

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.MPS.19

TEKANAN UDARA DALAM PROSES CURING PADA PEMBUATAN MAGNET PERMANEN BONDED NdFeB

Silviana Simbolon^{1,2}, Candra Kurniawan^{2,a)}, Djuhana¹, Perdamean Sebayang^{1,2}

¹Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No 1, Tangerang Selatan, 15417

²Pusat penelitian Fisika LIPI, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, 15314

Email: ^{a)}candra.fisika.lipi@gmail.com

Abstrak

Dalam penelitian ini telah dilakukan investigasi efek tekanan udara pada proses *curing* terhadap sifat fisis dan magnetik material magnet permanen bonded NdFeB. Proses sintesis bonded magnet dilakukan dengan metode *compression molding* dengan campuran perekat epoxy 3 wt%. Proses pencetakan dilakukan secara *uniaxial* dengan tekanan 200 MPa. Efek tekanan udara pada proses *curing* divariasikan sebesar 10, 200, dan 500 mbar, sementara temperatur *curing* dijaga konstan pada suhu 150 °C selama 2 jam. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa nilai densitas *bulk* yang diperoleh meningkat dengan meningkatnya tekanan udara. Sifat kemagnetan material bonded NdFeB juga semakin meningkat sebanding dengan peningkatan tekanan udaranya dengan nilai densitas fluks magnetik terbesar mencapai 1045 G. Namun demikian, nilai kekerasan pada magnet bonded NdFeB berbanding terbalik terhadap tekanan udara dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 167,8 Hv pada tekanan udara 10 mbar.

Kata-kata kunci: Bonded NdFeB, Curing, Atmosfer, Kekerasan.

Abstract

In this study, we have been investigated the effect of air pressure during curing process to the characteristics of bonded NdFeB permanent magnet. The bonded NdFeB was synthesized by compression molding method with addition of 3 wt% epoxy adhesive. The uniaxial pressure of 200 MPa was performed in the compression process. The variation of air pressure was 10, 20, and 500 mbar, while the curing temperature was constant at 150 °C for 2 hours. The result shows that bulk density increases as the air pressure increases. The magnetic characterization of bonded NdFeB magnet also increases with maximum flux density of 1045 G. However, the hardness of bonded magnet NdFeB decreases as the air pressure increases with highest hardness value of 167,8 Hv at atmosphere pressure 10 mbar.

Keywords: Bonded NdFeB, Curing, Atmosphere, Hardness

PENDAHULUAN

Magnet permanen telah banyak diaplikasikan dalam industri maupun kehidupan sehari-hari. Magnet permanen NdFeB merupakan magnet berbasis logam tanah jarang yang memiliki

karakteristik koersivitas, remanensi, energi produk, dan saturasi yang tinggi [1,2]. Magnet NdFeB dapat dibuat dalam bentuk bonded magnet dengan menambahkan perekat polimer dan dicetak dalam bentuk komposit. Kelebihan dari magnet permanen bonded NdFeB adalah lebih tahan terhadap korosi, mudah dibentuk dan relatif murah dalam proses pembuatan [3]. Magnet bonded NdFeB ini banyak diaplikasikan pada berbagai peralatan seperti motor listrik, *speaker*, *CD player*, *oven microwave* [4].

Oleh karena itu, banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengoptimasi pembuatan dari magnet bonded NdFeB. Herchenroeder dkk., melakukan penelitian mengenai proses *Combustion Driven Compaction* yang digunakan pada proses kompaksi magnet bonded NdFeB sehingga mampu menghasilkan densitas sampel mencapai 6.5 g/cm³ dengan menggunakan epoxy sebesar 1.6 wt% [5]. Sedangkan Perigo dkk., telah menganalisis efek tahap kompaksi terhadap sifat korosi magnet bonded NdFeB pada variasi waktu dan suhu *aging* [6]. Zhang et al., mempelajari mekanisme kerusakan dari proses pemanasan magnet NdFeB berdasarkan hasil pemodelan retakan efek dari kekuatan dan kekerasan logam alloy [7].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan analisis sifat fisis dan magnetik dari pembuatan magnet *isotropic* bonded Pr-Fe-B pada kondisi *low* vakum. Ditunjukkan bahwa sifat magnetik berbanding terbalik terhadap suhu curing pada kondisi vakum dan efek *aging* menunjukkan bahwa peningkatan waktu *aging* pada curing *low* vakum meningkatkan sifat fisis dari magnet NdFeB. [8]. Namun demikian, karakteristik dari magnet permanen bonded NdFeB sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur magnet yang terbentuk. Nilai koersivitas dan energi produk akan sangat berbeda saat dilakukan perbedaan teknik pembuatan pada proses produksi material magnet NdFeB.

Resin epoxy digunakan sebagai perekat pada pembuatan magnet bonded NdFeB yang memiliki suhu *melting/curing* pada temperatur 150 - 200 °C. Penambahan resin epoxy meningkatkan ketahanan korosi magnet, sehingga tidak mudah teroksidasi dan meningkatkan sifat magnetik untuk diaplikasikan sebagai magnet permanen [9]. Namun, penelitian yang membahas efek tekanan udara pada proses curing terhadap karakteristik magnet bonded NdFeB masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan studi lanjut mengenai proses curing untuk mencapai kondisi optimal karakteristik magnet permanen bonded NdFeB dengan perekat polimer epoxy.

Pada penelitian ini kami menganalisa efek dari variasi tekanan udara (10, 200 dan 500 mbar) saat proses curing terhadap karakteristik fisis dan magnetik dari magnet bonded NdFeB berbentuk silinder dengan resin epoxy sebagai matriks. Analisis sifat fisis dan magnetik yang dibahas antara lain densitas, mikrostruktur, densitas fluks magnetik dan kekerasan Vickers dari magnet bonded NdFeB.

METODE PENELITIAN

IAN

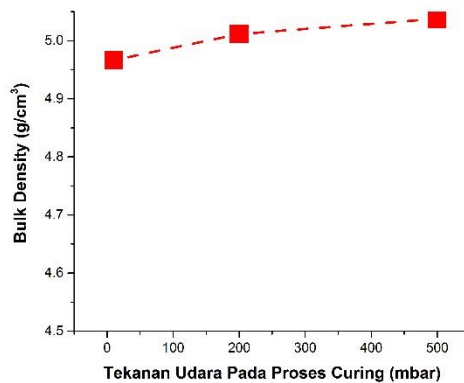
Proses sintesis magnet bonded NdFeB menggunakan bahan magnetik serbuk MQP-B+ dari magnequench.inc yang digerus menggunakan mortar hingga lolos ayakan 325 mesh (~ 45 mikron). Bahan magnetik NdFeB dicampur dengan resin epoxy sebanyak 3 wt% sehingga massa total sampel mencapai 5 gram. Serbuk campuran NdFeB – epoxy dikompaksi secara uniaksial menggunakan *hydraulic press* membentuk silinder dengan diameter 2 cm, menggunakan tekanan 200 MPa yang ditahan selama 3 menit. Sampel bonded NdFeB hasil kompaksi dipanaskan (*curing*) menggunakan *varcuum drier* pada temperatur 150 °C dan ditahan selama 2 jam dengan variasi tekanan atmosfer 10, 200 dan 500 mbar.

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian antara lain pengukuran densitas padatan menggunakan metode archimedes sesuai ASTM C373, analisis mikrostruktur permukaan menggunakan Optical Microscope Leco LM 100AT. Sampel dimagnetisasi dengan impulse magnetizer Magnet-Physik Type K pada tegangan 1,8 kV dan arus 6 kA dan diukur sifat magnetiknya menggunakan gaussmeter. Pengukuran kekerasan magnet menggunakan Automatic Microhardness Tester Bestscope tipe BS6000 AT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

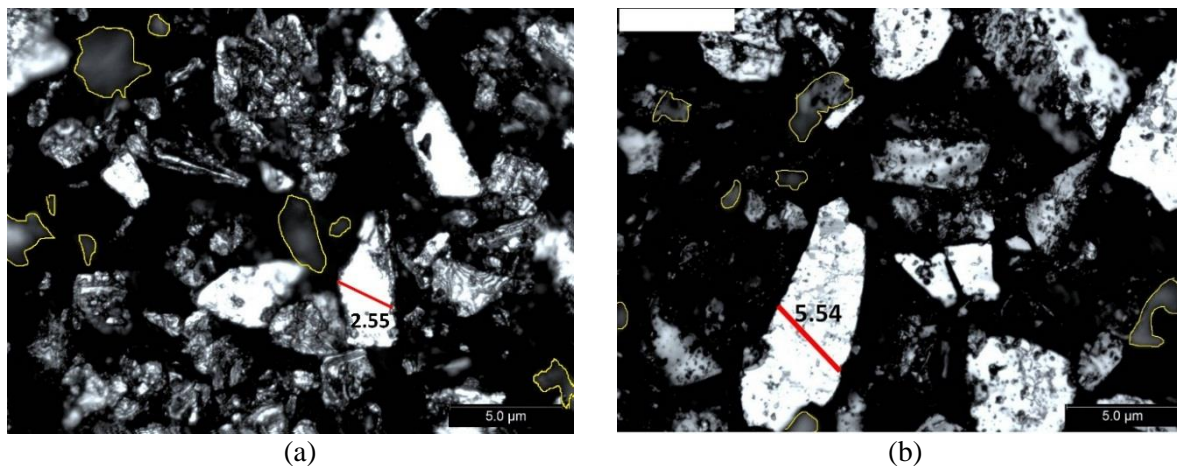
Hasil pengujian densitas sampel magnet permanen bonded NdFeB ditunjukkan pada GAMBAR 1. Dari hasil pengukuran ditunjukkan bahwa densitas sampel meningkat dengan meningkatnya variasi tekanan udara pada proses sintesis magnet permanen. Hal ini menunjukkan bahwa sampel bonded NdFeB semakin padat jika dipanaskan pada tekanan udara mendekati kondisi normal (tanpa vakum).

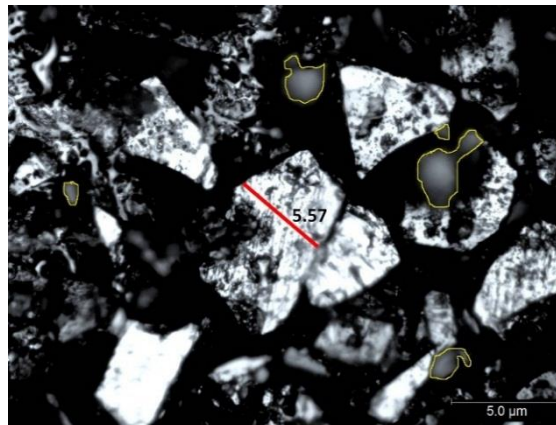
Proses cross-linked pada proses polimerisasi bahan termoset epoxy diketahui berada disekitar suhu 150 °C [10], sehingga diharapkan dapat menghasilkan kerapatan partikel yang optimal. Namun demikian, tekanan udara yang digunakan pada proses curing dapat menyebabkan sampel menjadi lebih berongga yang dapat menurunkan nilai densitas.



GAMBAR 1. Grafik pengaruh tekanan udara terhadap densitas bulk magnet permanen bonded NdFeB.

Gambar permukaan sampel magnet bonded NdFeB dengan variasi tekanan udara curing 10, 200, dan 500 mbar menggunakan mikroskop optik (OM) diperlihatkan pada GAMBAR 2. Ditunjukkan bahwa dengan meningkatnya tekanan udara yang digunakan mempengaruhi distribusi butir pada permukaan magnet dan mendorong pembentukan pori yang terjadi pada permukaan magnet bonded NdFeB. Bentuk partikel yang terdistribusi pada permukaan magnet permanen bonded NdFeB adalah irregular dan memanjang [11]. Ditunjukkan bahwa kenaikan *bulk density* diduga dipengaruhi juga oleh adanya distribusi dari butir yang tersebar dengan baik ke seluruh permukaan sampel. Dari GAMBAR 2, ditunjukkan bahwa ukuran butir yang berada di permukaan sampel meningkat sebanding dengan tekanan udara pada proses curing.

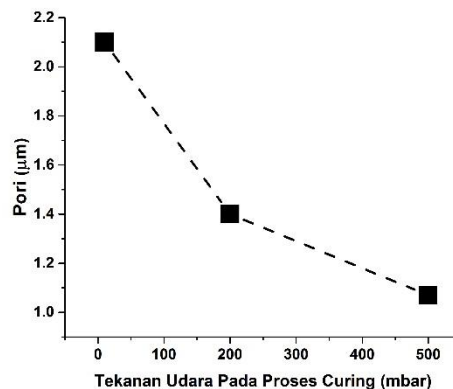




(c)

GAMBAR 2. Hasil analisis mikroskop optik (OM) permukaan magnet permanen bonded NdFeB pada perbesaran 400× dengan variasi tekanan udara curing (a)10 mbar, (b) 200 mbar, dan (c) 500 mbar.

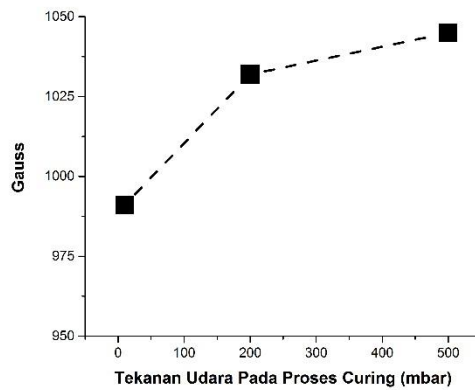
Dari gambar analisis mikroskop optik juga dapat diinvestigasi munculnya pori pada permukaan sampel magnet bonded NdFeB. Rerata ukuran pori yang muncul pada permukaan magnet dengan variasi tekanan udara curing ditunjukkan pada GAMBAR 3. Diperlihatkan bahwa semakin meningkatnya tekanan udara pada proses curing menurunkan ukuran pori yang terbentuk pada permukaan magnet bonded NdFeB [8]. Hal ini sebanding dengan peningkatan densitas yang dibahas sebelumnya. Dengan semakin kecil pori yang terbentuk maka densitas bulk magnet juga semakin tinggi. Hal ini diharapkan memberi dampak pada karakteristik magnetik yang juga semakin baik.



GAMBAR 3. Grafik pengaruh tekanan udara terhadap ukuran pori permanen bonded NdFeB.

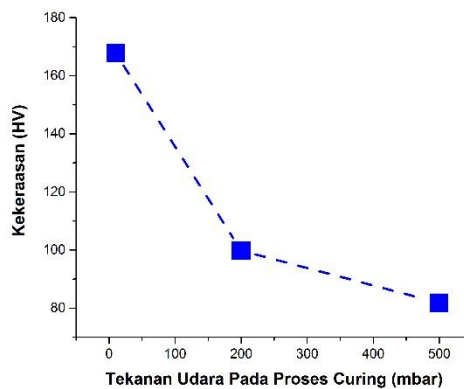
Dari GAMBAR 4 ditunjukkan bahwa terjadinya peningkatan sifat kemagnetan magnet permanen bonded NdFeB melalui pengukuran medan magnetik permukaan menggunakan Gaussmeter setelah proses magnetisasi sampel dengan impuls magnetizer pada tegangan 1,8 kV dan arus 6 kA. Dari gambar ditunjukkan karakteristik densitas fluks magnetik pada permukaan sampel berada pada rentang 990-1045 Gauss [12]. Seperti diperlihatkan pada GAMBAR 5, terlihat bahwa kenaikan nilai densitas fluks magnetik (Gauss) meningkat sebanding dengan peningkatan densitas bulk dan tekanan udara curing. Efek pengecilan ukuran pori juga berkontribusi terhadap peningkatan densitas fluks magnetik sebanding dengan peningkatan tekanan udara curing.

Namun hasil yang berbanding terbalik terjadi pada hasil pengukuran kekerasan Vickers sampel magnet permanen bonded NdFeB. Seperti ditunjukkan pada GAMBAR 5, terlihat bahwa terjadi penurunan yang sangat signifikan terhadap nilai kekerasan dengan meningkatnya tekanan udara pada proses curing. Nilai kekerasan tertinggi dari magnet permanen bonded NdFeB dicapai pada saat tekanan udara 10 mbar sebesar 167,8 Hv.



GAMBAR 4. Grafik pengaruh tekanan udara curing (vakum) terhadap densitas fluks magnetik pada magnet permanen bonded NdFeB.

Ini diduga terjadi akibat adanya polimerisasi *cross-linked* yang tidak merata pada binder epoxy yang digunakan dalam sampel magnet bonded NdFeB. Berdasarkan karakteristik kekerasan ini, diperlihatkan bahwa terjadinya proses polimerisasi *cross-link* pada bahan binder epoxy dapat dipermudah pada kondisi udara mendekati tekanan vakum. Sehingga menghasilkan sifat material yang lebih *brittle* saat tekanan udara pada proses curing rendah dan *ductile* saat ditingkatkan.



GAMBAR 5. Grafik pengaruh tekanan udara terhadap kekerasan Vickers magnet permanen bonded NdFeB.

KESIMPULAN

Pada penelitian, ini, telah dilakukan studi efek tekanan udara dalam proses *curing* pada proses pembuatan magnet permanen bonded NdFeB. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa nilai densitas *bulk* yang diperoleh meningkat dengan meningkatnya tekanan udara. Sifat kemagnetan material bonded NdFeB juga semakin meningkat sebanding dengan peningkatan tekanan udaranya dengan nilai densitas fluks magnetik terbesar mencapai 1045 G. Namun demikian, nilai kekerasan pada magnet bonded NdFeB berbanding terbalik terhadap tekanan udara dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 167,8 Hv pada tekanan atmosfer 10 mbar. Hal ini disebabkan oleh proses polimerisasi yang terjadi lebih cepat pada kondisi tekanan atmosfer rendah. Sehingga menghasilkan dua sifat material yang berbeda yakni *brittle* saat tekanan udara pada proses curing rendah dan lebih *ductile* saat ditingkatkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan penelitian ini merupakan bagian dari Program Penelitian Mandiri (DIPA), Pusat Penelitian Fisika LIPI tahun anggaran 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Wang, B. J. Bowers, D. P. Arnold, "Wax-bonded NdFeB micromagnets for microelectromechanical systems Applications", *Journal Of Applied Physics*, Vol. 103, pp. 07E109, 2008.
- [2] S. Sugimoto, "Current status and recent topics of rare-earth permanent magnets", *J. Phys. D: Appl. Phys.* Vol. 44, pp. 1-11, 2011.
- [3] P. Saramolee, P. Lertsuriwat, A. Hunyek, C. Sirisathitkul, "Cure and mechanical properties of recycled NdFeB–natural rubber composites", *Bull. Mater. Sci.* Vol. 33, pp. 597–601, 2010.
- [4] D.C. Jiles, C.C.H. Lo, "The role of new materials in the development of magnetic sensors and actuators", *Sensors and Actuators*, vol. 106, pp. 3-7, 2003.
- [5] J. Herchenroeder, D. Miller, N. K. Sheth, M. C. Foo, and K. Nagarathnam, "High performance bonded neo magnets using high density compaction", *Journal of Applied Physics* Vol. 109, pp. 07A743-1 – 07A743-3, 2011.
- [6] E.A. Périgo, M.F. de Campos, R.N. Faria, F.J.G. Landgraf, "The effects of the pressing step on the microstructure and aging of NdFeB bonded magnets", *Powder Technology*, Vol. 224, pp. 291 – 296, 2012.
- [7] X.H. Zhang, W.H. Xiong, Y.F. Li, N. Song, "Effect of process on the magnetic and mechanical properties of Nd–Fe–B bonded magnets", *Materials and Design*, Vol. 30, pp. 1386–1390, 2009.
- [8] C. Kurniawan, R. M. Hutahaean, Muljadi, "The Effect of Low Vacuum Curing to Physical and Magnetic Properties of Bonded Magnet Pr-Fe-B", *Advanced Materials Research* Vol. 1123, pp. 84-87, 2015.
- [9] M. Drak, L.A. Dobrzański, "Hard magnetic materials Nd-Fe-B/Fe with epoxy resin matrix", *journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 24, pp. 63-66, 2007.
- [10] T. Kristiantoro, N. Sudrajat, W. Budiawan, "Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Bonded NdFeB dengan Teknik Green Compact", *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, Vol. 9, pp. 1, 2013.
- [11] E.A. Périgo, "The effects of the pressing step on the microstructure and aging of NdFeB bonded magnets", *Powder Technology*, Vol, 224, pp. 291–296, 2012.
- [12] B. Ma, and A. Sun "Effects of surface modification of Nd-Fe-B powders using parylene C by CVDP method on the properties of anisotropic bonded Nd–Fe–B magnets" *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 416, pp. 150–154, 2016.