

Motor Magnet Permanen Sebagai Penghasil Gaya Dan Putaran Tanpa Energi Listrik

Sumardjati

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
INDONESIA

E-mail: prih_sumardjati@polban.ac.id , sumardjatiprih@yahoo.co.id

Abstrak

Makalah ini menyajikan upaya alternatif lain dalam mengkonversi energi putar tanpa energi listrik, yaitu mengubah energi magnet menjadi energi putar. Motor Magnet Permanen (MMP) dalam penelitian ini konstruksinya terdiri dari bagian stator dan rotor, yang masing-masing sebagai tempat kedudukan magnet permanen. Rotor motor dapat berputar akibat adanya gaya dorong tolak menolak antara magnet stator dan magnet rotor pada posisi dan jarak tertentu antara keduanya. Hasil percobaan menunjukkan adanya hubungan antara putaran motor dengan jarak antar magnet rotor-stator, sudut yang dibentuk oleh kedua magnet dan jumlah pasang magnet yang digunakan. Hubungan (relasi) tersebut dianalisis dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana dan analisis regresi linier berganda. Hasil analisis menunjukkan relasi yang sangat kuat antara putaran dengan jarak antar magnet rotor-stator, sudut yang dibentuk oleh kedua magnet dan jumlah pasang magnet yang digunakan. Hasil perhitungan dan pengukuran konversi daya mekanik MMP ke daya listrik pada posisi sudut 30°: 11,25 watt, dengan T: 4,1 N.cm, n: 118 rpm; sudut 45°: 18,35 watt, dengan T: 5,8 N.cm, n: 136 rpm; sudut 60°: 26,81 watt, dengan T: 8 N.cm, n: 144 rpm. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memasang pelindung magnet (magnetic shield) pada sisi-sisi magnet stator maupun rotor, sehingga gangguan kebocoran garis gaya magnet dapat dieliminasi.

Kata kunci: Energi magnet, gaya dorong, putaran MMP.

1. PENDAHULUAN

Salah satu upaya yang bertujuan untuk mendapatkan energi putar tanpa menggunakan energi listrik adalah dengan menggunakan motor magnet permanen (MMP).. MMP yang ditemukan tahun 1980 oleh Howard Johnson dan mendapatkan paten di Amerika. Namun hingga kini aplikasinya belum banyak digunakan. Oleh karena itu, masih terbuka upaya-upaya untuk pengembangannya. . MMP dalam eksperimen ini bekerja berdasarkan gaya tolak menolak magnet sejenis yang dipasangkan pada rotor dan stator. Gaya tolak inilah yang akan diubah menjadi energi putar.. Konstruksi utama MMP terdiri dari stator (bagian motor yang diam) dan rotor (bagian motor yang berputar). Rotor memiliki sumbu putar yang memungkinkan bagian ini berputar karena daya dorong yang didapatkan dari gaya tolak menolak magnet yang ada di kedua bagian utama MMP tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melihat permasalahan MMP,

khususnya pengaruh variabel-variabel jarak, jumlah pasang magnet rotor-stator dan sudut antara magnet rotor dan sumbu horizontal terhadap putaran dan terhadap torsi.

2. KERANGKA PEMIKIRAN TEORITIS

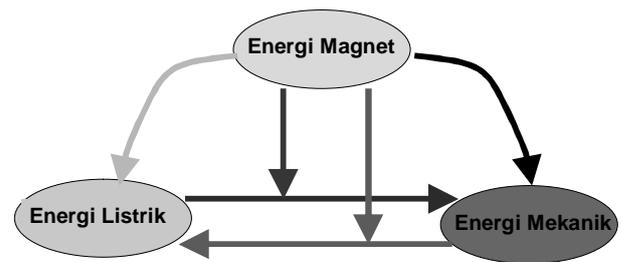
2.1 Tinjauan Pustaka

Suatu energi di alam raya ini merupakan ciptaan Tuhan Yang Maha Esa. Energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan oleh manusia, namun hanya dapat dikonversi. Sebagai contoh dalam bidang mesin-listrik : motor listrik adalah konverter yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (Zuhail, 1991). Selain motor listrik, konverter lainnya adalah MMP yaitu konverter pengubah energi magnet menjadi energi putar/mechanik. Hasil beberapa penelitian tentang MMP menunjukkan masih ada beberapa masalah yang belum ada solusinya, antara lain:

Penelitian Johnson (1980) yang mendapatkan paten tentang motor putar tanpa energi dari luar, hingga saat ini masih belum menjadi produk komersial. Diduga masih banyak masalah yang belum ditemukan terkait dengan hal tersebut. Jurnal IEEE *Superconducting Permanent Magnet Motor Design and First Test* (Tixado dkk, 1993) , yang menggunakan super konduktor produk GEC Alsthom pada medan magnet permanen NdFeB, menghasilkan rugi daya rendah, sehingga performa motor tinggi. Karakteristik bahan tersebut memungkinkan untuk dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif desain motor yang lebih efektif dan efisien. Dua hak paten berikutnya tentang MMP adalah penelitian Minato pada tahun 1997 dan 1998 tentang magnet pada polaritas yang sama diletakkan pada permukaan rotor dengan arah keluar, disusun dengan membentuk sudut rotasi terhadap garis rotor, namun masih menggunakan suplai arus listrik untuk membuat magnet stator ; dan paten lainnya tentang *Magnetic Rotation Apparatus*, yaitu perangkat putar magnet menggerakkan dua rotor (rotor 1 dan rotor 2 dihubungkan), sehingga bisa diputar dengan arah berlawanan, diduga masih banyak masalah yang belum terselesaikan, sehingga juga belum diproduksi secara komersial. Peneliti Naudin (2001) yang melakukan eksperimen MMP Johnson dengan menggunakan perangkat lunak *Quick Field* dengan hasil bahwa konfigurasi magnetik bersifat periodik sebesar 45° ; dan putaran motor dipengaruhi kurva magnet dan jarak rotor-stator, juga belum ada tindak lanjut aplikasinya. Jadi beberapa penelitian tersebut diatas masih terbatas pada penelitian di laboratorium dan belum diproduksi.

Penelitian ini menggunakan seperangkat magnet permanen baik untuk rotor maupun statornya (tidak menggunakan bahan superkonduktor), sehingga operasionalnya sama sekali tidak menggunakan energi listrik (prinsip kerja motor Minato masih menggunakan energi listrik, walau kecil). Posisi magnet rotor dan stator dipasang miring dengan sudut tertentu terhadap lintasan rotasi rotor motor. Motor dapat berputar akibat gaya dorong magnet saja, dan bukan gaya dorong dan gaya tarik magnet, seperti prinsip kerja motor Johnson.

Konsep MMP



Gambar 1. Diagram transfer energi

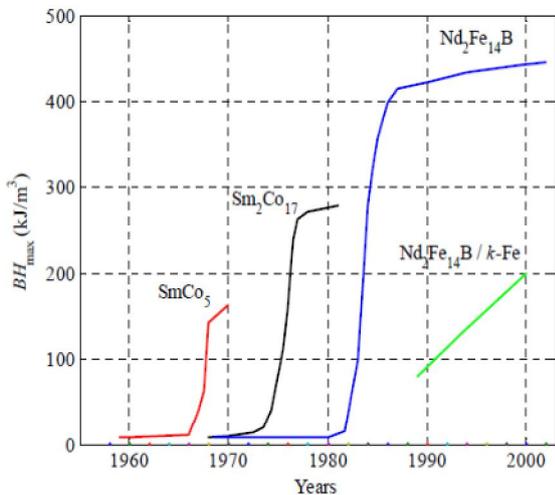
Gambar 1 di atas garis warna merah menunjukkan konversi energi listrik & energi magnet menjadi energi mekanik (prinsip kerja motor listrik); garis warna biru menunjukkan konversi energi mekanik & energi magnet menjadi energi listrik (prinsip kerja generator listrik); garis warna hitam merupakan konversi energi magnet menjadi energi mekanik (prinsip kerja MMP); garis warna hijau merupakan konversi energi magnet menjadi energi listrik (prinsip kerja GMP: generator magnet permanen).

Uji-coba penelitian ini dilakukan dengan pembuatan alat uji/prototipe motor magnet permanen, sehingga secara akademik peralatan ini sangat bermanfaat sebagai penunjang peralatan praktek untuk mengkaji ilmu pengetahuan aplikasi magnet di laboratorium. Dengan peralatan ini dapat dikembangkan penelitian-penelitian lainnya tentang motor magnet permanen, sebagai energi alternatif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan yang berhubungan dengan putaran motor dengan beban konstan, misalnya kipas angin pendingin komputer, kipas angin ruang, alat pengisap asap di dapur, kipas angin di wc dan sebagainya. Pengembangan penelitian lebih lanjut diharapkan dapat memenuhi kebutuhan energi putar di industri misalnya sebagai penggerak mesin; bidang transportasi misalnya sepeda mmp, mobil mmp, kereta rel mmp, *elevator* mmp, *escalator* mmp; dalam rumah tangga misalnya lemari es mmp, pendingin udara mmp, generator mmp, dan lain sebagainya. Keunggulan menggunakan mmp ini adalah hemat energi (dengan energi magnet permanen), tidak menggunakan energi listrik, tidak menimbulkan polusi, sehingga ramah lingkungan, tidak bising dan mudah perawatannya. Dengan demikian peluang

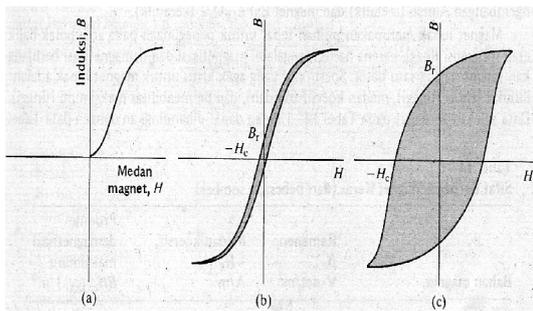
pengembangan ke depan ditinjau dari keilmuan maupun bisnis sangat menarik.

2.2 Bahan Magnet Modern

Bahan magnet bukan hanya dari besi metalik, tetapi juga dari logam (magnet logam) atau keramik (magnet keramik). Disamping itu dimanfaatkan pula unsur lain untuk meningkatkan kemampuan magnetik sehingga memenuhi persyaratan (Van Vlack, 1995). Bahan magnet modern diklasifikasikan dalam empat kelas, masing-masing berdasarkan komposisi bahan. Dalam setiap kelas dikelompokkan berdasarkan masing-masing sifatnya. Umumnya kelas ini adalah Neodymium Ferit Boron (NdFeB), Samarium Cobalt (SmCo), Keramik (BaFe203/SrFe203), dan Alnico (Al-Ni-Co). Perkembangan sejarah magnet bumi yang menunjukkan hubungan antara BH_{max} dan tahun dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Perkembangan sejarah magnet bumi (Parviainen, 2005)



Gambar 3. Kurva Magnetisasi (Van Vlack, 1995)

Gambar 3 berikut ini menunjukkan kurva magnetisasi (Histeresis Magnet): (a) Induksi awal B versus medan magnet H, (b) Rugi-rugi histeresis magnet lunak, (c) Rugi-rugi histeresis magnet keras.

Karakteristik tersebut ditunjukkan dengan kurva Histeresis, seperti gambar 3, makin gemuk kurva magnetiknya, energi yang dikandungnya juga makin besar. Bahan magnet NdFeB memiliki kurva seperti Gambar 3 (c).

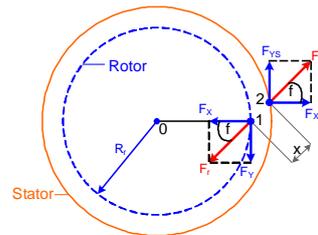
2.3 Perhitungan Gaya Magnetik

Untuk menghitung gaya antara dua kutub magnet, dengan asumsi jarak antar muatan lebih besar dari pada dimensi magnetnya digunakan persamaan (1) berikut:

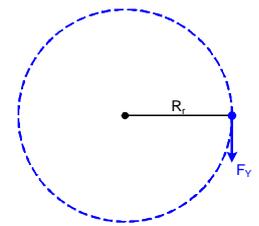
$$F = \frac{\mu q_{m1} q_{m2}}{4\pi r^2} \tag{1}$$

Dimana q_{m1} : magnitudo dari kutub magnet 1 (Amper meter); q_{m2} : magnitudo dari kutub magnet 2 (Amper meter); μ : permeabilitas relatif (Tesla meter/Amper atau Henry/meter atau Newton/Amper²); r: jarak antar kutub magnet (meter)

Pemodelan Dinamika MMP



Gambar 4. Pemodelan Dinamika MMP



Gambar 5. Hubungan Torsi dan Gaya

Motor Magnet Permanen terdiri dari bagian yang berputar disebut rotor, dan bagian diam disebut stator. Gambar 4 menunjukkan bahwa titik 1 magnet permanen pada rotor, dan titik 2 adalah magnet permanen pada stator. Kedua magnet permanen ini memiliki sifat yang sejenis (semuanya kutub utara atau semuanya kutub selatan), sehingga padanya terjadi gaya tolak menolak $F_r = F_s$, masing-masing dengan arah berlawanan. Bagian berputar pada titik magnet 1 (gambar 4), gaya F_r akan terurai menjadi F_x dan F_y , selanjutnya pada rotor (titik magnet 1) akan terjadi torsi sebesar: gaya F_y dikalikan dengan jarak garis gaya R_r . T: torsi akibat gaya magnet; F_y : gaya magnet

pada rotor ($F_y = F_r \cdot \sin \theta$); Dari Gambar 5: Rr: jarak garis gaya magnet = jari-jari rotor

$$T = F_y R_r \quad (2)$$

Konversi satuan dari mekanik ke listrik (Beckmann, 1998):

$$P = F \cdot v \quad (3)$$

dimana P: Daya listrik (watt); F: Gaya dorong magnet pada rotor; v: Kecepatan rotor (m/det).

Regresi Linier Sederhana, Relasi dan aregresi Berganda.

Besarnya utaran (Y) MMP diduga sanga dipengaruhi oleh variabel-variabel jarak antara magnet rotor dan magnet stator (X_1), jumlah pasang magnet (X_2), dan atau sudut antara posisi magnet rotor terhadap sumbu horizontal. (X_3) Hubungan variabel-variabel tersebut terhadap putaran masing-masing akan diuji dengan regresi linier sederhana, sedangkan pengaruh ketiga variabel tersebut terhadap putaran akan diuji dengan menggunakan regresi linier berganda.

Model matematika untuk prediksi garis regresi yang digunakan untuk pengujian regresi linier sederhana adalah:

$$= a + bX$$

$$= \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} + \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} X \quad (4)$$

Pengujian signifikansi korelasi antar variabel Hasil prediksi regresi akan diuji signifikansinya melalui uji statistik F.

Statistik uji yang akan digunakan ialah:

$$F = \frac{RKR}{RKG} \quad (5)$$

Sedangkan signifikansi koefisien regresi akan diuji dengan uji statistik

$$t = \frac{b}{S_b} \sim t(n-2) \quad (6)$$

Tingkat signifikan dari koefisien linier akan diuji dengan statistik uji sederhana "t" berikut ini.

$$t = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \quad (7)$$

Formula matematik yang digunakan untuk regresi linier berganda ialah:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_k X_{ik} + e_i \quad (8)$$

untuk k > 2, dan persamaan sebagai Yprediksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$= b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (9)$$

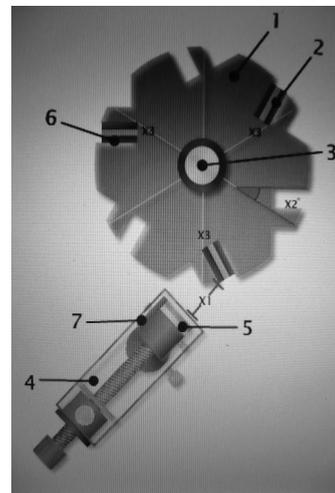
untuk k > 2.

Statistik uji untuk signifikansi regresi linier ganda dalam kasus ini (banyaknya pengukuran adalah n = 30) dipilih dengan menggunakan statistik uji F

$$F = \frac{\frac{JKR}{k}}{\frac{JKG}{n-k-1}} \sim F_{(k,n-k-1)} \quad (10)$$

2.4 Bahan Penelitian:

Satu set modul MMP untuk pengukuran putaran dan torsi yang dihasilkan MMP ini. Rotor-stator terbuat dari bahan acrylic yang dipasang sedemikian rupa dan dibagi menjadi 3 bagian (atas, tengah dan bawah). Bagian rotor pada permukaannya terdiri dari 6 slot, sebagai tempat kedudukan magnet rotor (dengan posisi sudut 30°, 45°, 60°). Magnet stator dibuat agar dapat diatur posisi jaraknya. Pengukuran putaran dan torsi motor diukur dengan kondisi yang berbeda-beda, yaitu jarak berubah, jumlah pasang magnet tetap, sudut berubah-ubah. Posisi stator dan rotor diilustrasikan seperti Gambar 6



Keterangan :

- (1) Rotor;
- (2) Magnet rotor;
- (3) Poros Rotor;
- (4) Stator;
- (5) Magnet Stator;
- (6) Isolator magnet rotor;
- (7) Isolator magnet stator.

Gambar 6. Stator-Rotor

2.5 Alat Penelitian

Secara lengkap dalam penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut: (1). Pengukur mistar dalam ukuran mm : 4 buah; (2). Pengukur busur derajat : 1 buah (3). Alat pengukur gaya dengan kapasitas 500 gram dan 2 kilo-gram: 2 set. (4). Rumah magnet dengan 3 posisi (30°, 45°, 60°) : 1 set. (5). Tachometer dengan pemantul sinar : 1 set. (6). Teslameter : 1 set.

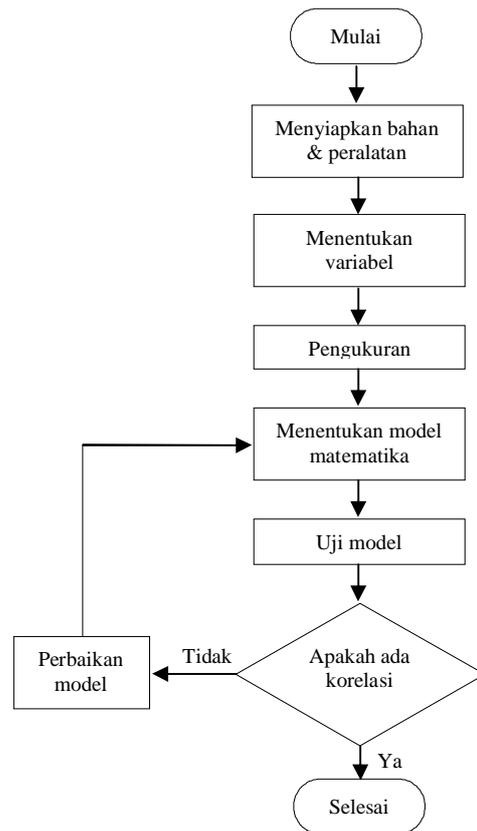
2.6 Jalannya penelitian

Penelitian dimulai dari pemilihan bahan dasar magnet *Rare Earth* NdFeB dengan kuat medan magnet 400 mT yang dipasang pada rotor maupun stator dengan jarak; posisi sudut; dan jumlah magnet yang bervariasi.

Sifat penelitian adalah eksperimen, dengan prosedur:

- 1) mengukur pengaruh jarak terhadap gaya;
- 2) mengukur pengaruh jarak (15-24 mm) terhadap putaran motor;
- 3) mengukur posisi sudut magnet (30°, 45°, 60°) terhadap putaran;
- 4) mengukur pengaruh jumlah pasang magnet (1, 2, 3 pasang) terhadap putaran motor, dengan analisis regresi linier sederhana untuk masing-masing variabel bebas satu (menggunakan uji signifikansi t), dan dengan analisis regresi linier berganda untuk tiga variabel bebas.(menggunakan uji signifikansi F);
- 5) mengukur putaran dan torsi mmp, sehingga dapat dihitung konversi daya mekanik ke daya listriknya.

Gambar berikut adalah diagram alirnya.



Gambar 7. Diagram alir proses pengukuran dan pengujian matematik

Tabel 1. Pengukuran jarak & gaya pada sudut 30°

No	X (mm)	F (Newton)	T _H (N.cm)	T _U (N.cm)
1	24	0,7	3,2	3
2	23	0,9	4,1	3,5
3	22	1	4,5	4
4	21	1,2	5,4	5
5	20	1,4	6,3	6
6	19	1,5	6,8	6,2
7	18	1,7	7,7	7
8	17	1,8	8,1	8
9	16	2	9	9
10	15	2,2	9,9	9,5

Tabel 2. Pengukuran jarak & gaya pada sudut 45°

No	X (mm)	F (Newton)	T _H (N.cm)	T _U (N.cm)
1	24	0,3	1,6	1
2	23	0,5	2,3	2
3	22	0,7	3,2	3
4	21	0,8	3,6	3,2
5	20	0,9	4,1	4
6	19	1,1	4,9	4,5
7	18	1,4	6,3	6
8	17	1,5	6,8	6,5
9	16	1,6	7,2	7
10	15	1,8	8,1	8

Tabel 3. Pengukuran jarak & gaya pada sudut 60°

No	X (mm)	F (Newton)	T _H (N.cm)	T _U (N.cm)
1	24	1	4,5	4
2	23	1,2	5,4	5
3	22	1,4	6,3	6
4	21	1,5	6,8	6,5
5	20	1,7	7,7	7
6	19	1,9	8,6	8
7	18	2	9	8,6
8	17	2,2	9,9	9,5
9	16	2,3	10,4	10
10	15	2,5	11,3	11

Tabel 4. Pengukuran torsi & putaran sudut 30°

No	Torsi (N.cm)	Putaran (rpm)
1	0	141
2	2,1	139
3	4,2	138
4	5,8	136
5	8,1	128
6	9,9	116
7	10,1	110
8	11,8	98
9	15,9	23
10	16,9	0

Tabel 5. Pengukuran torsi & putaran sudut 45°

No	Torsi (N.cm)	Putaran (rpm)
1	0	184
2	2,2	179
3	4,1	178
4	6,3	176
5	8,9	174
6	10,8	172
7	11,9	165
8	13,8	163
9	14,7	152
10	15,8	135

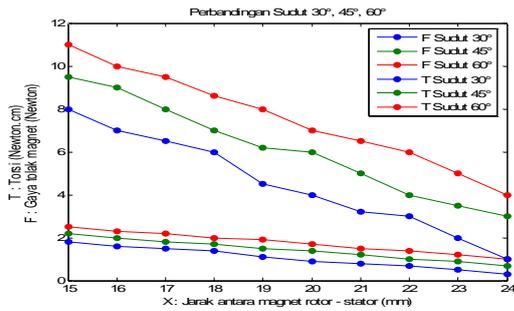
Tabel 6 Pengukuran torsi & putaran sudut 60°

No	Torsi (N.cm)	Putaran (rpm)
1	0	151
2	1,9	149
3	4,3	148
4	8	144
5	10,2	135
6	12,9	123
7	14,3	105
8	16,1	54
9	17,2	25
10	18,1	0

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

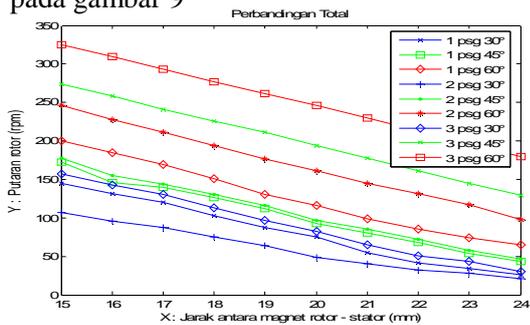
3.1 Hasil Penelitian

Ada empat macam pengukuran yang dilakukan dalam percobaan ini yang masing-masing berdasarkan data pada tabel 1, tabel 2, tabel 3 yang ditunjukkan secara berturut-turut pada gambar 8, gambar 9, gambar 10, dan tabel 4, tabel 5 dan tabel 6 ditunjukkan pada gambar 12 Hubungan jarak terhadap gaya dorong dan torsi magnet permanen pada posisi sudut 30°, 45°, dan 60° ditunjukkan pada Gambar 8.



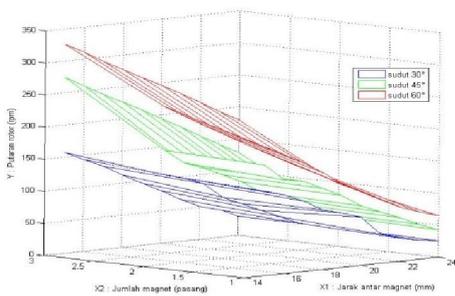
Gambar 8. Hubungan jarak magnet rotor-stator terhadap gaya dan torsi

Hubungan jarak terhadap putaran rotor pada jumlah pasang magnet 1, 2 dan 3 ditunjukkan pada gambar 9



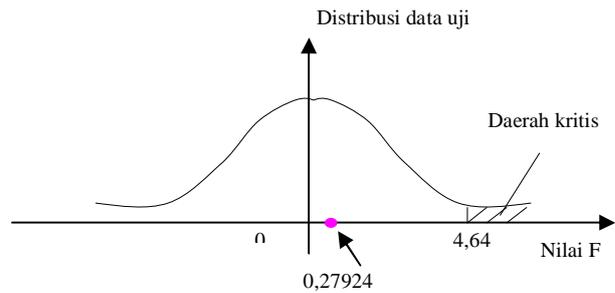
Gambar 9. Hubungan jarak magnet rotor-stator terhadap putaran

Hubungan variabel bebas X_1, X_2, X_3 terhadap variabel terikat Y ditunjukkan pada gambar 10.



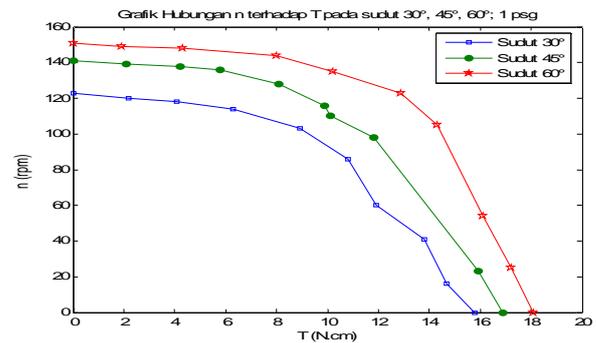
Gambar 10. Gambar 3 dimensi hubungan variabel bebas X_1, X_2, X_3

Hubungan variabel bebas X_1, X_2, X_3 terhadap variabel terikat Y dengan perhitungan Matlab diperoleh persamaan: $Y = 0 - 11,5077 X_1 + 0,8261 X_2 + 169,2544 X_3$ dengan gambar kurva distribusi normal seperti gambar 11.



Gambar 11. Posisi titik kritis pada kurva distribusi normal $F = 0,27924$

Hubungan putaran rotor terhadap torsi mmp ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik hubungan putaran terhadap torsi

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian yang ditunjukkan gambar 8, bahwa semakin besar jarak antar magnet, maka semakin kecil gaya yang ditimbulkannya; Sementara itu dari gambar 9, dapat dianalisa bahwa putaran tertinggi terjadi pada sudut 60° , dengan jumlah pasang magnet terbanyak (3), sedangkan putaran terendah terjadi pada sudut terkecil (30°) dengan jumlah pasang magnet paling sedikit (1). Jadi, putaran motor berbanding lurus dengan posisi sudut maupun

jumlah pasang magnet. Hasil analisis regresi linier sederhana berdasarkan data pengukuran putaran dengan 1 hingga 3 pasang magnet, masing-masing pada posisi sudut $30^\circ, 45^\circ$ dan 60° dengan perhitungan program Matlab berturut-turut diperoleh:

persamaan = $352,2364 - 13,8788 X$, nilai $t = -30,4415$;

persamaan $= 377,8182 - 14,0727 X$, nilai $t = -35,4576$; persamaan $= 432,3636 - 15,5879 X$, nilai $t = -29,9831$

yang menunjukkan bahwa semua nilai t berada di sebelah kanan nilai rata-rata normalisasi nol pada kurve distribusi normal. Artinya nilai signifikansi hasil uji t perhitungan tidak berada didaerah kritis. Jadi hubungan antara variabel jarak (X_1) berpengaruh terhadap besarnya putaran (Y).

Gambar 10 memperlihatkan bahwa sudut rendah (30°) kurvanya naik linier terhadap jumlah magnet dengan slope rendah, sedangkan posisi sudut 45° dan 60° kurvanya juga naik linier terhadap jumlah magnet, tetapi dengan slope yang lebih tinggi kurvanya akan menurun;

Hasil analisis regresi linier berganda ($Y = 0 - 11,5077 X_1 + 0,8261 X_2 + 169,2544 X_3$), dimana $b_0 = 0$; $b_1 = - 11,5077$; $b_2 = 0,8261$; $b_3 = 169,2544$) menunjukkan bahwa ketiga variable (jarak, posisi sudut magnet rotor-stator, jumlah pasang magnet) berpengaruh terhadap besarnya putaran motor. Pengaruh ini sangat signifikan dilihat dari hasil uji signifikansi $F = 0,27924$ (hitungl) dan nilai t perhitungan dibawah nilai kritis (gambar 11);

Saat beban bertambah, maka perubahan torsi akan mempengaruhi putaran dan menjadi cenderung menurun (hampir mirip karakteristik motor arus searah penguat terpisah, dengan kuat medan magnet yang relatif konstan), seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. Bila diambil penggunaan motor pada kondisi putaran sebelum menurun drastis, maka mengacu pada persamaan (2) dan (3) besarnya daya listrik pada posisi 30° , 45° , dan 60° masing-masing sebesar 11,25 watt, 18,35 watt, dan = 26,81 watt.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Hasil pengukuran perhitungan dan analisis penelitian ini disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Hubungan gaya dorong rotor maupun torsi terhadap jarak antara magnet rotor-stator adalah berbanding terbalik, sedangkan hubungan gaya dorong ataupun torsi

terhadap posisi sudut magnet berbanding lurus.

- 2) Hasil analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa hubungan antara putaran rotor yang merupakan variabel terikat terhadap jarak antara magnet rotor-stator (sebagai variabel bebas) adalah sangat kuat. Hal ini ditunjukkan berdasarkan hasil uji $t = 1,860$ yang signifikan.
 - a) Hubungan putaran rotor terhadap jarak magnet rotor-stator adalah berbanding terbalik.
 - b) Hubungan antara putaran rotor terhadap posisi sudut magnet adalah berbanding lurus.
 - c) Hubungan antara putaran rotor mmp terhadap jumlah pasang magnet yang digunakan adalah berbanding lurus.
- 3) Hasil analisis regresi linier berganda menunjukkan bahwa hubungan antara variabel terikat yaitu putaran rotor mmp terhadap 3 variabel bebas yaitu jarak antara magnet rotor-stator, posisi sudut magnet dan jumlah pasang magnet adalah sangat berpengaruh. Artinya putaran rotor mmp sangat tergantung dengan ketiga variabel bebas tersebut. Hal ini sesuai dengan hasil uji $F = 0,27924$ yang signifikan.
- 4) Berdasarkan kesimpulan alinea 1 sampai dengan 3 di atas dapat dipertegas bahwa pengaturan putaran rotor mmp dapat dilakukan dengan mengatur
 - a) celah udara antara rotor-stator.
 - b) posisi sudut magnet rotor.
 - c) Jumlah pasang magnet.

Diantara ketiga cara pengaturan tersebut di atas, pengaturan a) paling mudah dilakukan, karena hanya menggeser posisi magnet saja, sedangkan cara b) dan c) perubahan dilakukan dengan cara bongkar-pasang magnet. Teknologi konstruksi sangat menentukan kinerja dari mmp tanpa energi listrik ini.
- 5) Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan konversi daya mekanik ke listrik, daya mmp pada posisi sudut 30° , 45° , dan 60° masing-masing sebesar 11,25 watt, 18,35 watt, dan 26,81 watt.

4.2 Saran-saran

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan beberapa saran berikut ini:

- 1) Pemasangan *magnetic shield* pada magnet rotor maupun magnet stator sangat diperlukan, agar didapatkan putaran rotor mmp yang sempurna.
- 2) Perencanaan konstruksi yang tepat akan mempermudah pengaturan putaran rotor mmp, sehingga pengoperasiannya lebih nyaman.
- 3) Sebelum melakukan penelitian tentang mmp, sebaiknya magnet yang akan digunakan diukur terlebih dahulu kuat medan magnitnya, sehingga tidak mengganggu kesehatan orang-orang yang bekerja disekitarnya.
- 4) Penelitian genset listrik dengan penggerak mmp merupakan kajian yang menarik untuk masa yang akan datang sebagai sumber energi alternatif.
- 5) Perlu dilakukan penelitian tentang batas usia kekuatan bahan magnetik.
- 6) Secara ekonomis bahan magnet dari Belanda ini relatif mahal, namun dengan bahan yang sama dapat diimport dari negara China yang harganya relatif lebih murah.
7. Craik, D, 1997, "Magnetism Principles and Applications", New York, John Wiley & Sons.
8. Duffin, WJ, 1981, "Electricity and Magnetism", England, third edition, Me Graw Hill Book Company.
9. Freund, JE & R. E. Walpole, 1987, "Mathematical Statistics", Neww Jersey Englewood Cliffs, Prentice Hall Inc.
10. Johnson,R.A & Wichern,D.W, 2002, "Applied Multivariate Stastistical Analysis", New Jersey, Fifth Edition, Printice-Hall.
11. Kadir, Abdul, 1993, "Pengantar Teknik Tensga Listrik", Jakarta, LP3S.
12. Klaus Tkotz, 2006, "Fachkunde Electrotechnik", Nourney, Verlag Europa-Lehrmittel, Vollmer GmbH & Co.kG.
13. Mulyaseputra, Prih Sumardjati, 2010, Tesis "Kajian Awal Motor Magnet Permanen Sebagai Penghasil Gaya dan Putaran Seperti Motor Listrik", Yogyakarta, Teknik Elektro UGM.
14. Parviainen, A., 2005, Thesis for the degree of Doctor of Science (Technology) to be presented with due permission for public examination and criticism in the auditorium 1382 at Lappeenranta University of Technology, Finland on the 19th of April, 2005, at noon, "Design Of Axial-Flux Permanent-Magnet Low-Speed Machines And Performance Comparison Between Radial-Flux And Axial-Flux Machines".

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Beckmann, H.W., Lampe, K., Milde, H., Rohlfing, H., Scheurmann, M., Tornau, F. And Zantis, F.P., 1998, "Friedrich Tabellenbuch Elektrotechnik Elektronik", Bonn, Duummlers Verlag.
2. Berahim, Hamzah, 2005, Disertasi "Metodologi Untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi Daerah Tropis", Yogyakarta, Teknik Elektro, UGM.
3. Borg, W.R. and Gall, M.D., 1989, "Educational Research An Introduction", New York & London, Fifth Edition, Longman.
4. Buschow, KHJ,2008, "Handbook of Magnetic Material", The Netherlands, vol 17, Elsevier BV, Eindhoven.
5. Catalog, 1995, Magnet Applications United Kingdom, "High Performance Permanent Magnets" , Playa Court Culver City., Magnet Sales & Manufacturing Inc.
6. Cheng, David K, 1989, "Field and Wave Electromagnetics", USA, 2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
7. Reitz/Milford/Christy, 1993, "Foundations of Electromagnetic", 3rd edition, Michigan, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
8. Rohlfing, H, 1998, "Tabellenbuch Elektrotechnik Elektronik", Bonn, Duummlers Verlag Germany
9. Sarma, M., 1985, "Electric Machines", San Fransisco, West Publishing Company.
10. Saslow, W, 2007, "Electricity, Magnetism, and Light", Elsevier B.
11. Sawhney, A.K, 1990, "Electrical Machine Design", Delhi Jullundur, Dhampat Rai & Sons.
12. Van Vlack, Sriati, 1995, "Elemen of Materials Science and Engineering", 5th edition, Addison-Wesley Publishing Company.
13. Werniuck, 1978, "Electic Motor Handbook", England, Mc Graw Hil Book Company.

22. Wildi, T.,2006, New Jersly, “Electrical Machines, Driver, and Power Systems”, International Edition, Pearson Prentice Hall.
23. Zuhail, 1991, “Dasar Tenaga Listrik”, Bandung, Penerbit ITB.
24. www.magnetsales.com