# APLIKASI *BONDED MAGNET* MQP-0 PADA MOTOR LISTRIK ARUS SEARAH

**Ridwan, Mujamilah dan Gunawan**
*Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN*
*Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314*
*e-mail : ridwan@batan.go.id*

## ABSTRAK

**APLIKASI BONDED MAGNET MQP-0 PADA MOTOR LISTRIK ARUS SEARAH.** Bahan *bonded magnet* isotropik, menggunakan NdFeB yang dapat diperoleh melalui teknik pendinginan cepat, mempunyai keunggulan yakni mudah dibentuk sesuai kebutuhan pemakai (costumer design). Sintesis bahan *bonded magnet* yang telah dilakukan merupakan pencampuran polimer, epoxy resin atau polyester sebagai matriks pengikat (binder) dengan serbuk magnet MQP-0. Perbandingan komposisi antara polimer dan serbuk magnet adalah 40 : 60; 50 : 50; dan 60 : 40 % volume bahan komposit magnet. Karakterisasi sifat magnet ditentukan dengan peralatan Vibrating Sample Magnetometer (VSM) yang terdapat di P3IB-BATAN serta kerapatan jenis diukur dengan piknometer. Energy product maximum, $(BH)_{max}$ bahan komposit magnet P3IB-BATAN yang paling tinggi diperoleh pada kegiatan ini adalah 4,35 MGOe. Uji kualitas komponen magnet telah dilakukan secara empiris melalui penggantian komponen magnet dari motor listrik arus searah yang diperoleh di pasaran dengan komponen magnet hasil sintesis P3IB-BATAN. Kecepatan putar maksimum yang diperoleh menggunakan komponen magnet hasil sintesis adalah 40.000 rpm. Komponen magnet hasil kegiatan penelitian ini berfungsi dengan baik dan sebanding dengan komponen magnet import.

***Kata kunci*** **:** *Bonded magnet*, P3IB-BATAN, *MQP-0*, polimer, *energy product maximum*, motor listrik arus searah, komponen magnet, kecepatan putar.

## ABSTRACT

**THE APPLICATION OF BONDED MAGNET MQP-0 ON AN ELECTRICAL DIRECT CURRENT MOTOR.** Isotropic bonded magnet materials using *NdFeB* produced by rapid quench method, has advantages that can be easily adapted to the costumer demand . The synthesized bonded magnets are mixed of epoxy resin or polyester as matrix binder with powder magnet of *MQP-0*. The proportions of polymer and magnetic powder are *40:60; 50:50*; and *60:40* volume *%* of magnet composites. The characterization of magnetic properties was determined by Vibrating Sample Magnetometer (VSM) at *P3IB-BATAN* and the density was measured by piknometer. The highest energy product maximum, $(BH)_{max}$ of magnet composite synthesized by *P3IB-BATAN* in this activity is *4.35 MGOe*.The quality of magnet components has been tested empirically by changing the magnetic components of an electric direct current motor found in the local market by magnetic components synthesized by *P3IB-BATAN*. The maximum rotation resulted by using *P3IB-BATAN* is *40.000 rpm*. The magnetic components synthesized in these research activities are functionally work and comparatively the same with the magnet components found in the local market as an import commodities.

***Key words :*** Bonded magnet, P3IB-BATAN, *MQP-0*, polymer, energy product maximum, electrical direct current motor, magnet component , maximum rotation.

## PENDAHULUAN

Aplikasi bahan *bonded magnet* dalam motor adalah salah satu alternatif yang dapat dipertimbangkan untuk dapat menggantikan bahan magnet *ferrite* ataupun *sinter Neodymium* yang selama ini dipergunakan. Bahan ini dipandang dari sifat magnetnya dapat dikatakan terletak diantara bahan magnet keramik dan *sinter Neodymium*. Namun bila ditinjau dari sifat mekaniknya, bahan *bonded magnet* akan jauh lebih unggul. *Bonded magnet* dengan komponen pengikat (*binder*) berupa polimer tentunya akan jauh lebih elastis bila dibandingkan dengan bahan *sinter magnet*. Secara umum bahan *bonded magnet* dapat juga sebagai suatu komposit yang digambarkan sebagai berikut :

*Bubuk magnet + Bahan pengikat tak magnet = Bonded magnet*

*Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 1 - 5*
*ISSN : 1411-1098*

Adanya fraksi bahan pengikat tak magnet, maka sifat magnet bahan *bonded magnet* akan lebih rendah jika dibandingkan dengan *sinter magnet*. Namun demikian beberapa keunggulan bahan *bonded magnet* diantaranya adalah :

1. Jenis bahan magnet dan pengikat serta metoda pemrosesan komposit *bonded magnet* dapat divariasi sesuai kebutuhan.
2. Mempunyai sifat mekanik yang sangat baik.
3. Dapat diproduksi dalam bentuk tiga dimensi yang kompleks.
4. Perubahan bentuk akibat pemrosesan bahan sangat kecil.
5. Proses pembuatan bahan relatif lebih mudah dibandingkan magnet sinter.

Kegiatan penelitian bahan *bonded magnet* dengan bahan dasar *MQP-0* dan polimer di Pusat Penelitian dan Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan, *P3IB-BATAN* telah dilakukan sejak beberapa tahun yang lalu [1,2]. Pemilihan bahan polimer sebagai pengikat (*binder*) berdasarkan pertimbangan pada keberadaan sumber bahan dasar yang cukup besar hasil dari industri petrokimia di dalam negeri[3]. Selain bila dilihat bahwa elemen yang menyusun bahan magnet *MQP-0* yakni *Nd-Fe-B* sebetulnya cukup berlimpah di Indonesia namun belum diusahakan secara efisien[4], maka penelitian ini diharapkan dapat mendorong ke arah pemanfaatan sumber daya alam (*SDA*) lokal dalam industri nasional secara nyata.

Penelitian *bonded magnet* untuk komponen motor listrik arus searah (*dc*) dengan ukuran kecil dalam tahap ini, didasari pertimbangan bahan baku juga perkiraan kebutuhan pasar. Motor listrik arus searah dalam ukuran kecil, banyak sekali digunakan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari permainan anak-anak, rumah tangga, maupun perkantoran seperti komputer ataupun *printer* serta suku cadang *automotive*.

Makalah ini akan membahas beberapa sifat fisika bahan *bonded magnet* yang telah dibuat dalam skala laboratorium dan masih menggunakan metoda yang sepenuhnya *manual*. Dalam kegiatan ini telah dipilih dua jenis polimer yakni *epoxy resin* dan *polyester* sebagai *binder* dan *MQP-0* sebagai komponen magnet. Unjuk kerja komponen magnet dalam motor listrik *dc* ini telah diuji dengan mengambil beberapa jenis motor listrik yang terdapat di pasar lokal sebagai pembanding. Disini pembahasan dimulai dari proses pembuatan bahan *bonded magnet* dan dilanjutkan dengan karakterisasi unjuk kerja motor.

## TEORI

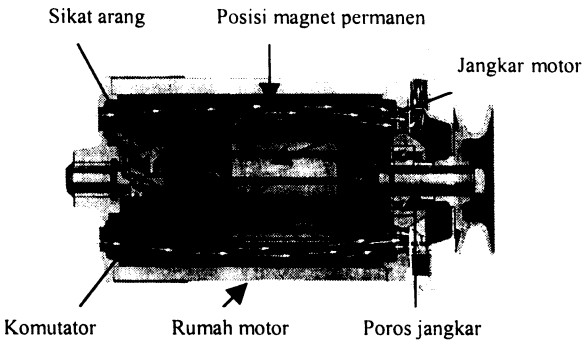
Seperti telah dijelaskan sebelum-nya, bahan *bonded magnet* yang disintesis adalah hasil pencampuran polimer dan serbuk magnet *MQP-0*.

Polimer adalah bahan yang tidak bersifat magnet, maka jumlah fraksi polimer dan magnet haruslah diperhitungkan sedemikian rupa sehingga sifat *bonded magnet* yang optimal dapat diperoleh. Massa masing-masing elemen dapat dihitung dengan persamaan (1),

$$M_i = \rho_i \; v_i \; V_t \qquad (1)$$

Disini $M_i$ , $\rho_i$ , $v_i$ , masing-masing menyatakan massa (gr), kerapatan jenis (gr/cm$^3$), fraksi volume (%) dari elemen ke-*i* dan $V_t$ adalah volume total bahan *bonded magnet* (cm$^3$). Berdasarkan persamaan di atas terlihat bahwa semakin kecil rapat jenis polimer yang digunakan, maka makin tinggi tingkat muat serbuk magnet di dalam kompositnya. Fraksi elemen magnet di dalam komposit ini akan sangat menen-tukan kekuatan medan magnet dari bahan *bonded magnet* yang disintesis[5].

Penggunaan bahan magnet sebagai komponen dari motor listrik-*dc*, sudah sangat dikenal. Secara umum motor listrik-*dc* ini terdiri dari komponen besar yakni kumparan jangkar, magnet permanen, komutator dan 'sikat-sikat arang'. Dalam konstruksi dasarnya, kumparan jangkar terletak diantara dua magnet permanen dengan komutator terpasang pada poros jangkar. Komutator ini kemudian 'dijepit' oleh sikat-sikat arang yang terbuat dari bahan tembaga, yang berfungsi untuk mengalirkan arus maupun tegangan listrik dari suatu sumber listrik *dc*. Gambaran mengenai sistem motor listrik-*dc* ini dapat di lihat pada Gambar 1[6].




***Gambar 1.*** Konstruksi motor listrik dc

Dalam motor listrik ini, titik pengamatan diutamakan pada kecepatan putar jangkar dan untuk beban tertentu besar kecepatan ini sebanding dengan besar daya listrik yang diberikan. Karena sistem konstruksi motor yang digunakan masih relatif sederhana, maka diperkirakan dengan meningkatnya putaran motor, gesekan yang terjadi akan sangat mungkin mengakibatkan terjadi akumulasi panas. Oleh sebab itu peningkatan temperatur motor merupakan data yang juga penting dalam hal ini. Peningkatan temperatur secara umum akan dapat meningkatkan tahanan listrik, sehingga diperkirakan dapat menurunkan efisiensi motor.

## TATA KERJA

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa bahan komposit magnet yang disintesis pada tahap ini, merupakan campuran antara polimer (*epoxy resin* dan *polyester*) dan serbuk magnet *MQP-0*. Bahan magnet *MQP-0* merupakan salah satu jenis produk dari *Magnequench Intl., USA*. Bahan ini diperoleh dengan cara pendinginan yang sangat cepat ($10^5$K/detik) lelehan *NdFeB* menggunakan *melt-spinning*, caranya adalah dengan menyemprotkan lelehan paduan *NdFeB* pada suatu permukaan roda yang berputar sangat cepat sehingga memungkinkan terbentuknya serpihan-serpihan halus *NdFeB* akibat mengalami proses pembekuan dalam waktu yang sangat singkat [7]. Pada kedua polimer tersebut di atas, dalam pemakaiannya terlebih dahulu ditambah-kan suatu elemen pengeras (*hardener*). Untuk *epoxy resin* perban-dingan polimer dan pengeras adalah 1 : 1, namun untuk *polyester* 10 : 1.

Sebelum dicampurkan serbuk *MQP-0* terlebih dahulu dihaluskan menggunakan peralatan *ball milling* dengan *vial* terbuat dari *agate* guna menghindarkan adanya kontaminasi selama proses *milling*. Pada proses *milling* ini dapat diperoleh serbuk magnet dengan ukuran sekitar *500 mesh*. Untuk menghindari efek korosi, maka proses *milling* dilakukan di dalam media *toluena*.

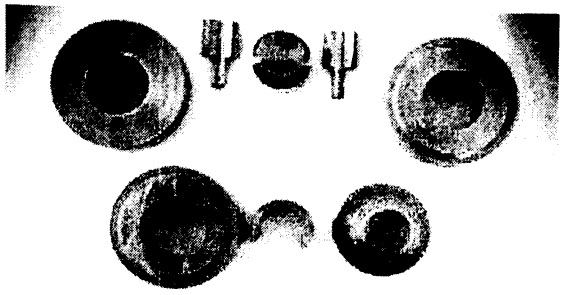
Bahan serbuk magnet dan polimer, kemudian dicampurkan dengan perbandingan fraksi volume yang bervariasi yakni 40 : 60, 50 : 50 dan 60 : 40. Komposisi bahan campuran ini secara lengkap dapat dilihat dalam Tabel 1. Proses pengolahan bahan dasar ini dilakukan secara manual hingga diperoleh suatu campuran yang homogen dan siap dicetak menggunakan *dies* seperti terlihat pada Gambar 2, yang juga dilakukan secara *manual*.

***Tabel 1.*** Komposisi polimer dan serbuk magnet

| Komposisi P : M (vol%) | Massa Magnet (gram) | Massa polimer (gram) | |
|---|---|---|---|
| | | Polimer | Pengeras |
| **Resin** | | | |
| 40 : 60 | 1,4899 | 0,2072 | 0,2072 |
| 50 : 50 | 1,8624 | 0,1727 | 0,1727 |
| 60 : 40 | 2,2349 | 0,1382 | 0,1382 |
| **Poliester** | | | |
| 40 : 60 | 1,4899 | 0,3729 | 0,0414 |
| 50 : 50 | 1,8624 | 0,3109 | 0,0345 |
| 60 : 40 | 2,2349 | 0,2488 | 0,0276 |

Catatan :
P : Menyatakan Polimer
M : Menyatakan Serbuk Magnet

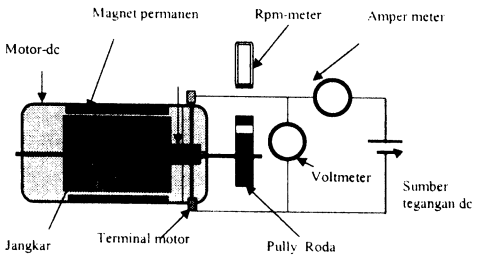
Hasil proses pencetakan kemudian di-*curring* pada temperatur sekitar *70°C* selama satu jam. Proses *curring* ini bertujuan menumbuhkan ikatan silang dalam bahan polimer. Komponen magnet yang diperoleh kemudian dikarakterisasi sifat magnetnya menggunakan



***Gambar 2.*** Sistem *die* untuk pencetakan komponen magnet

peralatan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*, yang terdapat di *Pusat Penelitian dan Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan (P3IB), BATAN-Serpong*. Sebelum diuji cobakan pada motor listrik-*dc*, komponen magnet ini terlebih dahulu dimagnetisasi dengan menggunakan fasilitas elektromagnet yang tersedia di P3IB-BATAN.

Untuk melihat unjuk kerja komponen hasil sintesis di atas, maka telah disusun suatu sistem rangkaian seperti terlihat pada Gambar 3 [8].

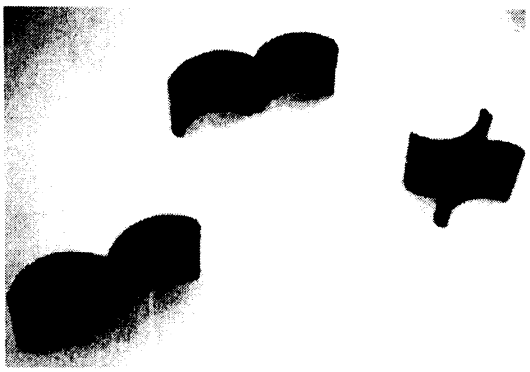



***Gambar 3.*** Skema rangkaian uji coba sistem motor listrik-*dc*

Disini parameter yang diamati adalah kecepatan putar jangkar dan temperatur, sebagai fungsi dari *tegangan jepit*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen *bonded magnet* hasil sintesis seperti telah dijelaskan di atas dapat dilihat pada Gambar 4. Disini

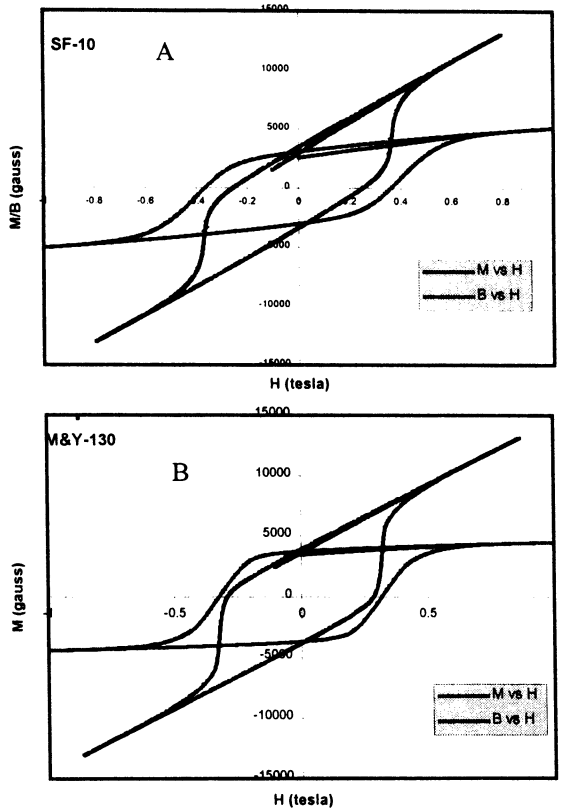


***Gambar 4.*** Beberapa komponen *bonded magnet* hasil sintesis di P3IB

*Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 1 - 5*
*ISSN : 1411-1098*

ukuran maupun bentuk komponen magnet tersebut telah disesuaikan dengan ukuran yang digunakan pada motor listrik arus searah yang diperoleh di pasaran lokal.

Sebagai bahan perbandingan, dalam kegiatan ini komponen magnet yang diperoleh di pasaran lokal telah dikarakterisasi sifat magnetnya. Hasil pengukuran kurva histerisis bahan diantaranya dapat dilihat pada Gambar 5




*Gambar 5*. Kurva histerisis komponen magnet yang diperoleh dari pasaran lokal : A. SF = 10, B = M&Y-130

Berdasarkan gambar di atas, nampak bahwa dengan medan magnet luar sekitar *1,2 Tesla* bahan telah mencapai tingkat saturasi. Ini menunjuk-kan bahwa komponen magnet tersebut mempunyai tingkat saturasi yang tidak begitu tinggi. Secara lengkap hasil identifikasi sifat magnet bahan yang diperoleh dari pasaran dapat dilihat di dalam Tabel 2. Disini perhitungan mengenai besar *energy product maximum* diperoleh dari kurva histerisis hasil pengukuran pada kuadran kedua, dan telah dikoreksi terhadap efek demagnetisasi sesuai bentuk cuplikan. Ini memberikan gambaran bahwa bahan magnet yang diperoleh dari pasaran lokal tersebut sangat mungkin terbuat dari bahan *hexaferrite*.

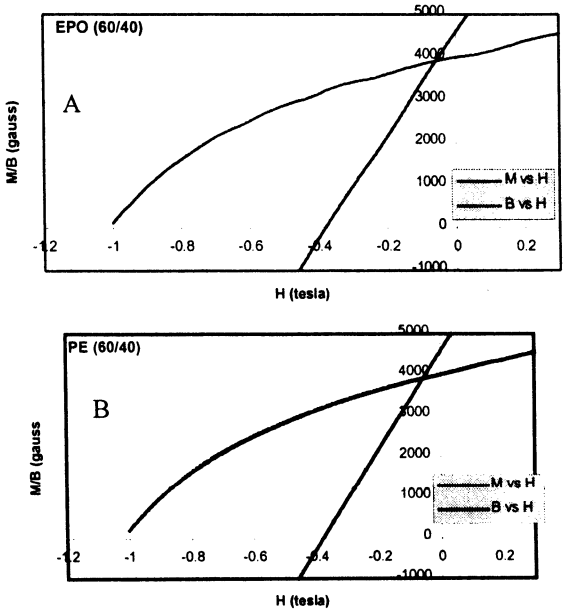
Kurva histerisis bahan *bonded magnet* hasil sintesis *P3IB-BATAN*, khususnya pada kuadran kedua diantaranya dapat dilihat pada Gambar 6.

Karakteristik sifat magnet *bonded magnet* hasil sintesis di *P3IB-BATAN* juga dapat dilihat pada Tabel 2. Dari sini terlihat bahwa kuat magnet untuk bahan hasil sintesis *P3IB* dengan komposisi komponen magnet di atas 50 % volume lebih baik dari magnet yang terdapat

***Tabel 2***. Karakteristik bahan magnet pasaran lokal dan hasil sintesis P3IB - BATAN

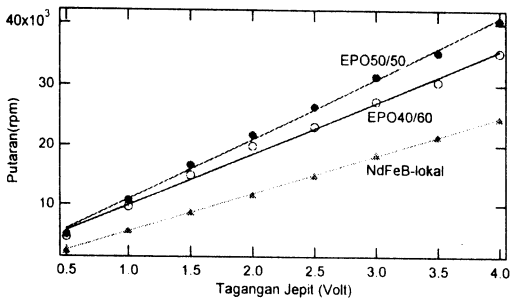
| Jenis Motor | Densitas magnet ($gr/cm^3$) | Sifat Magnetik Bahan | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Br (kG) | Hc (kOe) | $BH_{max}$ (MGOe) |
| **Magnet Pasar** | | | | |
| SF-10 | 5,935 | 3,44 | 2,53 | 2,27 |
| SF-102 | 4,357 | 2,81 | 2,53 | 1,79 |
| NdFeB | 4,4275 | 3,84 | 2,89 | 3,22 |
| **Magnet P3IB** | | | | |
| EPO40/60 | 2,604 | 2,11 | 1,97 | 1,06 |
| EPO50/50 | 3,909 | 3,55 | 3,08 | 2,75 |
| EPO60/40 | 4,853 | 4,60 | 3,81 | 4,27 |
| PE40/60 | 3,354 | 2,49 | 2,18 | 1,37 |
| PE50/50 | 4,733 | 4,06 | 3,04 | 3,47 |
| PE60/40 | 4,824 | 4,57 | 3,80 | 4,35 |

dipasaran. Ini terlihat dari besar *energy product maximum* bahan. Selain itu bila diperhatikan kurva histerisis pada Gambar 6, terlihat bahwa tingkat saturasi magnet bahan belum tercapai untuk medan magnet luar sekitar *1,2 Tesla*. Hal ini ditandai dari kurva yang masih cendrung naik (tidak mendatar seperti halnya untuk komponen magnet dari pasaran lokal).




*Gambar 6*. Kuadran kedua kurva histerisis *bonded magnet* dengan perbandingan polimer (EPO,PO) : magnet 40 : 60% volume : A = EPO (60/40) ; B = PE (60/40).

Berkaitan dengan sifat magnet, unjuk kerja komponen magnet ini dalam motor listrik –*dc* terlihat dari hasil pengukuran yang telah dilakukkan. Besar putaran rotor sebanding dengan tegangan jepit yang diberikan. Untuk tegangan jepit yang sama terlihat bahwa jumlah putaran rotor yang menggunakan komponen magnet buatan *P3IB* ternyata lebih tinggi dari pada motor yang menggunakan komponen magnet pasar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7.

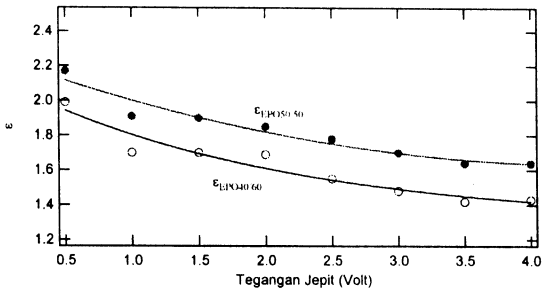



***Gambar 7***. Kecepatan putaran motor untuk masing-masing komponen magnet vs. tegangan jepit.

Untuk melihat peningkatan putaran motor jika menggunakan magnet buatan P3IB dibandingkan magnet pasar berdasarkan data pada Gambar 7, digunakan, besaran ratio putaran sebagai berikut :

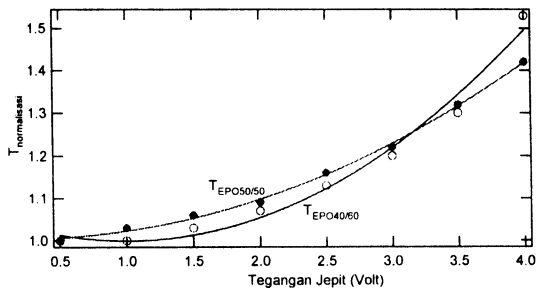
$$\varepsilon = \frac{putaranmagnetP3IB}{putaranmagnetNdFeB} \qquad (2)$$

yang hasinya ditampilkan pada Gambar 8.




***Gambar 8***. Rasio putaran motor relatif menggunakan magnet P3IB dan magnet pasar.

Penurunan rasio putaran motor ini sangat bergantung pada banyak faktor, namun dari data pengukuran terlihat bahwa seiring dengan peningkatan putaran teramati adanya peningkatan suhu motor. Apabila hal ini dikaitkan dengan perubahan tahanan listrik kumparan, maka hal ini sangat mungkin terjadi karena kenaikan tahanan dapat menurunkan arus listrik kumparan untuk membangkitkan medan elektromagnet. Normalisasi temperatur hasil pengukuran untuk magnet buatan P3IB dapat dilihat pada Gambar 9.




***Gambar 9***. Normalisasi temperatur motor berkaitan dengan komponen magnet yang digunakan.

Jika hasil pengukuran pada Gambar 8 dan 9 dibandingkan, maka nampak jelas bahwa semakin tinggi temperatur rasio putaran motor semakin menurun.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan nampak bahwa komponen *bonded magnet* hasil sintesis P3IB-BATAN dapat dikatakan mempunyai sifat-sifat magnet yang sama ataupun lebih baik dari pada komponen magnet yang ada dipasaran lokal. Uji yang dilakukan terhadap komponen magnet ini dalam motor listrik arus searah menunjukkan rasio putaran motor yang lebih tinggi dibandingkan komponen magnet di pasar lokal. Ini terutama bila ditinjau dari kecepatan putar rotor dengan ukuran dan bentuk yang tidak berbeda dengan komponen magnet di pasaran. Namun demikian modifikasi konstruksi motor masih perlu dilakukan terutama untuk mengurangi akumulasi panas yang timbul akibat adanya gesekan antara sumbu rotor dengan sikat-sikat arang, sehingga tingkat rasio putaran motor dapat dipertahankan tetap tinggi.

## DAFTAR ACUAN

[1]. Laporan Tahunan, "Studi Serbuk Magnet dan Bahan Pengikat Serta Kompositnya untuk Tujuan Manufaktur 'Rigid Bonded Magnet', Kelompok Bahan Magnet, P3IB-BATAN, (1999)

[2]. Laporan Tahunan, " Studi Peningkatan Bahan 'Rigid Bonded Magnet'(RBM) untuk tujuan Manufaktur", Kelompok Bahan Magnet, P3IB-BATAN, (2000).

[3]. SUGANDI M.,dkk., *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan,* Serpong (1996), 1-12

[4]. KRIS TRI BASUKI,dkk., *Prosiding Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional VI*, Serpong (1995), 590-625.

[5]. RIDWAN, dkk., *Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet I*, (2000), 72-76.

[6]. FORIER L.C., AND SOLNIK L.S., *Motor Auto Engines an Electrical Systems, Motor*, New York, (1977), 527-529

[7]. JOHN J. CROAT, 'Bonded Magnets : A Decade of Growth', *Proceeding 10th International NdFeB Conference*, Illinois USA, (1997)

[8]. GUNAWAN, dkk., *Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet I*, (2000), 82-86.

[9]. Piagam Persetujuan Pembiayaan Bersama, No. 27 PKS/PRUK/KMNRT/II/2001, *Membangun Industri Pilot Manufaktur Bahan Bonded Magnet.*