

## Studi Penggunaan Permanen Magnet Servo Motor Tegangan 460 V DC, 1850 Rpm Pada Mesin Potong Karton

**Stephanus A. Ananda, Julius Sentosa S., Benny Augusta S.**

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra  
e-mail: ananda@petra.ac.id

### Abstrak

Dengan kemajuan teknologi yang ada, motor listrik menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam kegiatan produksi. Motor DC Servo adalah merupakan salah satu motor yang banyak digunakan dalam industri karena mempunyai keunggulan yaitu mudah diatur putarannya. Dalam makalah ini akan dibahas Motor DC Servo jenis permanen magnet yang diaplikasikan dalam mesin potong karton. Pengaturan kecepatan menggunakan pengontrol kecepatan melalui perubahan frekuensi. Dari hasil pengujian di lapangan didapatkan nilai tegangan konstan, dan nilai arus, daya, dan torsi meningkat seiring meningkatnya kecepatan. Didapatkan peningkatan torsi 0,56 Nm pada putaran 102 Rpm dan naik menjadi 1,43 Nm pada putaran 255 Rpm.

**Kata kunci:** Motor DC Servo Permanen Magnet.

### Abstract

*Along with technology development, electrical motor become essential and un-separately part of production processes. Permanent Magnet DC Servo Motor is one of the motor types that often used in industry because of their superiority in speed control. This paper will discuss about Permanent Magnet DC Servo Motor that applied in the paper cutting machine. The motor's speed is controlled by changing the frequency of the supply. From the result of the testing, the motor has constant voltage, raising current, power and torque together along the speed raise. The torque increases between 0.56 Nm (in 102 rpm) to 1.43 Nm (in 225 rpm).*

**Keywords:** Permanent Magnet DC Servo Motor.

### Pendahuluan

Karena meningkatnya kemajuan teknologi pada saat ini, motor listrik menjadi bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam kegiatan produksi, khususnya di pabrik-pabrik. Ada suatu kebutuhan bahwa motor-motor tersebut dapat dikontrol dengan baik.

Permanen magnet dc servo motor merupakan salah satu jenis motor yang dapat dikontrol dengan mudah dan presisi tinggi. Umumnya motor jenis ini banyak digunakan dalam peralatan elektronik yang kecil, misalkan pada motor pemutar kaset video, penggerak robot dan lain sebagainya[5].

Dalam makalah ini akan dibahas cara kerja, penggunaan dan karakteristik dari permanen magnet dc servo motor yang diaplikasikan pada mesin pemotongan karton yang digerakkan dengan kecepatan tinggi, dan menuntut kepresisian dalam proses pemotongan.

Dengan mengutamakan pengaturan berpresisi tinggi pada proses pemotongan karton akan dapat diperoleh hasil potongan karton dalam jumlah yang banyak dalam waktu relatif singkat, sehingga hal ini dapat memperbesar kapasitas produksi.

### Motor Servo DC Magnet Permanen

Motor servo adalah jenis motor yang digunakan sebagai penggerak pada sistem servo (servo-system) seperti pada penggerak pada kontrol posisi lengan robot. Motor servo secara struktur mesin listrik ada 2 macam : dc servo motor dan ac servo motor. [2]

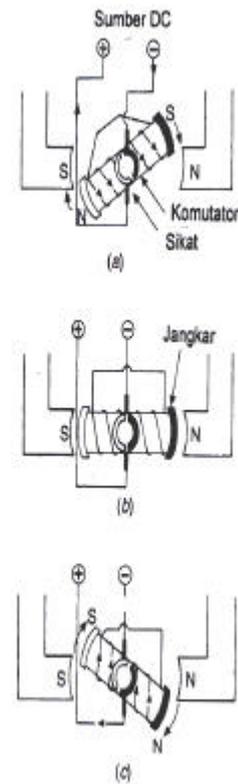
DC Servo motor mempunyai konstruksi yang sama dengan konstruksi motor dc. Dalam motor dc konvensional sikat dan cincin belah merupakan suatu kerugian. Karena ada gesekan antara sikat dan cincin maka akan terjadi rugi gesek, timbulnya percikan api dan terkikisnya sikat arang maupun cincin. Maka mulai dipikirkan Motor dc tanpa sikat atau disebut Brushless DC Motor. Brushless DC Motor dapat diwujudkan dengan menggunakan prinsip kerja

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 November 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 3, nomor 1, Maret 2003.

motor induksi 3 fasa (tanpa sikat dan cincin). Dengan menambahkan komponen *permanent magnet*, *electronic inverter* (yang menimbulkan medan putar) dan *position control* (umumnya menggunakan sensor efek Hall), maka akan didapatkan motor dc brushless. Jadi disini rangkaian inverter dan kontrol posisi berfungsi sebagai pengganti komutator mekanik (sikat & cincin belah) dalam membalik medan. Motor dc brushless ini mempunyai karakteristik yang mendekati dc motor konvensional. [2] Untuk mengerti cara kerja Motor Servo DC Magnet Permenan haruslah dimengerti bagaimana prinsip kerja Motor DC Magnet Permenan, Motor DC tanpa sikat dan medan putar.

### Motor DC Magnet Permenan

Motor dc magnet permenan adalah motor yang medan magnet utamanya berasal dari magnet permenan. Dan kumparan medan elektromagnetik digunakan untuk medan jangkar.[3] Gambar 1. memperlihatkan operasi motor dc magnet permenan. Arus mengalir melalui kumparan jangkar dari sumber tegangan dc, menyebabkan jangkar berfungsi sebagai magnet. Kutub pada kumparan jangkar akan ditarik oleh kutub medan utama dari polaritas yang berbeda, sehingga jangkar berputar. Pada Gambar 1a terlihat jangkar berputar searah dengan putaran jarum jam. Apabila kutub jangkar segaris dengan kutub medan, sikat-sikat ada pada celah di komutator sehingga tidak ada arus mengalir pada jangkar. Jadi, gaya tarik atau gaya tolak dari magnet akan berhenti, seperti tampak pada gambar 1b. Kemudian kelembaman membawa jangkar melewati titik netral. Komutator akan membalik arus jangkar ketika kutub yang tidak sama dari jangkar dan medan saling berhadapan satu sama lain, sehingga membalik polaritas medan jangkar. Kutub-kutub yang sama dari jangkar dan medan kemudian menjadi saling tolak menolak, sehingga jangkar berputar terus menerus seperti diperlihatkan pada gambar 1c. [3] Arah putaran dari motor dc magnet permenan ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada jangkar. Pembalikan ujung-ujung jangkar tidak akan membalik arah putaran. Salah satu keistimewaan dari motor dc magnet permenan ini adalah kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Kecepatan motor magnet permenan berbanding langsung dengan harga tegangan yang diberikan di jangkar. Semakin besar tegangan jangkar, semakin tinggi kecepatan motor. [3][1]



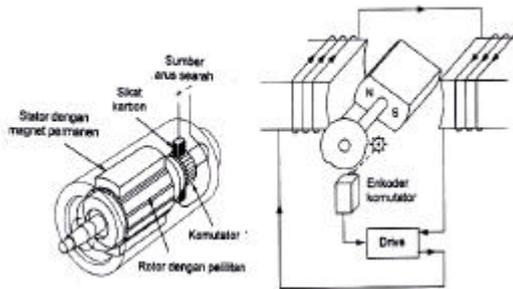
Gambar 1. Operasi Motor DC Magnet Permenan

### Motor Dc Tanpa Sikat Magnet Permenan

Pada gambar 2. digambarkan operasi motor DC tanpa sikat magnet permenan. Magnet permenan dipasang pada bagian yang berputar (rotor) dan kumparan dipasang pada stator. Tidak seperti pada motor DC dengan sikat, motor DC tanpa sikat tidak dapat jalan dengan menghubungkannya dengan sumber DC. Arus pada rangkaian stator harus disupply pada posisi rotor yang ditentukan sehingga pada kenyataannya motor dijalankan dengan arus bolak-balik. Kumparan medan stator diberi medan magnet berputar dari pemberian tegangan yang berurutan [3]. Arus disuplai dengan encoder komutasi dalam merespon sinyal dari optik atau sensor efek hall untuk menggantikan komutasi mekanik.[7] Dengan demikian bisa dihilangkan rugi-rugi gesek sikat dan komutator.

Motor DC tanpa sikat magnet permenan banyak digunakan pada sistem servo dan robot. Motor tersebut mempunyai efisiensi tinggi, umur pemakaian lama, tingkat kebisingan suara rendah, dan pemakaian daya rendah. Motor DC tanpa sikat bukan motor stepper. Motor ini mempunyai putaran yang halus dan kontinu seperti motor DC magnet permenan konven-

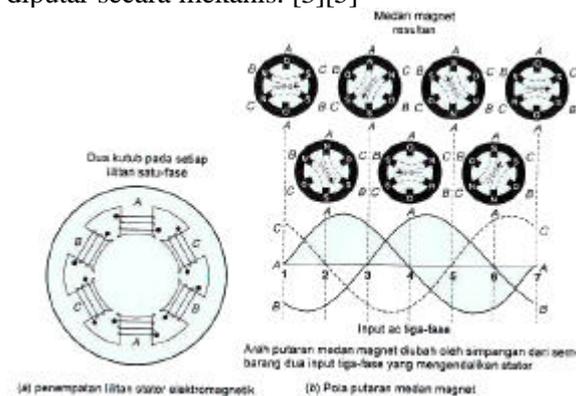
sional, dan tidak ada penahanan "fixed-steps" seperti pada motor stepper. [3]



Gambar 2. Motor DC Magnet Permanen

### Medan Magnet Putar

Supply tiga fasa atau tiga kumparan yang bergeseran 120° diruang dan diberi tegangan atau arus yang 120° bergeser terhadap waktu (3 fasa) maka fluks resultan akan ditimbulkan dan ini seolah-olah seperti ada kutub magnetis yang diputar secara mekanis. [3][5]



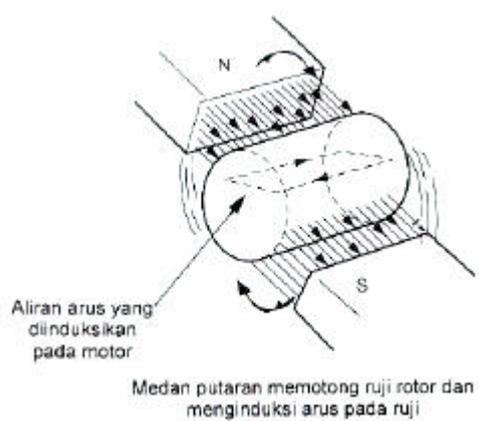
Gambar 3. Pembangkitan medan-magnet putar

Pada gambar 3(b) kecepatan sinkron dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{120f}{P} \\
 &= 120 \times \frac{60}{2} \\
 &= 3600 \text{ rms}
 \end{aligned}$$

Motor arus bolak-balik diklasifikasikan sebagai motor dengan dasar prinsip pengoperasian sebagai motor induksi atau motor sinkron. Motor induksi AC adalah motor yang paling sering digunakan sebab motor ini relatif sederhana dan dapat dibuat lebih murah dibandingkan dengan yang lain. Motor induksi dapat dibuat baik untuk jenis tiga-fase maupun satu-fase, karena pada motor induksi tidak ada tegangan eksternal yang diberikan secara langsung pada rotornya. Sebagai

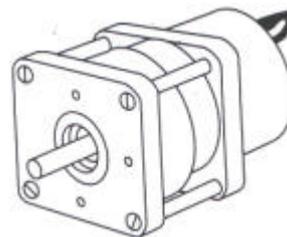
penggantinya, arus AC pada stator menginduksikan tegangan lewat celah udara dan pada lilitan rotor untuk menghasilkan arus rotor dan medan magnet. Medan magnet stator dan rotor kemudian berinteraksi dan menyebabkan rotor jadi berputar (Gambar 4.). [3][4]



Gambar 4. Arus Induksi Rotor

### Motor Servo DC Magnet Permanen

Motor servo DC magnet permanen (Gambar 5.) digunakan pada mesin yang menghendaki posisi yang tepat dari objek, dimana diperlukan torsi konstan. Pemakaian lain meliputi pengoperasian katub bertekanan, penempatan cermat dari damper dan operasi khusus yang lain di berbagai aplikasi sistim kontrol. [3]

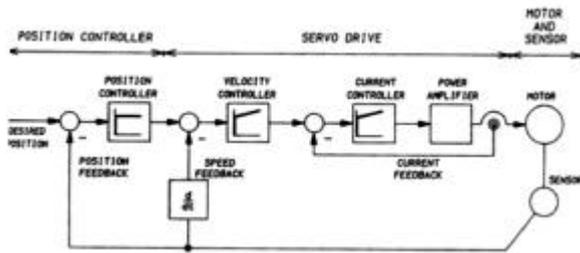


Gambar 5. Servomotor DC Magnet Permanen

### Kontrol Gerak Dengan Sistem Kontrol Loop Tertutup Menggunakan Motor Servo Magnet Permanen

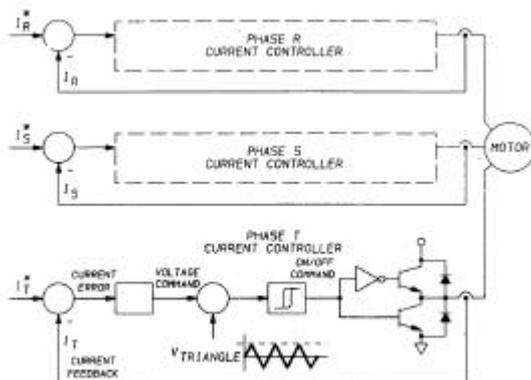
Sesuai dengan fungsinya sebagai penggerak yang terkontrol Motor Servo DC Magnet Permanen di supply dari driver elektronik yang berfungsi sebagai penyearah dan pengontrol. Dalam pengontrolan motor servo umumnya digunakan sistem loop tertutup. Struktur umum pada kontrol loop tertutup ini terdiri dari loop arus, loop kecepatan dan loop posisi. Struktur kontrol multi loop ini akan berfungsi dengan baik apabila *bandwidth* dari tiap loop memiliki komposisi

yang tepat. Loop arus memiliki tingkat *bandwidth* paling tinggi, loop posisi memiliki *bandwidth* terendah. Bandwidth umum yang ada pada kontrol ini – 3 DB dan pergeseran fase sebesar – 45°. Pada umumnya kontrol arus menggunakan PWM Amplifier dan kontrol loop tertutup dari arus pada tiap phasanya.



Gambar 6. Kontrol loop tertutup untuk kontrol gerak

Peralatan daya harus bertahan terhadap tegangan tinggi, arus tinggi dan memperlihatkan tingkat konduksi dan losses yang rendah. Saklar yang umum digunakan adalah transistor bipolar dan fet, tetapi saat ini telah ditemukan komponen baru yang disebut IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Alat ini mengkombinasikan *output transistor bipolar* dengan *trigger* dari gate dan proses pemadaman yang cepat dari FET. Pada umumnya frekuensi PWM berkisar antara 5 – 20 kHz. Sensor arus *feedback* sangat penting dan harus memberikan angka yang tepat dari arus yang sebenarnya. Sinyal arus *feedback* dibandingkan dengan perintah yang diberikan saat itu, akan menghasilkan sinyal *error* dari arus. *Error* yang terjadi diproses oleh regulator untuk menghasilkan perintah terhadap tegangan motor. Sinyal tegangan dibandingkan dengan gelombang segitiga untuk menghasilkan sinyal PWM yang memerintahkan komponen daya untuk menghidupkan dan mematikan sistem. Teknik PWM banyak digunakan pada konversi daya DC ke AC [7].



Gambar 7. Loop arus 3 phasa untuk PWM power amplifier

## Pengumpulan Data

Dari hasil pengamatan terhadap mesin potong karton didapatkan bahwa mesin potong tersebut terdiri dari dua motor servo permanen magnet yaitu motor upper dan motor lower. Pada saat pemotongan karton, hanya digunakan salah satu dari motor servo permanen magnet. Berikut ini adalah identifikasi dan hasil pengukuran terhadap motor servo permanen magnet:

### NAME PLATE

Permanen Magnet Servo Motor  
 480V 30A S1  
 RPM.1850 I<sup>4</sup> IEC 34-1 (1983)  
 Power Factor 1.0  
 INS CL H Max Amb 55°C  
 WT 116kg IP-54

## Data Pengukuran Pada Mesin Potong Karton

Tabel 1. Tegangan terhadap Putaran

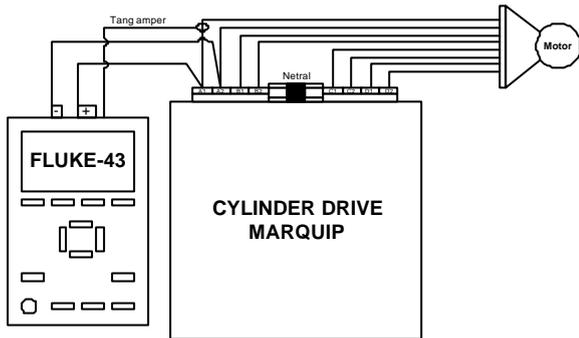
n (rpm)	Tegangan			
	A1-A2	B1-B2	C1-C2	D1-D2
102	306.7	237.5	240.9	275
134	295.3	233.4	265.3	276.6
159	275.3	249.3	273.2	278.9
185	310.7	225.1	248.8	280.1
229	297.1	295.9	302.8	346
255	271.3	227.1	245.4	333.2

Tabel 2. Arus terhadap Putaran

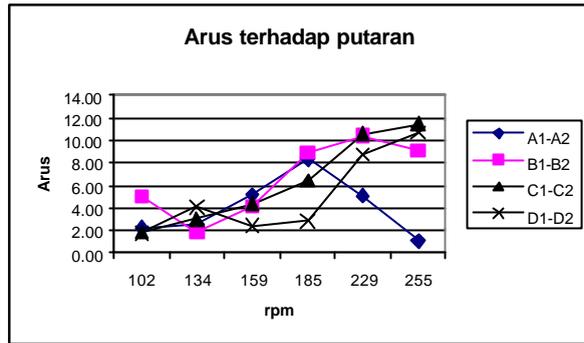
n (rpm)	Arus			
	A1-A2	B1-B2	C1-C2	D1-D2
102	2.26	5.00	1.87	1.77
134	2.54	1.87	3.05	4.06
159	5.13	4.14	4.37	2.39
185	8.35	8.90	6.42	2.84
229	5.10	10.38	10.55	8.74
255	1.09	9.10	11.43	10.68

Tabel 3. Frekuensi terhadap Putaran

n (rpm)	Frekuensi			
	A1-A2	B1-B2	C1-C2	D1-D2
102	6,8	6,8	6,8	6,8
134	8,933	8,933	8,933	8,933
159	10,6	10,6	10,6	10,6
185	12,33	12,33	12,33	12,33
229	15,27	15,27	15,27	15,27
255	17	17	17	17



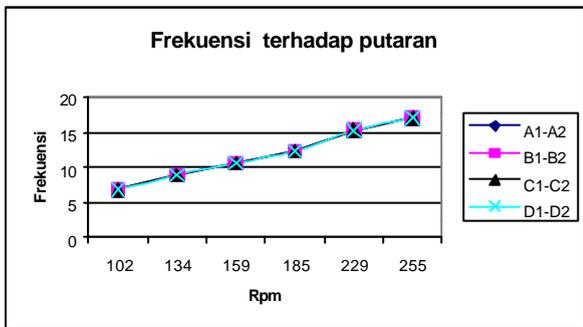
Gambar 8. Rangkaian Pengukuran di Terminal A1-A2



Gambar 11. Grafik I terhadap putaran

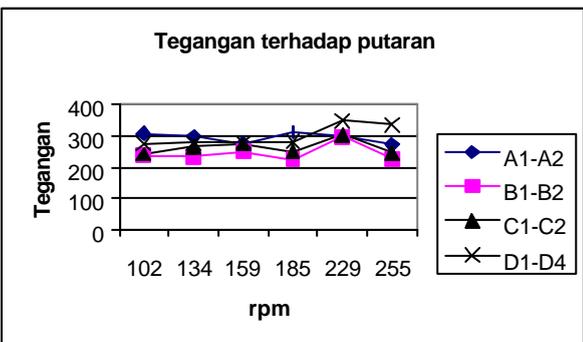
**Analisa Data**

Dari hasil pengumpulan data didapat grafik yang dapat dianalisa sebagai berikut:

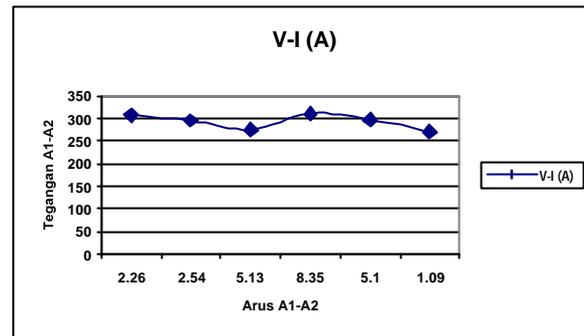


Gambar 9. Grafik f terhadap putaran

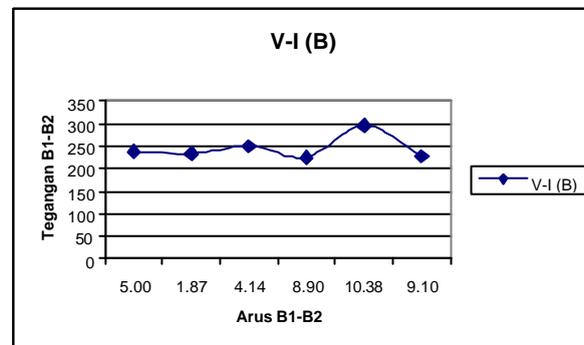
Pengaturan putaran motor diatur dengan mengubah frekuensi sumber, maka pada grafik frekuensi (f) terhadap putaran pada gambar 1. dapat dilihat bahwa hubungan kenaikan frekuensi terhadap putaran cukup linier. Terlihat frekuensi naik bersamaan pada keempat kumparan dengan jarak antara masing-masing kumparan berhimpit. Frekuensi pada tiap kumparan juga mengalami kenaikan, sejak dari putaran 102 rpm hingga 255 rpm frekuensi terus naik.



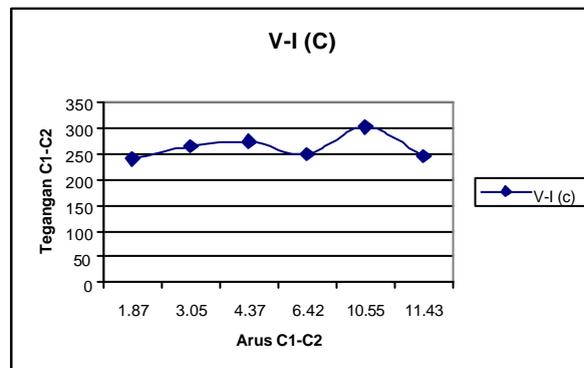
Gambar 10. Grafik V terhadap putaran



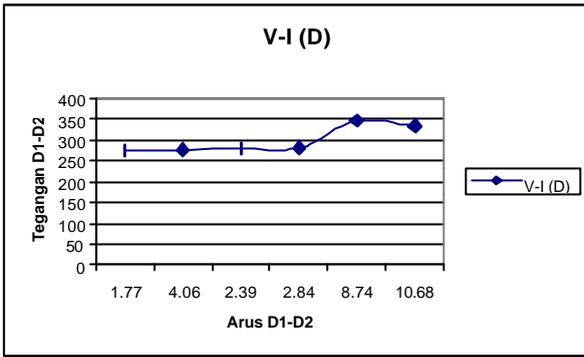
Gambar 12. Grafik V terhadap I (A)



Gambar 13. Grafik V terhadap I (B)



Gambar 14. Grafik V terhadap I (C)



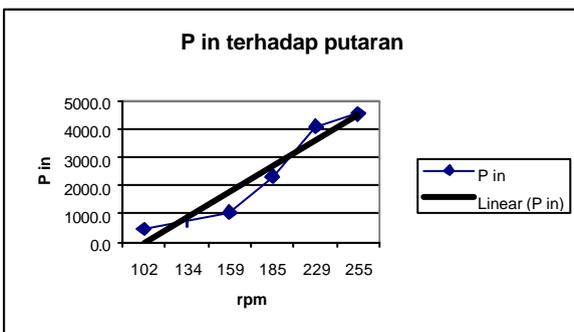
Gambar 15. Grafik V terhadap I ( D )

Dari grafik tegangan (V) terhadap n (putaran) pada gambar 10 terlihat bahwa tegangan antara masing-masing kumparan hampir berdekatan atau berhimpit dan cenderung konstan. Pada tiap kumparan di putaran 102 rpm hingga 255 rpm, terlihat tegangannya konstan berada dikisaran 225 V hingga 350 V.

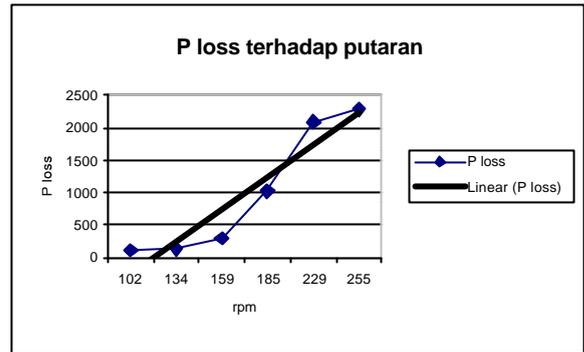
Sedangkan dari grafik arus (I) terhadap n (putaran) pada gambar 11 terlihat bahwa Arus antara masing-masing kumparan hampir berdekatan atau berhimpit. Hanya pada A1 – A2 arus terlihat turun, dan yang lain cenderung naik. Tiap kumparan diputaran 102 rpm hingga 255 rpm memiliki arus yang cenderung naik (kurang lebih 12 A), hanya pada kumparan A mengalami penurunan arus setelah mencapai putaran 185 rpm.

Dari grafik V terhadap IA, IB, IC, dan ID pada gambar 12 sampai gambar 15 terlihat bahwa tegangan konstan. Pada grafik tegangan terhadap arus tampak bahwa tegangan untuk tiap kumparan konstan diantara 250 V – 350 V.

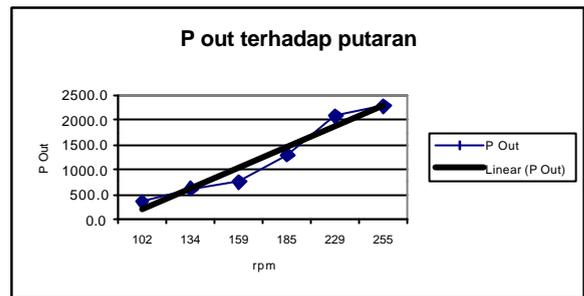
Jadi secara umum dapat dikatakan tegangan relatif konstan pada kenaikan putaran. Sedangkan arus meningkat seiring dengan kenaikan putaran.



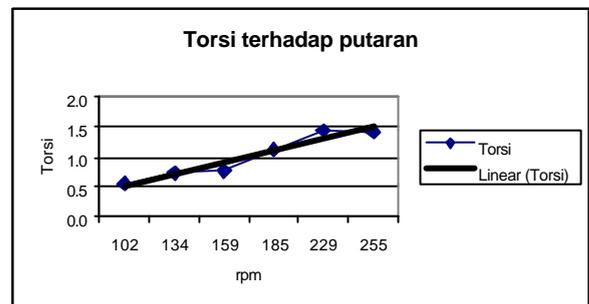
Gambar 16. Grafik P input terhadap putaran



Gambar 17. Grafik P loss terhadap putaran



Gambar 18. Grafik P output terhadap putaran



Gambar 19. Grafik Torsi terhadap putaran

Dari data pengukuran dapat dihitung daya input (Pin), daya output (Pout), daya rugi-rugi (Ploss), dan Torsi (T) lalu digambarkan grafiknya terhadap fungsi putaran. Grafik P input terhadap n (putaran) pada gambar 16 terlihat bahwa trendline linier dan naik. Correlation = 0,9751.

Sedangkan dari grafik P loss terhadap n (putaran) pada gambar 17 terlihat bahwa trendline linier dan naik. Correlation = 0,963. Dari grafik Daya Nyata (P) output terhadap n (putaran) pada gambar 18 terlihat bahwa garis trend terlihat naik. Correlation = 0,985.

Dan dari grafik Torsi terhadap n (putaran) pada gambar 19 terlihat bahwa trendline naik dan

berfluktuasi sedikit.  $Correlation = 0,972$  ( $Correlation$  mendekati 1 berarti mendekati linier). Torsi yang dihasilkan dari putaran 102 rpm hingga 255 rpm terus naik, hanya sedikit berfluktuasi pada putaran 159 rpm dan 229 rpm. Didapat juga nilai torsi terendah sebesar 0,56 Nm pada putaran 102 rpm dan torsi tertinggi sebesar 1,43 Nm pada putaran 255 rpm.

Secara umum dapat dilihat bahwa  $P_{in}$ ,  $P_{loss}$  dan  $P_{out}$ , terus naik dari putaran 102 rpm hingga 255 rpm.

## Kesimpulan

1. Dari karakteristik tegangan terhadap putaran didapat bahwa tegangan relatif konstan di 225-350 V
2. Secara umum arus naik seiring dengan kenaikan kecepatan hingga mencapai sekitar 12 A.
3. Daya input, daya losses dan Torsi meningkat secara linier seiring dengan kenaikan kecepatan. Torsi mencapai 1,43 Nm pada putaran 255 rpm.
4. Grafik arus terhadap tegangan ditiap kumparan relatif konstan disekitar 250-350 V.

## References

- [1]. Kadir, Abdul, Prof. Ir., Pengantar Teknik Tenaga Listrik., Jakarta: LP3ES, 1991.
- [2]. Kenjo, Tak, Electric Motors and Their Controls : An Introduction, Oxford, Oxford University Press : 1991.
- [3]. Petruzella, Frank D., Industrial Electronics., Diterjemahkan oleh : Drs. Sumanto, MA, Yogyakarta : Andi Offset, 1996.
- [4]. Panjaitan, R. Drs., Mesin Arus Bolak Balik., Jakarta: Erlangga, 1989.
- [5]. Theraja, B.L., Text Book of Electrical Technology., New Delhi; Publication Division of Nirja Construction & Development, 1984.
- [6]. Veinot, Cyril G., Martin, Joseph E. Martin, Fractional and Subfractional Horse Power Electric Motors., Cledonia:University Graphics, 1986.
- [7]. \_\_\_\_, Handbook Electro-craft Servo System., Minnesota: Electro-Craft Limited, 1999.