISTICS OF  $Nd_2Fe_{14}B$  AND EPOXY RESIN BASE BONDED MAGNET.**  $Nd_2Fe_{14}B$  and Epoxy Resin base Bonded Magnet system diluted with reactive diluent such as PO (Propylene Oxide) and PPG (Poly Propylene Glycol) as well as non-reactive diluent such as *xylene* has been studied. The result shows that diluent addition will decrease viscosity of composite system and affect composite characteristics such as its polymerization time, density, hardness and magnetic. Synthesis process becomes simpler and polymerization time becomes longer. The bonded magnet characteristic will change depend on type of given diluent and its fraction. Generally, *xylene* will give better effect to all characteristics of bonded magnet than PO and PPG.

**Key words :** Propylene oxide, polypropylene glycol, *xylene*, epoxy,  $Nd_2Fe_{14}B$

### PENDAHULUAN

Sejak ditemukannya senyawa  $Nd_2Fe_{14}B$  pada tahun 1984 oleh Sagawa dkk. [1], magnet permanen berbasis Nd-Fe-B telah berkembang menjadi bahan rekayasa penting pada berbagai aplikasi industri. Penelitian terakhir [2] menunjukkan pemakaian bahan ini pada tahun 2002 meningkat 2 kali lipat dari pemakaian pada tahun 1998. Tingginya pemakaian bahan ini disebabkan oleh adanya sifat magnetik yang lebih baik dibanding magnet jenis lain. Pada awal penemuan pada tahun 1984, sifat magnetik bahan ini yang meliputi magnetisasi remanen,  $M_r$ , koersivitas intrinsik,  $H_c$  dan produk energi maksimal,  $BH_{max}$  mencapai masing-masing 1,2 T, 10 kOe dan  $260 \text{ kJ/m}^3$  [1]. Hasil penelitian dan pengembangan lebih lanjut sampai tahun 2002 berhasil meningkatkan harga-harga tersebut hingga mencapai 1,5 T, 27 kOe dan 50 MGOe [3]. Tingginya sifat magnet bahan ini dibanding bahan magnet generasi sebelumnya memberikan peluang aplikasi serta pengembangan yang bervariasi.

Salah satu pengembangan yang banyak dilakukan adalah pembuatan magnet *bonded* dimana serbuk magnet dicampur dengan bahan polimer sebagai bahan pengikat [4,5]. Adanya penambahan polimer ini, menjadikan proses pembuatan magnet bisa lebih sederhana serta memungkinkan untuk aplikasi atau bentuk-bentuk magnet yang rumit. Tingginya magnetisasi remanen, koersivitas intrinsik dan produk energi yang dimiliki serbuk magnet ini diharapkan dapat mengimbangi efek penurunan sifat magnet akibat turunnya kandungan serbuk magnet dalam bahan *bonded* sehingga diperoleh bahan magnet dengan sifat magnet yang tetap *feasible*.

Salah satu jenis polimer yang banyak digunakan sebagai bahan pengikat adalah polimer termoset epoksi [4]. Hasil studi pembuatan magnet *bonded* dengan bahan ini sebagai pengikat, dalam skala laboratorium, menunjukkan adanya proses pembuatan yang lebih sederhana dibanding

proses sinter. Sifat magnet yang dihasilkan juga masih kompetitif dibanding sifat magnet ferit sinter [6].

Namun demikian untuk pembuatan magnet *bonded* ini dalam jumlah besar, dalam skala produksi misalnya, ada beberapa faktor yang dapat menghambat kelancaran produksi. Faktor-faktor tersebut antara lain faktor viskositas bahan polimer yang tinggi serta kondisi campuran yang cepat membeku/mengeras [7]. Tingginya viskositas bahan epoksi mengakibatkan campuran menjadi lengket sehingga bahan tidak mudah mengalir dalam cetakan terutama untuk campuran dengan komposisi serbuk yang tinggi serta bentuk cuplikan yang rumit. Sedangkan faktor kedua akan memberikan interval waktu yang terbatas untuk pemrosesan bahan dalam jumlah yang besar.

Salah satu usaha untuk menanggulangi hal ini adalah penambahan pengencer pada sistem campuran [8]. Penambahan pengencer reaktif glycidyl ether pada epoksi cair produk DOW menunjukkan penurunan viskositas dari nilai (7000-10000) cps menjadi (500-700) cps [9]. Makalah ini melaporkan hasil studi penambahan beberapa jenis pengencer baik yang bersifat reaktif yaitu PO (Propylene Oxide) dan PPG (Poly Propylene Glycol) maupun non-reaktif *xylene* pada campuran magnet *bonded* berbasis serbuk  $Nd_2Fe_{14}B$  dan epoksi. Studi dilakukan untuk mempelajari pengaruh jenis dan jumlah pengencer yang ditambahkan pada proses pembuatan serta sifat-sifat yang dimiliki magnet *bonded* terutama dikaitkan dengan proses produksi magnet *bonded* dalam jumlah besar. Cuplikan magnet yang dibuat adalah magnet berbentuk kurva untuk sistem motor listrik dc sederhana.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan

Serbuk magnet berbasis  $Nd_2Fe_{14}B$  yang digunakan adalah serbuk hasil proses *melt-spinning* MQP-0 (produksi *Magnequench International Inc.*). Serbuk ini mempunyai harga magnetisasi remanens,  $M_r$  7,21 kG. Sedangkan epoksi yang digunakan adalah campuran resin jenis EPOSIR7120 dan pengeras Versamid dengan perbandingan berat 1 : 1. Untuk pengencer non-reaktif digunakan *Xylene G* (Xy) produksi Merck Inc. dengan titik didih ( $T_d$ ) = 137 °C; kerapatan ( $\rho$ ) = 0,86 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan untuk pengencer semi reaktif dan reaktif masing-masing digunakan Polypropilene Glycol (PPG) produksi Aldrich ( $\rho$  = 1,004 g/cm<sup>3</sup>) dan Propylene Oxide (PO) produksi Merck Inc. ( $T_d$  = 35 °C;  $\rho$  = 0,83 g/cm<sup>3</sup>) [10,11]. Usaha pengenceran dilakukan untuk magnet *bonded* dengan komposisi serbuk magnet 70 %fraksi volume dan 80%fraksi volume. Ketiga pengencer yang ditambahkan masing-masing divariasikan dengan variasi resin, pengeras dan pengencer ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi perbandingan berat resin epoksi, pengeras dan pengencer.

Kode Cuplikan	Resin	Pengeras	Pengencer
S1	4	4	0
S2	4	4	1
S3	4	4	2
S4	4	4	4

### Cara Kerja

Sintesis magnet *bonded* diawali dengan pencampuran bahan polimer dengan pengencer sehingga diperoleh larutan yang homogen. Selanjutnya dalam larutan ini ditambahkan serbuk magnet dan diaduk. Pengadukan dilakukan untuk mendapatkan campuran yang homogen dan untuk mengetahui waktu beku ( $t_b$ , dalam jam) yaitu waktu dimana campuran mulai kehilangan formabilitasnya yang ditandai dengan campuran yang mulai mengeras/menggumpal. Campuran ini kemudian dicetak menjadi magnet bentuk kurva dengan parameter tekan 5 ton/cm<sup>2</sup>. Proses pematangan/*curing* polimer dilakukan dengan memanggang cuplikan magnet *bonded* pada suhu 100 °C selama 2 jam.

Cuplikan magnet *bonded* berbentuk kurva yang didapat selanjutnya diukur kerapatannya ( $\rho$ , dalam gram/cm<sup>3</sup>), sifat magnet dan sifat mekaniknya. Kerapatan diukur dengan menggunakan piknometer. Untuk pengukuran sifat magnet, cuplikan terlebih dahulu dimagnetisasi menggunakan elektromagnet dengan medan luar maksimal 2 Tesla. Selanjutnya besaran magnetisasi remanen  $M_r$ , yaitu harga magnetisasi bahan yang masih tersisa setelah medan luar dihilangkan diukur menggunakan DC Magnetometer dari AlphaLab. Inc. USA.

Pengujian sifat mekanik yaitu kekerasan bahan dilakukan dengan menggunakan Micro Hardness Tester Type M Merk Shimadzu yang terpasang di Laboratorium BKI-P3IB-BATAN [12]. Pada pengujian, cuplikan ditekan dengan menggunakan indenter piramida intan Vickers yang diberi suatu beban P dengan periode pembebanan tertentu. Nilai kekerasan Vickers (HV) dihitung dengan mengukur diagonal bekas injakan indenter (d) dan menggunakan rumus:

$$HV = 1854,4 P/d^2$$

Data dilengkapi dengan hasil pengamatan foto mikroskop optik bahan untuk melihat tingkat homogenitas campuran. Selain itu, untuk mengamati pengaruh waktu proses pembuatan, dilakukan studi pencetakan cuplikan pada interval waktu yang berbeda sebelum waktu beku. Pengamatan dilakukan pada cuplikan dengan waktu beku terpanjang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum penambahan pengencer menyebabkan campuran lebih encer dan tidak lengket

**Tabel 2.** Kondisi proses dan karakter magnet bonded (komposisi 70 %v/v MQP-0 dan 30 %v/v polimer) dengan berbagai jenis dan komposisi pengencer.

Pengencer	Kode cuplikan	t <sub>b</sub> (jam)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	M <sub>r</sub> (kG)	Kekerasan (HV)
Xylene (Xy)	S1	0,75	4,627	4	11,05
	S2	1,5	4,2339	3,4	22,9
	S3	2,25	4,5019	3,9	26,53
	S4	3,417	4,8206	4	27,83
Poly Propilene Glycol (PPG)	S1	0,75	4,627	4	11,05
	S2	1,75	4,2146	3,4	12,75
	S3	2,5	4,6331	3,8	17,65
	S4	4,5	4,3914	3,5	11,095
Propilene Oxide (PO)	S1	0,75	4,627	4	11,05
	S4	1,25	4,5279	3,75	12,71

atau menurunkan tingkat viskositas campuran. Waktu beku (t<sub>b</sub>) cenderung meningkat dengan bertambahnya jumlah pengencer. Demikian pula sifat-sifat yang lain yang meliputi kerapatan (ρ), magnetisasi remanens (M<sub>r</sub>) dan kekerasan bahan cenderung terpengaruh dimana tingkat pengaruh yang terjadi akan bergantung pada jenis dan jumlah pengencer yang ditambahkan. Hasil pengukuran selengkapnya diberikan pada Tabel 2.

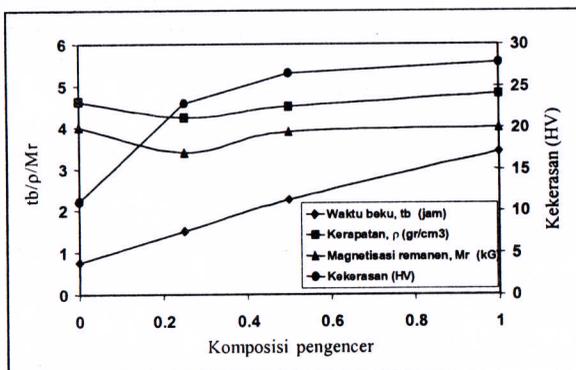
Penambahan pengencer secara umum menyebabkan penurunan viskositas sehingga molekul resin dan pengeras menjadi lebih bebas bergerak dan dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya reaksi antar molekul dan pembentukan ikatan silang antara molekul resin. Makin banyak pengencer maka makin bebas gerak molekul resin dan kemungkinan terjadinya ikatan silang dan reaksi dengan pengeras akan meningkat pula. Faktor ini akan diimbangi oleh faktor reaksi antara pengencer dengan resin ataupun pengeras. Faktor-faktor ini akan berbeda bergantung pada jenis dan tingkat reaktivitas pengencer yang diberikan.

Pada kasus pengenceran dengan xylene yang bersifat non-reaktif, xylene akan berperan sebagai solvent (pelarut) yang tidak memiliki gugus aktif yang dapat bereaksi baik dengan gugus aktif resin maupun pengeras. Selama proses, xylene diharapkan akan menguap sempurna sehingga fraksi polimer dalam bahan tidak berubah. Harga waktu beku terutama akan ditentukan oleh waktu penguapan xylene karena kondisi

beku akan dicapai pada saat xylene telah menguap seluruhnya. Artinya waktu beku akan menjadi lebih lama dengan bertambahnya xylene dan mengalami kenaikan linier seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Dengan adanya xylene sebagai pelarut maka sistem polimer menjadi lebih homogen dan kemungkinan terjadi ikatan silang dan reaksi antara resin dan pengeras semakin besar. Hal ini tercermin pada peningkatan kekerasan bahan. Namun demikian kerapatan bahan cenderung turun pada saat xylene yang ditambahkan masih terlalu sedikit (cuplikan S2) dan meningkat pada pemberian selanjutnya karena kemungkinan ikatan silang yang terbentuk semakin besar sehingga kekerasan akan semakin meningkat. Hal yang sama berlaku untuk kerapatan yang diperoleh seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Untuk magnet bonded dengan komposisi 80 %v/v MQP-0 dan 20 %v/v polimer, sedikitnya jumlah resin lebih berperan dalam penentuan sifat-sifat ini. Peningkatan pengencer xylene, yang diharapkan menguap selama proses, memang menambah waktu beku. Namun bila xylene yang ditambahkan terlalu banyak malah akan memberikan pengaruh negatif karena proses pembentukan ikatan silang dan reaksi telah selesai sedangkan penguapan xylene mungkin belum sempurna. Sehingga makin banyak xylene yang ditambahkan akan makin banyak yang masih tersisa (terjebak ataupun mengakibatkan terbentuknya pori) yang secara keseluruhan akan menurunkan sifat magnet bonded yang dihasilkan terutama kekerasan seperti terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 2.

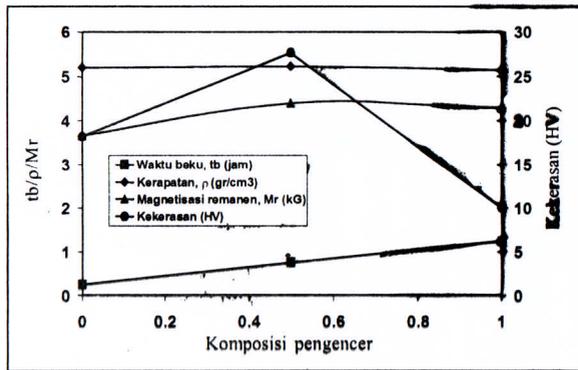
Untuk kasus pengenceran dengan pengencer reaktif, sebagian gugus epoksi pada resin ataupun gugus aktif pengeras dapat bereaksi dengan gugus aktif yang dimiliki oleh pengencer. Pada reaksi ini akan terjadi pemutusan reaksi sehingga reaksi antara resin dan



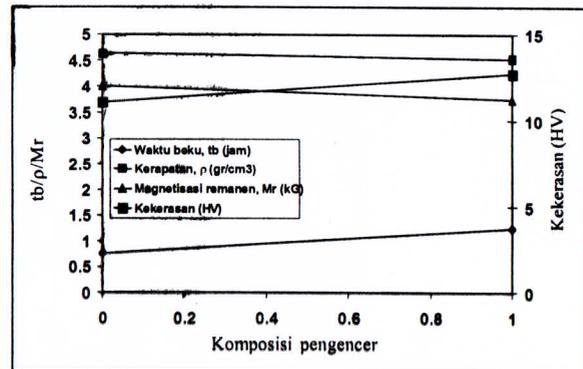
**Gambar 1.** Perubahan karakter magnet bonded (komposisi 70 %v/v MQP-0 dan 30 %v/v polimer) akibat penambahan pengencer xylene.

**Tabel 3.** Kondisi proses dan karakter magnet bonded (komposisi 80 %v/v MQP-0 dan 20 %v/v polimer) dengan pengencer xylene

Kode cuplikan	t <sub>b</sub> (menit)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	M <sub>r</sub> (kG)	Kekerasan (HV)
S1	15	5,2003	3,65	18,22
S3	45	5,2334	4,4	27,67
S4	75	5,1500	4,3	10

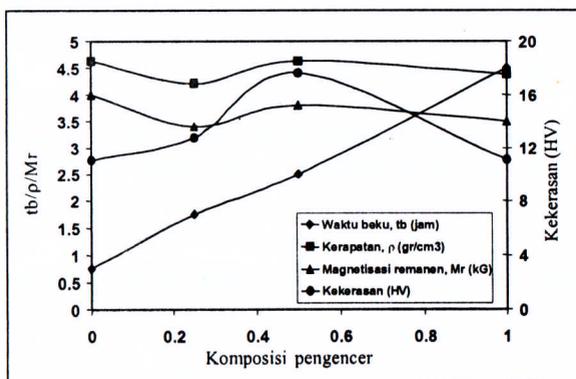


Gambar 2. Perubahan karakter magnet bonded (komposisi 80 %v/v MQP-0 dan 20 %v/v polimer) akibat penambahan pengencer xylene.



Gambar 4. Perubahan karakter magnet bonded (komposisi 70 %v/v MQP-0 dan 30 %v/v polimer) akibat penambahan pengencer Propylene Oxide (PO).

pengeras serta pembentukan ikatan silang akan meningkat. Namun reaksi ini juga akan meningkatkan fraksi volume polimer secara keseluruhan yang menimbulkan efek dilusi. Dua faktor ini akan bersaing dalam mempengaruhi besarnya perubahan sifat yang terjadi pada bahan. Besar peningkatan reaksi yang terjadi akan bergantung pada kereaktifan gugus aktif pengencer yang diberikan. Pengencer PO memiliki gugus aktif epoksi yang terikat dan lebih reaktif dibanding gugus OH yang dimiliki oleh pengencer PPG sehingga reaksi polimerisasi lebih cepat selesai dan PO cenderung habis bereaksi. Hal ini berakibat campuran dengan pengencer PO lebih cepat beku dengan kecenderungan penurunan sifat bahan karena efek dilusi yang lebih berperan seperti yang terlihat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 4. Sedangkan untuk sistem dengan pengencer PPG, waktu beku cenderung lebih panjang karena reaksi berjalan lebih lambat dan pengencer PPG cenderung masih tersisa sampai batas waktu selesainya reaksi polimerisasi. Akibatnya kerapatan dan kekerasan bahan cenderung turun lebih tajam dengan makin meningkatnya jumlah pengencer. Namun demikian dalam komposisi yang sesuai dapat diperoleh peningkatan waktu beku, kerapatan maupun kekerasan bahan seperti yang diperoleh pada cuplikan S2. Dalam komposisi ini efek peningkatan jumlah gugus



Gambar 3. Perubahan karakter magnet bonded (komposisi 70 %v/v MQP-0 dan 30 %v/v polimer) akibat penambahan pengencer Poly Propylene Glycol (PPG).

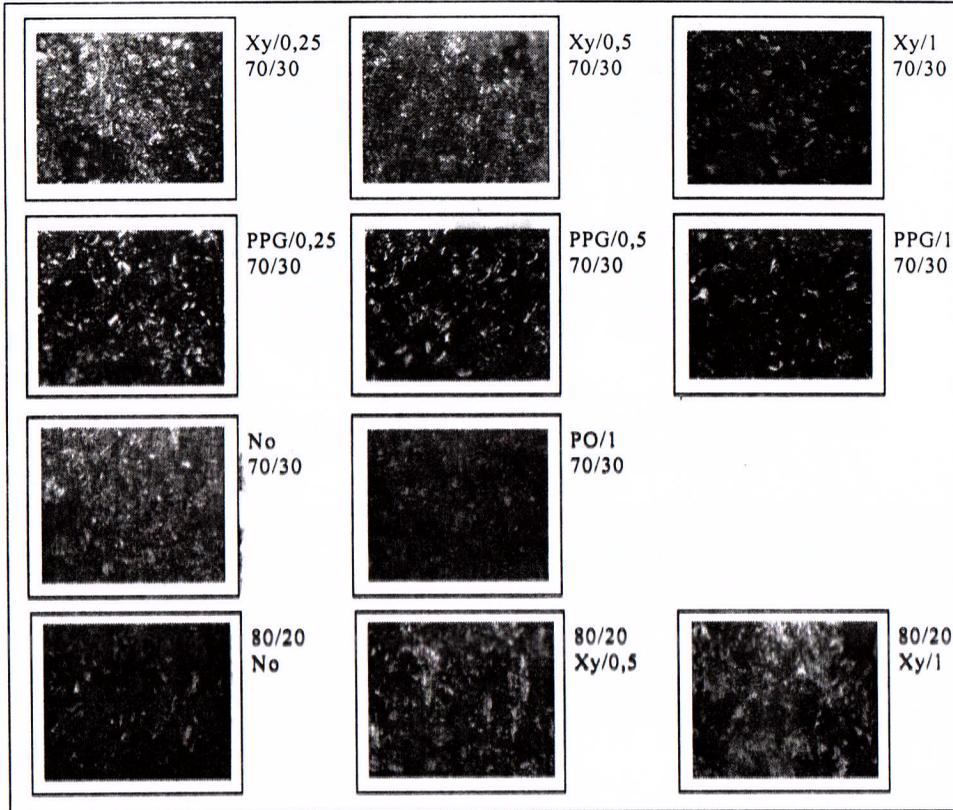
reaktif dan ikatan silang sebanding dengan efek dilusi akibat peningkatan fraksi volum polimer secara total.

Secara visual kondisi kerapatan bahan ini dapat dilihat pada hasil foto mikroskop optik pada Gambar 5. Kerapatan yang tinggi akan tercermin pada sebaran serbuk yang lebih merata dan rapat. Makin rendah densitas makin tak merata dan kurang rapat sebaran serbuk.

Analisis ini juga didukung oleh data yang diperoleh pada pengamatan waktu proses. Pada pengamatan waktu proses, cuplikan S4 dicetak dalam interval tertentu sebelum waktu beku. Data kondisi proses dan karakter magnet bonded yang dihasilkan diberikan pada Tabel 4 dan Gambar 6 dan Gambar 7. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama proses pengadukan memang akan makin besar kemungkinan terjadinya ikatan silang dan reaksi antara molekul-molekul dalam sistem campuran dan terjadi peningkatan sifat kekerasan bahan. Artinya makin lama waktu proses cenderung menimbulkan efek positif pada kedua sifat ini karena akan makin sempurna reaksi ataupun penguapan yang terjadi. Namun sampai batas waktu proses tertentu, penambahan waktu tidak lagi memberikan efek positif pada sifat bahan. Hal ini menunjukkan telah selesainya reaksi antara epoksi dan pengeras. Campuran sebagian mulai mengering dan menggumpal. Pengencer yang tersisa dapat terjebak atau menimbulkan pori dalam sistem campuran. Kondisi ini tercermin pada sebaran kerapatan bahan dalam berbagai waktu yang ditunjukkan oleh hasil pengamatan foto mikroskop optik pada Gambar 8.

Tabel 4. Kondisi proses dan karakter magnet bonded (komposisi 70 %v/v MQP-0 dan 30 %v/v polimer) dengan pengencer xylene dan PPG pada berbagai waktu proses.

Pengencer	Waktu Proses (jam)	P (g/cm <sup>3</sup> )	M <sub>r</sub> (kG)	Kekerasan (HV)
Xylene	2	4,5248	4	7,31
	3	4,9599	4,3	18,6
	3,5	4,8206	4	27,83
Polypropilene Glycol (PPG)	1,25	4,3689	3,75	7,54
	2,25	4,9989	4	13,58
	3,5	4,6331	3,8	17,65

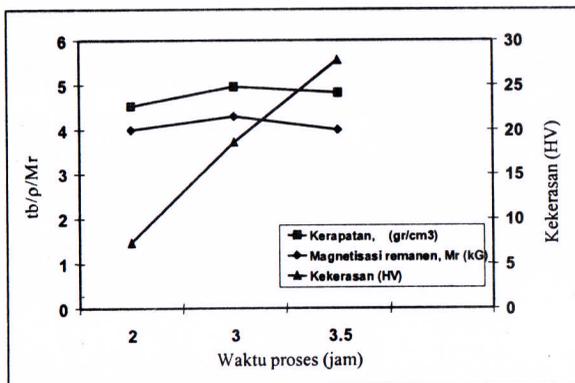


**Gambar 5.** Struktur Mikro berbagai cuplikan hasil pengenceran dengan perbandingan volume serbuk magnet/polimer 70/30 dan 80/20.

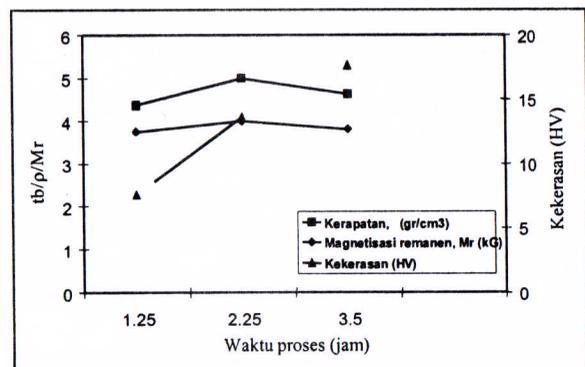
Untuk pengukuran sifat magnet, harga magnetisasi remanensi,  $M_r$  tertinggi yang dapat dicapai pada pembuatan ini adalah 4,3 kG untuk cuplikan dengan komposisi 70 %v/v MQP-0 / 30 %v/v polimer dan 4,4 kG untuk cuplikan dengan komposisi 80 %v/v MQP-0 / 20 %v/v polimer.

Secara teoritis, dengan asumsi kebergantungan linier magnetisasi remanensi terhadap %volume, serbuk magnet, harga  $M_r$  pada bahan-bahan ini akan mencapai maksimal 4,9 kG dan 5,6 kG. Proses magnetisasi dalam bahan magnet secara umum akan bergantung pada besarnya medan magnet luar yang digunakan dan interaksi magnetik yang terjadi dalam bahan. Medan

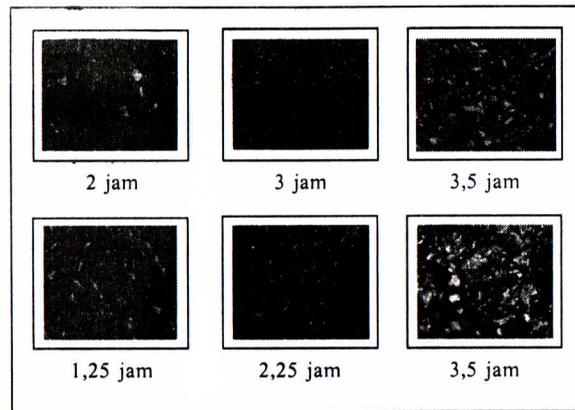
magnet luar ini akan digunakan untuk menyearahkan momen-momen magnetik dalam bahan dan besarnya akan bergantung pada jenis bahan magnet. Untuk magnet berbasis  $Nd_2Fe_{14}B$  medan magnet luar yang biasa digunakan 4 Tesla. Dalam studi ini, medan luar yang digunakan hanya mencapai 2 Tesla. Interaksi magnetik dalam bahan akan terjadi baik antar *spin* dalam domain, antar domain dalam serbuk maupun antar serbuk magnet dalam bahan. Masing-masing jenis interaksi ini akan bergantung pada jarak antar komponen yang berinteraksi. Kehadiran polimer diantara serbuk selain menurunkan total fraksi serbuk magnet dalam bahan juga akan memperbesar jarak antar serbuk



**Gambar 6.** Karakter Magnet bonded (komposisi 70 %v/v MQP-0 dan 30 %v/v polimer) akibat penambahan xylene pada berbagai waktu proses.



**Gambar 7.** Karakter Magnet bonded (komposisi 70 %v/v MQP-0 dan 30 %v/v polimer) akibat penambahan polypropilene glycol pada berbagai waktu proses.



Gambar 8. Strukturmikro cuplikan pada berbagai waktu proses dan pengencer xylene (baris 1) dan PPG (baris 2).

sehingga interaksi magnetik antar serbuk akan melemah. Selain itu pada proses kompaksi juga kurang maksimal karena adanya keterbatasan alat tekan dan cetak (*dies*) yang mengakibatkan kurang optimalnya kerapatan bahan yang akan makin memperbesar jarak antar serbuk. Kondisi-kondisi ini menjadikan pencapaian sifat magnet yang diperoleh, dalam hal ini magnetisasi remanen  $M_r$ , belum maksimal.

## KESIMPULAN

Dari kegiatan sintesis dan karakterisasi bahan *bonded magnet* berbasis serbuk magnet  $Nd_2Fe_{14}B$  dan polimer epoksi yang diencerkan dapat disimpulkan bahwa :

1. Kehadiran pengencer meningkatkan kemudahan proses sintesis dan memberikan waktu produksi yang lebih lama.
2. Dari berbagai jenis pengencer yang diberikan serta pengaruhnya pada empat jenis sifat yang diukur yaitu waktu beku, kerapatan, kekerasan dan magnetisasi sisa, pengencer non-reaktif xylene memberikan pengaruh yang lebih positif dibanding pengencer reaktif PPG maupun PO.
3. Perubahan sifat-sifat ini juga akan dipengaruhi oleh pemilihan waktu proses pencetakan cuplikan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan RUK dengan judul *Membangun Industri Pilot Manufaktur Bahan Bonded Magnet*. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi (KRT) dan PIMPRO RUK sebagai pengelola kegiatan RUK. Juga kepada PT. ABADINUSA USAHASEMESTA sebagai mitra RUK atas dukungannya dalam kegiatan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. SAGAWA, S. FUJIMURA, N. TOGAWA, H. YAMAMOTO, and Y. MATSUURA, *J. Appl. Phys.*, **55**, (1984) 2083
- [2]. STEVE CONSTANTINIDES, *Magnet Selection, Pres. at Sintered & Bonded NdFeB Magnets-2003*, (2003)
- [3]. DAVID BROWN, BAO-MIN MA, ZHONGMIN CHEN, *J. of Magn. Magn. Mat.*, **248** (2002) 432-440
- [4]. B.M. MA, J.W. HERCHENROEDER, B. SMITH, M. SUDA, D.N. BROWN, Z. CHEN, *J. of Magn. Magn. Mat.*, **239** (2002) 418-423
- [5]. JOHN ORMEROD, *Bonded Magnets : A Major Force for 21<sup>st</sup> Century*, pres. at Poly
- [6]. *Laporan Tahunan, Studi Peningkatan Bahan Rigid Bonded Magnet (RBM) untuk Tujuan Manufaktur, Kelompok Bahan Magnet, P3IB-BATAN*, (2000)
- [7]. *Laporan Kemajuan Kegiatan Riset Unggulan Kemitraan-VII (RUK-VII) TA 2001, Membangun Industri Pilot Manufaktur Bahan Bonded Magnet, P3IB-BATAN dan PT. ABADINUSA USAHA SEMESTA*, (2001).
- [8]. TADAHIRO MITSUWA, *Kiso Gosei Jushi no Kagaku*, (Jpn), Gihodo Publishing, Tokyo, (1989) 391-392
- [9]. Liquid Epoxy Resin at <http://www.dow.com/epoxy/ap/res.htm>
- [10]. E. MERCK, *Reagents, Diagnostics and Chemicals Catalogue*, (1990/1991) 1053 and 1317
- [11]. ALDRICH, *Handbook of Fine Chemicals and Laboratory Equipment*, (2003-2004) 1540
- [12]. *Prosedur Tetap Pengoperasian Alat Micro Hardness Tester*, Laboratorium BKI-P3IB-BATAN