

## **APLIKASI MAGNETIK KOPLING DENGAN TEGANGAN INJEKSI DC TERKONTROL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89S51 SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA**

**Mochammad Facta, Agung Warsito dan Nyoto Susilo**

*Jurusan Teknik Elektro, FT - UNDIP*

*Jl. Prof. Sudarto, SH., Semarang*

### **ABSTRAK**

**APLIKASI MAGNETIK KOPLING DENGAN TEGANGAN INJEKSI DC TERKONTROL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89S51 SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA.** Motor merupakan alat yang sangat diperlukan untuk menggerakkan berbagai peralatan baik yang sifatnya ringan maupun berat, dengan kecepatan tinggi atau rendah sesuai dengan yang kita kehendaki. Banyak kontrol yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik. Namun biasanya menghadapi berbagai masalah diantaranya harga dari alat kontrolnya mahal, perawatannya susah, membutuhkan kondisi ruang yang dingin, selain itu untuk motor induksi hanya memiliki *range* kecepatan yang cukup kecil sehingga untuk mendapatkan *range* kecepatan yang lebar perlu cara lain untuk mengontrolnya. Untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan kontrol kecepatan motor menggunakan magnetik kopling. Prinsip pengaturan motor ini adalah dengan kopling magnet yang diletakkan pada *output* poros motor. *Output* poros motor diberi kopel yang tidak menyambung satu dengan yang lain kemudian dikopling dengan magnet listrik yang dikendalikan menggunakan tegangan dc penyearah terkontrol (*rectifier* terkontrol) sehingga kecepatan *output* tersebut dapat dikendalikan dengan mengatur besar kecilnya kekuatan magnet. Penyearah terkontrol yang digunakan dengan kendali SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) yang diatur dengan sudut picu. Pemucian yang digunakan adalah dengan menggunakan deteksi fasa (*Zero Crossing Detector*) untuk meng-*on*-kan *thyristor* yaitu tegangan anoda lebih besar dari katoda, sehingga besarnya tegangan keluaran akan dapat dikontrol sesuai besarnya sudut picu dengan mikrokontroler AT89S51. Alat ini dibuat dengan sistem open *loop*, kecepatan output poros kopel ke motor diambil dengan sensor kecepatan (*optocoupler*) untuk ditampilkan dalam *seven* segment kecepatan (*tachometer*) berbasis mikrokontroler AT89S51 sebagai tampilan nilai kecepatan yang dikontrol.

**Kata kunci** : Kopling magnetik, penyearah terkontrol, motor induksi, mikrokontroler

### **ABSTRACT**

**THE APPLICATION OF MAGNETIC COUPLING WITH CONTROLLED DC VOLTAGE INJECTION USING AT89S51 MICRO CONTROLLER AS VARIABLE SPEED CONTROL OF SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR.** Electric motor is very needed to move any light or heavy equipments in high or low speed as it is desired. Many control devices are made to control the speed of electric motor, but most of them face various problems due to the expensive price of its control device, and its hard maintenance. An induction motor, as the most common used electric motor, has small range speed so that to get wider range of speed, an alternative variable speed control method is needed. In order to overcome the problem, in this paper, a magnetic coupling is applied as variable speed control. The main principle of this variable speed control is by putting magnetic coupling at the output of rotor axle of the electric motor. This coupling cover two separates axles with small adjacent gap. One axle is the output of rotor, and the other is the controlled rotating axle that drives the load. The speed of variable rotating axle is controlled by increasing or reducing magnetic force due to dc voltage from a controlled rectifier. The controlled rectifier uses thyristor or SCR (*Silicon Controlled Rectifier*), which is triggered by variable angle. The triggering process using zero crossing detector to determine when triggered signal applied. The variation of time or angle to trigger is programmed using micro controller AT89S51. The system is design in open loop. The controlled speed arisen at the output side of magnetic coupling axle is sampled using optocouple, then by using micro controller it is displayed into seven segment as tachometer.

**Key words** : Magnetic coupling, controlled rectifier, induction motor, micro controller

**PENDAHULUAN**

Motor dalam dunia industri merupakan alat yang sangat diperlukan untuk menggerakkan berbagai peralatan baik yang sifatnya ringan maupun berat, dengan kecepatan tinggi atau rendah sesuai dengan yang kita kehendaki. Banyak kontrol yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik. Namun biasanya menghadapi berbagai masalah diantaranya harga dari alat kontrolnya mahal, perawatannya susah, membutuhkan kondisi ruang yang dingin, selain itu untuk motor induksi hanya memiliki *range* kecepatan yang cukup kecil sehingga untuk mendapatkan *range* kecepatan yang lebar perlu cara lain untuk mengontrolnya.

Motor induksi sering dipakai dalam berbagai bidang kerja untuk menggerakkan sesuatu. Motor induksi satu fasa pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. Ketika motor diasut (*distart*) maka torsi motor akan meningkat, bertambah terus sampai mencapai torsi maksimum. Setelah mencapai torsi maksimum maka akan cenderung turun sampai pada torsi nominal (beban penuh). Kenaikan torsi ini bersamaan putaran rotor yang meningkat menuju putaran nominal motor. Setelah berputar pada kecepatan nominal maka motor akan mempertahankan kecepatan tersebut, dan baru akan turun ketika motor dibebani. Hal ini membutuhkan kontrol untuk mengatur kecepatan motor tersebut sesuai keperluan.

Dengan fenomena tersebut maka perlu cara lain yaitu dengan magnetik kopling sebagai pengaturan variabel *speed* maupun variabel torsi motor. Pengaturan kecepatan motor ini tidak melibatkan konstruksi dalam motor, tetapi poros output motor sebagai media yang diatur. *Output* poros motor diberi kopel yang tidak menyambung satu dengan yang lain kemudian dikopling dengan magnet listrik yang dikendalikan menggunakan tegangan dc penyearah terkontrol (*rectifier* terkontrol) sehingga kecepatan *output* tersebut dapat dikendalikan dengan mengatur besar kecilnya kekuatan magnet.

**TEORI**

**Motor Induksi**

Motor induksi tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor, bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara (*air gap*). Kecepatan motor induksi satu fasa sangat dipengaruhi oleh banyaknya kutub pada statornya dan frekuensi sumber tegangan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- $n_s$  = Kecepatan sinkron (rpm)
- $f$  = Frekuensi (Hz)
- $p$  = Jumlah kutub

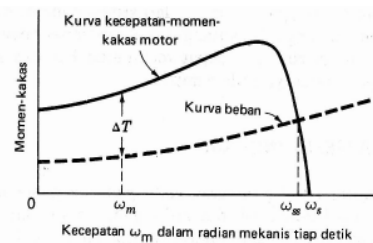
Pada kenyataannya perputaran *rotor* tidak sama dengan kecepatan sinkronnya. Perbedaan antara kecepatan sinkron dengan kecepatan rotornya disebut dengan *Slip* ( $s$ ). *Slip* dinyatakan dengan persamaan (2) sebagai berikut :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- $s$  = *Slip*
- $n_s$  = Kecepatan sinkron [putaran/menit]
- $n$  = Kecepatan rotor

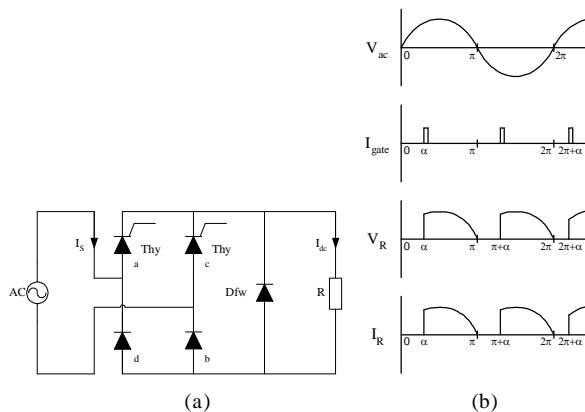
Telah diketahui bahwa putaran dari rotor untuk motor induksi adalah cenderung stabil mendekati kecepatan nominal demikian juga torsinya.



Gambar 1. Grafik hubungan torsi dengan kecepatan

**Penyearah Setengah Terkontrol Satu Fasa**

Penyearah setengah terkontrol satu fasa tersusun dari 2 buah *thyristor*, 2 buah dioda, dan 1 dioda *freewheeling* seperti pada Gambar 2, digunakan untuk mensuplai daya listrik pada lilitan *solenoid* magnetik kopling dimana tegangan ini digunakan untuk mengatur kekuatan induksi magnet *solenoid* sehingga kecepatan putar poros beban yang terkopel poros motor akan dapat diatur sesuai dengan keperluan kerja.



Gambar 2. (a) Rangkaian setengah terkontrol 1 fasa (b) Bentuk gelombang  $V_{ac}$ ,  $I_{gate}$ ,  $V_R$  dan  $I_R$

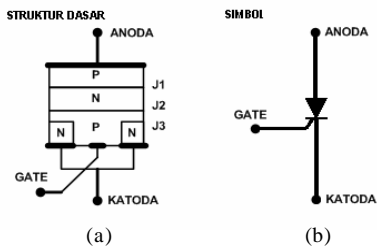
Tegangan arus searah ( $V_{dc}$ ) atau tegangan keluaran ( $V_o$ ) diperoleh dari persamaan 3

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi}$$

$$= \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \dots \dots \dots (3)$$

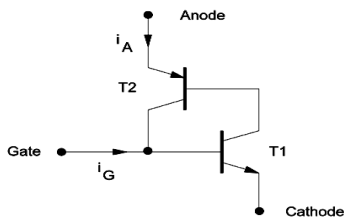
**Thyristor**

Thyristor adalah komponen yang prinsip kerjanya mirip dioda, namun dilengkapi *gate* yang dapat diatur besar fasa konduksi.

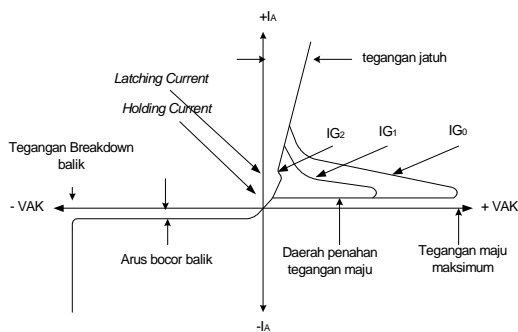


Gambar 3. (a) Struktur dasar thyristor (b) Simbol thyristor

Pada arus searah setelah thyristor tersulut maka thyristor selalu akan dalam kondisi *on* atau menghantar, dan setelah menerima komutasi (*commutation*) thyristor akan *off* atau dalam keadaan tidak menghantar.



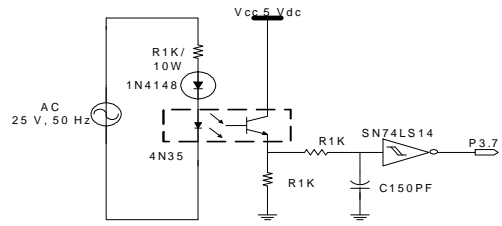
Gambar 4. Pemodelan thyristor dengan menggunakan dua buah transistor



Gambar 5. Karakteristik thyristor

**Deteksi Fasa**

Deteksi fasa adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi tegangan fasa berada pada posisi positif atau negatif dilihat dari acuan netral dan berfungsi untuk memulai melakukan pemecuan dan berapa besar sudut picu yang akan disulutkan pada thyristor.

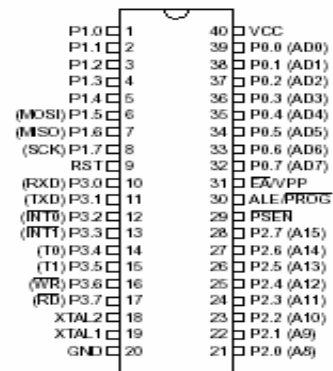


Gambar 6. Rangkaian Zero Crossing Detector

**Mikrokontroler AT89S51**

Mikrokontroler ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut: 4 kbytes *flash memory*, *In System Programming (ISP)*, 32 I/O yang dapat diprogram, 128 x 8 bit RAM internal, 2 buah *timer/counter* 16 bit, dan memiliki waktu pemrograman yang lebih cepat.

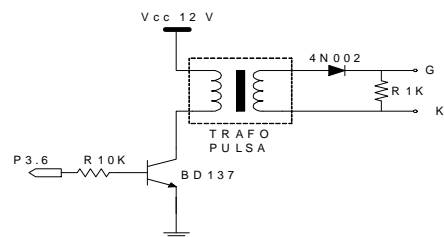
Mikrokontroler digunakan untuk mengatur semua proses pemecuan SCR dan untuk tampilan *seven segment* berapa besar sudut picu yang disulutkan. Dimana mikrokontroler tersebut dapat diprogram secara langsung dari sebuah komputer tanpa harus melepas mikrokontroler.



Gambar 7. Diagram pin mikrokontroler AT89S51

**Rangkaian Isolasi**

Rangkaian isolasi berfungsi sebagai pemisah antara tegangan rangkaian kontrol yang berupa tegangan rendah DC terhadap tegangan rangkaian daya yang berupa tegangan tinggi AC, berguna untuk melindungi rangkaian kontrol bilamana terjadi gangguan ataupun kesalahan pada rangkaian daya, sehingga rangkaian kontrol tidak dialiri tegangan tinggi yang mungkin dapat merusakkan sistem kontrol. Rangkaian isolasi dapat berupa transformator pulsa ataupun *optoisolator*

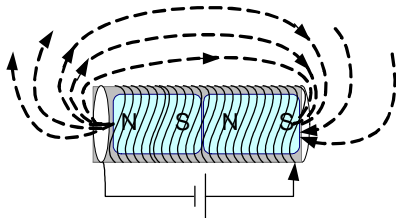


Gambar 8. Rangkaian trafo isolasi

## Magnetik Kopling

Dasar pemikiran dari alat ini yaitu menggunakan induksi magnet yaitu bahwa lilitan (*solenoid*) yang diberi arus listrik maka akan timbul medan magnet yang besarnya tergantung dari kekuatan dari (arus) dan jumlah lilitan rangkaian tersebut serta panjang dari *solenoid*.

$$B = \frac{\mu_o i N}{L} \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 9. Solenoid yang dialiri arus

dengan :

- B = Induksi magnet (Tesla)
- I = Arus (Amper)
- N = Jumlah lilitan
- L = Panjang *solenoid* (M)
- $\mu_o$  = Permeabilitas ( $4\pi \times 10^{-7}$  H/m)

Dengan melihat konstruksi *solenoid* tersebut maka terdapat komponen luas penampang A, jumlah lilitan N, dialiri arus I dan berada dalam induksi magnetik B. maka akan terjadi momen kopel (torsi)  $\tau$  sebesar

$$\tau = N I B A \sin \theta \dots\dots\dots (5)$$

- $\tau$  = Momen kopel (Newton meter)
- N = Jumlah lilitan
- A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- $\theta$  = Sudut yang dibentuk medan magnet - penampang

Hal ini dijadikan dasar untuk menganalisa kekuatan dari kopel magnetik (torsi dari kedua poros yang dikopel). Sehingga kekuatan dari torsi kopel magnetik tergantung dari jumlah lilitan, arus, induksi magnet dan luas dari lilitan.

## PERANCANGAN ALAT

### Perancangan Perangkat Keras

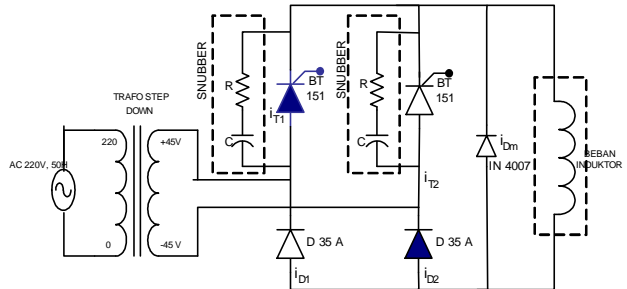
Blok diagram perangkat keras dapat dilihat seperti pada Gambar 10.

#### Suplai AC 1 Fasa

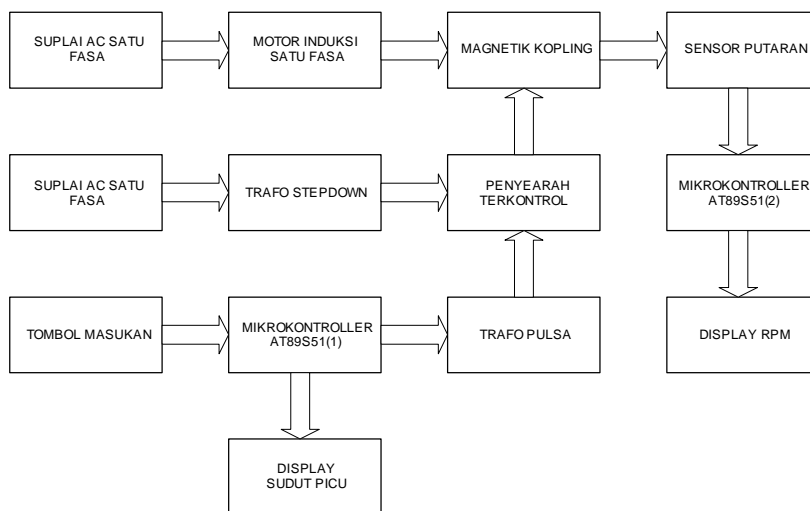
Suplai AC 1 Fasa yang digunakan berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220 Volt dan frekuensi 50 Hz.

#### Penyearah Setengah Terkontrol

Penyearah setengah terkontrol dirancang dengan menggunakan 2 (dua) buah *thyristor*, 2 (dua) buah dioda dan sebuah dioda *freewheeling*. Rangkaian penyearah setengah terkontrol digunakan sebagai *input* magnetik kopling. Rangkaian penyearah setengah terkontrol seperti ditunjukkan pada Gambar 11 dibawah ini :



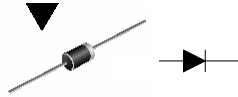
Gambar 11. Rangkaian penyearah setengah terkontrol



Gambar 10. Diagram blok perancangan penyearah setengah terkontrol satu fasa sebagai pengemudi magnetik kopling

### Dioda Freewheeling (Dioda Dm)

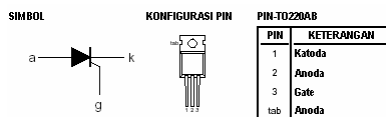
Dioda ini digunakan pada rangkaian yang mempunyai beban induktif, seperti terlihat pada Gambar 12



Gambar 12. Konstruksi Dioda Freewheeling

### Phase-Control Thyristor SCR BT 151-500R (Silicon-Controlled Rectifier)

SCR BT 151-500R produksi Phillips Semiconductor merupakan komponen utama yang nantinya akan digunakan dalam rangkaian komutasi thyristor. Bentuk dan konfigurasi pin dari SCR BT 151-500R ini dapat dilihat dari Gambar 13 dibawah ini.

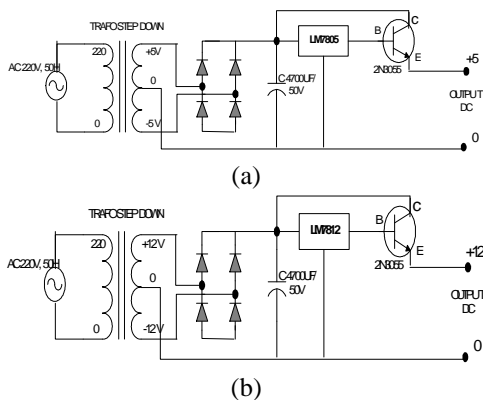


Gambar 13. Konfigurasi SCR BT 151-500R

### Sumber Tegangan

Perancangan sumber tegangan yang digunakan ada tiga macam yaitu:

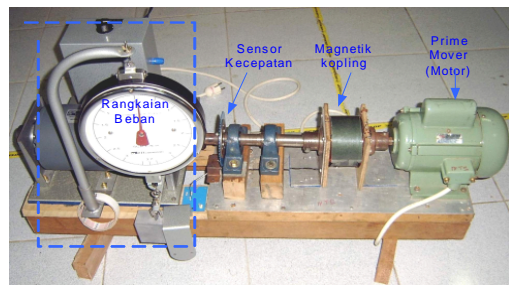
1. Sumber tegangan 45 V digunakan untuk mensuplai rangkaian daya penyearah terkontrol yang dihubungkan ke magnetik kopling.
2. Sumber tegangan 5 V dengan arus 1 A untuk mensuplai rangkaian power suplai pemicuan dengan menggunakan mikrokontroler AT89S51.
3. Sumber tegangan 12 V dengan arus 1 A untuk mensuplai rangkaian isolator pulsa (trafo isolasi).



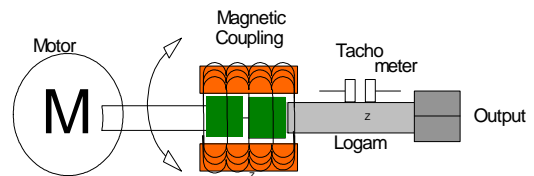
Gambar 14. Penyearah gelombang penuh menggunakan IC regulator (a) 7805, (b) 7812

### Perancangan Magnetik Kopling

Perancangan magnetik kopling ini bertujuan untuk mengatur kecepatan motor induksi satu fasa juga untuk mengatur torsi yang ditransfer dari motor menuju beban. Tujuan utama dari magnetik kopling ini adalah mendapatkan medan magnet dan juga mendapatkan momen kopel (torsi) dari solenoid yang bervariasi sesuai keperluan.



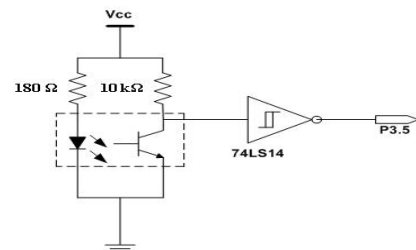
Gambar 15. Rangkaian magnetik kopling berbeban



Gambar 16. Skema variable speed motor

### Tachometer

Tachometer bekerja dengan cara menghitung jumlah pulsa pada selang waktu tertentu dan kemudian menampilkannya dalam sevensegment. Pulsa-pulsa dikirim oleh perangkat sensor yang ditunjukkan pada Gambar 17 di bawah ini



Gambar 17. Rangkaian sensor untuk tachometer

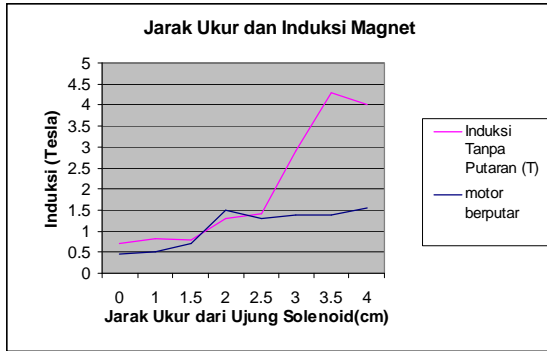
Diantara rangkaian LED dan phototransistor diletakkan sebuah piringan sensor 60 lubang. Ketika antara phototransistor dan LED mengenai lubang maka output kolektor akan berlogika high dan sebaliknya bila terhalang oleh piringan sensor output kolektor akan berlogika low.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengukuran Kopling Magnetik

Pengukuran kopling magnetik dilakukan dengan mengukur pertama kali, kuat medan dalam mili Tesla (mT)

yang terjadi dalam kumparan kopling magnetik. Hasil Pengukuran dapat dilihat dalam Gambar 18.



Gambar 18. Kuat medan dalam kopling magnetik

Selanjutnya dengan memasukkan poros sekunder yang akan diatur putarannya, tegangan catu daya dimasukkan dan hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Putaran motor pada poros primer dan sekundernya

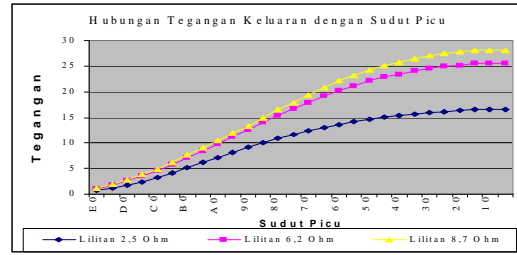
Tegangan Masukan (Vdc)	Putaran Motor (rpm)	Putaran Poros Output (rpm)
15	1484	487
17	1484	671
30	1484	795
35	1484	935
50	1484	1100
58	1484	1196

Dari hasil diatas terlihat bahwa metode kopling magnetic mampu mengatur putaran motor lebih bervariasi dari putaran poros utamanya yakni 1.484 rpm menjadi antara 487 rpm

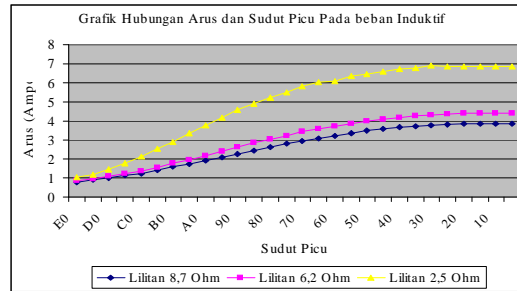
### Pengujian Alat Tanpa Beban

Percobaan ini dilakukan dengan tegangan dimasukkan pada solenoid magnetik kopling, maka poros beban (generator DC) akan terkopel dengan poros motor dengan tidak memberikan beban pada generator DC. Maka akan didapatkan berapa tegangan keluaran, arus keluaran serta kecepatan dari poros beban dengan memvariasikan sudut picu. Setelah didapatkan data percobaan diperoleh grafik seperti pada Gambar 19, Gambar 20 dan Gambar 21.

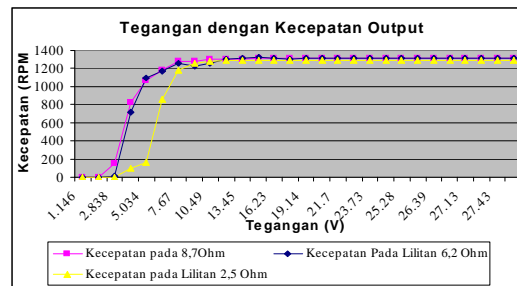
Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin kecil sudut picunya maka tegangan maupun yang keluar akan semakin besar, semakin besar tegangan yang masuk maka kecepatan dari poros output magnetik kopling akan semakin besar. Selanjutnya dianalisis dengan menggunakan pendekatan medan magnet, ketika solenoide diberi masukan tegangan DC



Gambar 19. Grafik hubungan tegangan keluaran dengan variasi sudut picu



Gambar 20. Grafik hubungan arus keluaran dengan variasi sudut picu



Gambar 21. Grafik hubungan tagangan dengan kecepatan output magnetik kopling

maka akan timbul arus dan juga timbul medan magnet yang besarnya adalah

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad \dots \quad (6)$$

$$B = \frac{\mu_o iN}{L} \quad \dots \quad (7)$$

Dengan induksi magnet pada solenoid yang bertambah besar maka momen kopel magnetik yang terjadi akan menjadi besar. Sehingga kecepatan maupun torsi yang ditransfer dari motor akan semakin besar mendekati nominal motor.

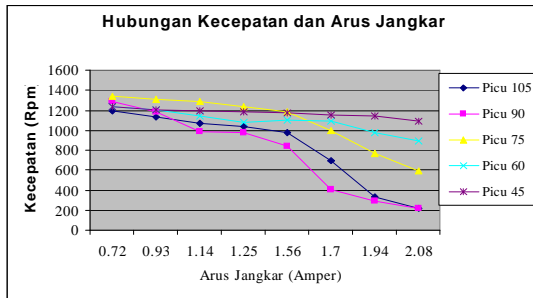
$$\tau = NIBA \sin \theta \quad \dots \quad (8)$$

### Pengujian Berbeban

Cara pengambilan datanya dalam kondisi awal tanpa beban dengan cara memberikan suplai tegangan DC sampai mencapai kecepatan nominal

poros beban yaitu sekitar 80% sampai dengan 90% kecepatan nominal motor yaitu sekitar 1290 rpm, kemudian memberikan beban berupa lampu pijar yang bervariasi pada generator. Itu dilakukan untuk satu sudut picuan yang menghasilkan tegangan masukan *solenoid* kemudian mengulangi dengan sudut picuan yang lain sehingga menghasilkan tegangan masukan *solenoid* yang variasi.

Setelah didapatkan data percobaan diperoleh grafik sebagai berikut :

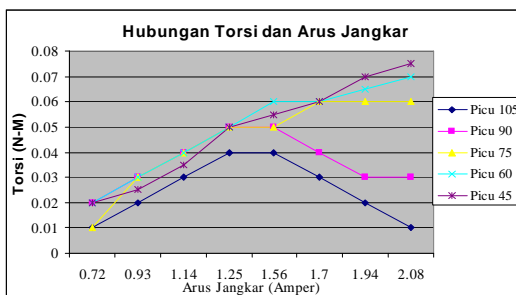


Gambar 22. Grafik hubungan arus jangkar generator DC dengan kecepatan output magnetik kopling

Dari data percobaan tersebut maka dapat dibuat berbagai grafik, hubungan kecepatan (n) dengan arus jangkar, kecepatan dengan torsi terukur, dan hubungan torsi dengan arus jangkar.

Gambar 22 memperlihatkan perbandingan  $N$  dengan  $I_a$ , dengan kondisi penambahan beban (arus jangkar naik) maka akan terjadi penurunan kecepatan poros beban (generator DC).

Gambar 23 memperlihatkan perbandingan  $T$  dengan  $I_a$ , dan terlihat perubahan  $I_a$  terhadap  $T$  adalah berbanding lurus. Untuk grafik dua garis yang menurun tersebut diakibatkan *overload* ketika beban ditambah sedangkan momen kopel magnetik kopling kurang kuat akibat tegangan *solenoid* kurang kuat, sehingga torsi akan turun.



Gambar 23. Grafik hubungan torsi terukur generator DC dengan arus jangkar

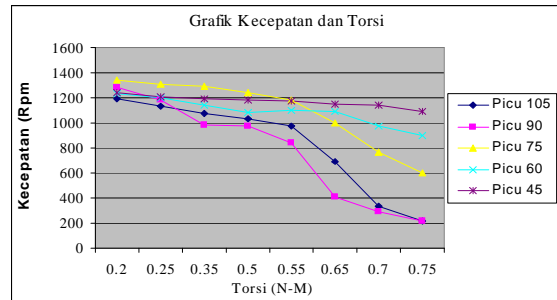
Gambar 24 menunjukkan bahwa hubungan torsi generator dan kecepatan yang berbanding terbalik. Semakin besar kecepatan maka semakin kecil torsi yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan rumus berikut :

$$P = F \cdot r \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$E_a I_a = T \omega_m \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$\omega_m = 2\pi n / 60 = \text{kecepatan sudut (Rpm)}$$

$$T = \frac{E_a I_a}{\omega_m} \quad \dots \dots \dots (10)$$



Gambar 24. Grafik hubungan torsi terukur generator DC dengan kecepatan output magnetik kopling

### Efisiensi Penyearah Terkontrol

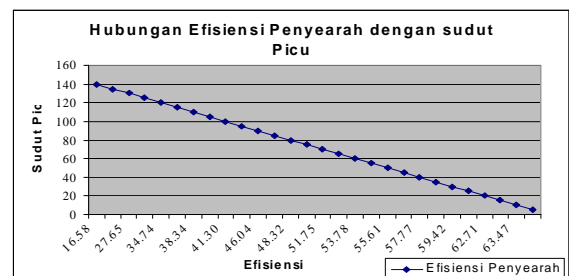
Dengan terlebih dahulu menghitung daya masuk ( $P_{IN}$ ) dan daya keluar ( $P_{OUT}$ ) pada masing-masing picuan.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots (11)$$

dimana :

$$P_{IN} = V_{IN} \cdot I_{IN} \cos \phi$$

$$P_{OUT} = V_{dc} \cdot I_{dc}$$



Gambar 25. Grafik hubungan efisiensi daya rectifier dengan variasi sudut picu berbeban induktif

### Efisiensi Daya Motor

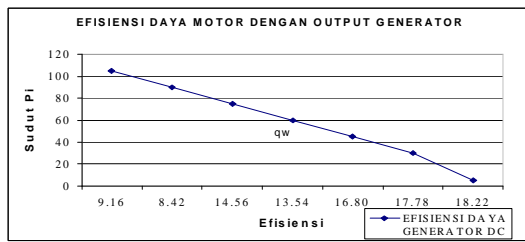
Dengan terlebih dahulu menghitung daya masuk ( $P_{IN}$ ) dan daya keluar ( $P_{OUT}$ ) pada masing-masing picuan.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots (12)$$

dimana :

$$P_{IN} = V_{IN} \cdot I_{IN} \cos \phi$$

$$P_{OUT} = V_{dc} \cdot I_{dc}$$



Gambar 26. Grafik Hubungan Efisiensi Daya Keluaran Generator dengan Variasi sudut Picu

### Efisiensi Torsi Magnetik Kopling

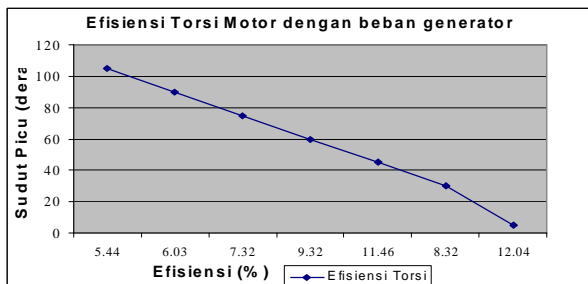
Efisiensi Torsi magnetik kopling dapat dihitung sebagai berikut :Torsi terukur pada generator DC:

$$T = \frac{E_a \cdot I_a}{\omega_m} \dots\dots\dots (4.9)$$

$$= \frac{E_a \cdot I_a}{2\pi N / 60} \text{Rpm}$$

Torsi terukur pada motor induksi satu fasa (Torsi Input) dengan menganggap rugi-rugi motor diabaikan

$$T = \frac{V \cdot I \cos \phi}{\omega_m} \dots\dots\dots (4.10)$$



Gambar 27. Grafik Hubungan Efisiensi Torsi Keluaran Generator dengan Variasi sudut Picu

### KESIMPULAN

Dari pembuatan alat dan laporan paper dengan tema Rectifier Terkontrol Sebagai Pengaturan Variabel kecepatan Motor dengan Magnetik Kopling Menggunakan Mikrokontroller AT89S51 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rectifier setengah terkontrol dapat digunakan sebagai pengaturan kekuatan induksi magnet solenoid magnetik kopling untuk pengaturan variabel speed motor.
2. Pengaturan induksi magnet pada solenoid magnetik kopling dilakukan dengan mengubah tegangan melalui variasi sudut picu thyristor dari sudut picu 175° sampai 5° sehingga tegangan yang dihasilkan oleh rectifier setengah terkontrol ini tergantung dari sudut picu dan suplai tegangan yang masuk pada thyristor.
3. Semakin besar tegangan yang masuk pada lilitan solenoid magnetik kopling maka semakin besar

kekuatan induksi magnetnya sehingga torsi dan kecepatan yang ditransfer dari poros motor menuju poros beban semakin besar mendekati nominal motor.

4. Semakin banyak jumlah lilitan pada solenoid magnetik kopling maka semakin besar kekuatan torsi magnetnya, tetapi panas pada solenoid tersebut semakin kecil, karena arus juga semakin kecil.
5. Pengaturan variabel speed maupun variabel torsi pada alat ini sangat jelas terlihat pada keadaan berbeban dengan memvariasikan tegangan pada solenoid magnetik kopling.
6. Semakin kuat kecepatan poros beban pada magnetik kopling (tegangan megnetik kopling diperbesar) maka daya (tegangan dan arus) yang dihasilkan oleh beban (generator dc penguatan terpisah) akan semakin besar.

### DAFTARACUAN

- [1]. <http://www.national.com>.
- [2]. <http://www.atmel.com>.
- [3]. <http://www.eddy current drive.com>.
- [4]. <http://www.magtrol.com>.
- [5]. CHARLES A. SCHULER, WILIAML.MCNAMEE, *Industrial Electronic and Robotics*, McGraw Hill Book Company, (1986)
- [6]. CHILIKIN M. *Electric Drive*. MIR Publisher-Moscow, (1970)
- [7]. RASHID, MUHAMMAD H., *Power Electronics: Circuits, Devices and Application*, Prentice-Hall International Inc, Second Edition, New Jersey, (1993)
- [8]. MALVINO ALBERT POUL, *Prinsip-prinsip Elektronik*, Penerbit Erlangga, Jakarta,(1984)
- [9]. PRESMAN I. ABRAHAM, *Switching Power Supply Design*, The McGraw-Hill Company Inc, (1998)
- [10]. MOHAN.NED, TORE M.UNDELAND, WILLIAM P ROBBINS, *Power Electronics : Converter, Applications, and Design*, John Wiley and Sons Inc, Canada, (1995)
- [11]. ZUHAL, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia, (1995)
- [12]. B.L. THERAJA, *Electrical Technology*, Nirja Construction & Dev. Co. Ltd, (1980)
- [13]. THEODORE WILDI, *Electrical Machines, Drives and Power Systems 3<sup>rd</sup>*, Prentice Hall Inc, New Jersey, (1997)
- [14]. P C SEN, *Power Electronics*, Tata McGraw-Hill, (1987)
- [15]. Ir. MUSLIMIN MARAPUNG, *Teori Soal Penyelesaian Teknik Tenaga Listrik (TTL)*, Armico, Bandung, (1979)
- [16]. RAMAKANT A.G, *Op-Amps and Linier Integrated Circuit 4<sup>th</sup>*, Prentice-Hall International Inc, (2000)