

RANGKAIAN PENYEARAH SETENGAH TERKENDALI TIGA FASA UNTUK PENGENDALIAN KARAKTERISTIK MOTOR ARUS SEARAH SHUNT

Ahmad Antares Adam

Dosen Jurusan Teknik Elektro UNTAD Palu, Indonesia

email: ahmad.ad4m@yahoo.co.id

Abstract-A modern control of electric motor's speed in an industry needs a variable direct voltage. The variable direct voltage can be supplied by semiconductor devices such as SCR. The output voltage of a SCR rectifier depends on the delay angle of the SCR. The aim of this research is to make a SCR rectifier circuit and applying it for observing the characteristics of a shunt direct current motor. The result shows the circuit can work to demonstrate the shunt motor characteristics.

Keywords : *Rectifier circuit, Three phases, Shunt motor, Characteristics.*

I. PENDAHULUAN

Motor arus searah merupakan motor listrik yang kecepatannya mudah diatur. Pengaturan kecepatan pada motor jenis ini adalah dengan cara mengatur besar tegangan masukan pada terminalnya. Oleh karenanya, sumber tegangan searah yang dapat diubah-ubah (variabel) sangat dibutuhkan dalam industri yang menggunakan motor-motor arus searah sebagai alat penggerakannya. Namun di lain pihak, kebanyakan pembangkit tenaga listrik hanya menyediakan sumber tegangan bolak-balik yang tetap.

Pada sistem kendali modern dibutuhkan suatu pengendalian kecepatan motor arus searah yang berubah-ubah, pengereman dinamik, starting dan stopping yang lembut ataupun pembalikan arah putaran motor.

Semua ini dapat dilakukan dengan mudah dan baik dengan menggunakan perangkat penyearah yang menggunakan komponen semikonduktor berupa diode, transistor, thyristor (SCR) dan triac. Komponen semikonduktor ini tidak mempunyai bagian yang bergerak, sehingga lebih mudah perawatannya. Selain itu, pada komponen semikonduktor ini tidak terjadi bunga api atau loncatan busur api, sehingga penggunaannya lebih aman untuk lingkungan yang berbahaya, contohnya lingkungan yang padanya terdapat gas atau uap yang mudah menyala.

Tegangan keluaran yang dihasilkan penyearah thyristor (SCR) bervariasi bergantung pada sudut penyalaan dari thyristor. Thyristor yang dikendalikan fasanya dinyalakan dengan memberikan suatu pulsa pendek pada gerbangnya dan dimatikan melalui komutasi natural. Penyearah thyristor terkendali merupakan penyearah yang sederhana dan efisien untuk mengendalikan mesin-mesin penggerak dengan kecepatan yang dapat diatur mulai dari mesin berdaya kecil hingga mesin dengan daya megawatt (Rashid, 1993).

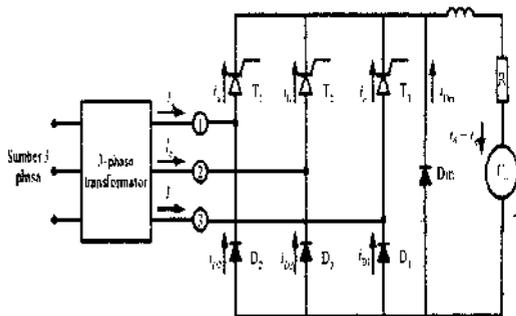
Penelitian ini dilakukan untuk membuat rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa dengan menggunakan SCR. Penyearah setengah terkendali tiga fasa ini mempunyai tegangan masukan $3 \times 110 V_{AC}$ dan tegangan keluaran berubah-ubah (variabel) $0 - 220 V_{DC}$ dengan arus 7,5 ampere. Selanjutnya rangkaian

penyearah ini diaplikasikan untuk mengendalikan motor arus searah shunt dengan mengatur tegangan keluaran penyearah. Dari pengaturan tegangan keluaran penyearah ini, dapat diuji karakteristik dari motor tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penyearah Setengah Terkendali Tiga Fasa

Kendali motor dengan peralatan semikonduktor menggunakan rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa dengan menggunakan SCR diperlihatkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa

Rangkaian penyearah ini terdiri atas tiga buah thyristor dan tiga buah diode. Sudut penyalannya (α) dapat diatur pada interval 0 sampai 180° . Pada periode 30° t 210° , thyristor T_1 terbias maju. Jika T_1 dinyalakan pada $t = 30^\circ + \alpha$, T_1 dan D_1 akan tersambung dan tegangan line-to-line V_{ac} akan muncul dibeban. Pada $t = 210^\circ$, V_{ac} akan mulai negative dan diode freewheeling D_m akan tersambung. Arus beban akan terus mengalir melalui D_m ; T_1 dan D_1 akan dimatikan. Jika tidak ada diode freewheeling D_m , T_1 akan terus tersambung hingga thyristor T_2 dinyalakan pada $t = 150^\circ + \alpha$, dan aksi freewheeling akan dihasilkan melalui T_1 dan D_2 . Jika $\alpha = 60^\circ$ setiap thyristor akan tersambung selama 120° dan diode

freewheeling D_m tidak akan tersambung (Rashid, 1993).

Jika didefinisikan tiga tegangan line- netral sebagai berikut :

$$V_{an} = V_m \sin \omega t$$

$$V_{bn} = V_m \sin \omega t - 120^\circ$$

$$V_{cn} = V_m \sin \omega t - 240^\circ$$

Tegangan line-to- line yang bersesuaian adalah

$$V_{ac} = V_{an} - V_{cn} = \sqrt{3} V_m \sin \omega t$$

$$-$$

$$V_{ba} = V_{bn} - V_{an} = -\sqrt{3} V_m \sin \omega t$$

$$-$$

$$V_{cb} = V_{cn} - V_{bn} = \sqrt{3} V_m \sin \omega t$$

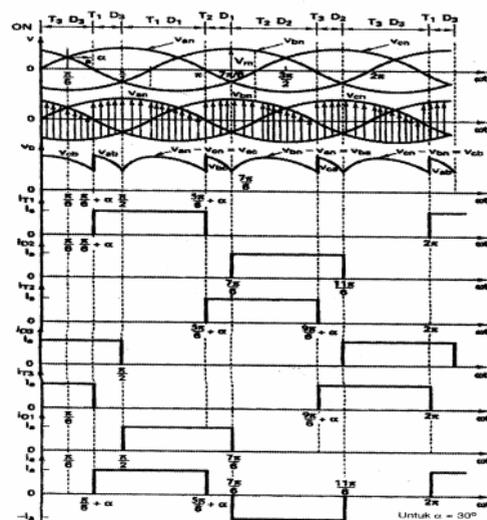
$$-$$

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = \sqrt{3} V_m \sin \omega t$$

$$-$$

Untuk $\alpha = 60^\circ$, dan tegangan keluaran diskontinyu : tegangan keluaran rata-rata diperoleh sebagai berikut :

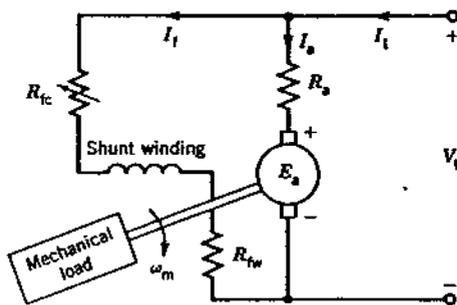
$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{3} V_m \sin \omega t \, d\omega t = \frac{\sqrt{3} V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots(1)$$



Gambar 2. Bentuk gelombang untuk $\alpha = 60^\circ$

B. Motor arus searah shunt

Diagram skematik sebuah motor arus searah shunt dijelaskan oleh Sen (1987) seperti pada gambar 3. Pada motor ini, rangkaian jangkar dan rangkaian medan shunt dihubungkan melalui sebuah sumber arus searah dengan tegangan tetap V_t . Sebuah tahanan geser medan luar (R_{tc}) digunakan dalam rangkaian medan untuk mengendalikan kecepatan motor. Motor ini mengambil daya dari sumber arus searah, sehingga arus motor mengalir ke dalam mesin dari terminal positif sumber arus searah tersebut.



Gambar 3 Rangkaian ekuivalen motor arus searah shunt.

Persamaan motor untuk operasi keadaan mantap adalah sebagai berikut :

$$V_t = I_a R_a + E_a \dots\dots\dots (2)$$

$$I_t = I_a + I_f \dots\dots\dots (3)$$

$$E_a = K_a \omega_m \dots\dots\dots (4)$$

$$E_a = V_t - I_a R_a \dots\dots\dots (5)$$

Arus jangkar I_a dan kecepatan motor ω_m tergantung dari beban mekanik yang dihubungkan ke shaft motor.

C. Karakteristik torsi putaran motor arus searah shunt

Pada motor ini tegangan, arus, kecepatan, dan torsi direlasikan sebagai berikut (Sen, 1987):.

$$E_a = K_a \omega_m = V_t - I_a R_a \dots\dots\dots (6)$$

$$T = K_a I_a \dots\dots\dots (7)$$

Dari kedua persamaan di atas, kecepatan motor ω_m dapat diturunkan sebagai berikut :

$$\omega_m = \dots\dots\dots (8)$$

III. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di dua laboratorium, yaitu untuk pembuatan rangkaian penyearah dilakukan di Laboratorium Elektronika Daya dan Sistem Kendali dan pengujian rangkaian dilakukan di Laboratorium Mesin-mesin Listrik Teknik Elektro Universitas Tadulako. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, dengan cara membuat rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa dan kemudian menguji apakah rangkaian tersebut dapat menampilkan karakteristik motor arus searah shunt dengan baik.

A. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Chip TCA 785
2. Rangkaian drive trafo pulsa
3. Papan PCB
4. Thiristor
5. Dioda
6. Solder
7. Motor arus searah shunt
8. Transformator tiga fasa
9. Voltmeter 1 buah
10. Amperemeter 3 buah
11. Modul pengereman dinamik
12. Torsimeter
13. Tachometer
14. Osiloskop
15. Jumper

B. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk membuat rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa.
2. Membuat rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa. Pembuatan rangkaian dilakukan dengan cara:
 - a. Membuat lintasan-lintasan pengawatan rangkaian pada papan PCB.
 - b. Kemudian berdasarkan lintasan pengawatan yang ada, komponen dipasang pada posisi yang bersesuaian pada papan PCB.
 - c. Setelah itu rangkaian diuji dengan memasukkan tegangan suplai 15 volt dari transformator penurun tegangan (stepdown transformer). Tegangan masukan transformator ini adalah $3 \times 110 \text{ V}_{AC}$. Tegangan ini adalah keluaran dari transformator tiga fasa lain yang disuplai oleh power suplai tiga fasa. Tujuan pengujian rangkaian ini adalah untuk mengetes rangkaian kontrolnya apakah bekerja atau tidak.
3. Setelah rangkaian penyearah yang dibuat selesai, maka dilakukan pengujian rangkaian tersebut pada motor arus searah shunt untuk melihat karakteristik motor tersebut. Pengujian ini dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Semua intrumen ukur pada posisi standby atau dalam kondisi on.
 - b. Menghidupkan power suplai yang mencatu tegangan transformator. Keluaran transformator ini adalah $3 \times 110 \text{ V}_{AC}$.
 - c. Mengambil data percobaan dengan mencatat tampilan dari beberapa

alat ukur, seperti amperemeter dan tachometer.

- d. Pada penelitian ini dilakukan dua percobaan, yaitu percobaan dengan beban konstan dan percobaan dengan beban bervariasi.
- e. Setelah percobaan selesai, power suplai dimatikan (di-off-kan).

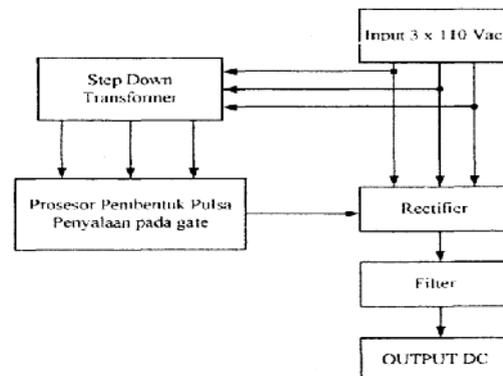
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa

1. Spesifikasi penyearah yang dibuat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= 0 - 220 \text{ V}_{DC} \\ V_{IN} &= 3 \times 110 \text{ V}_{AC} \\ I_{OUTMAX} &= 7,5 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Blok diagram rangkaian:



Gambar 4 Blok diagram rangkaian

Rangkaian penyearah ini menggunakan sebuah transformator daya yang berfungsi sebagai penstabil tegangan jala-jala tiga fasa. Hal ini karena rangkaian penyearah dengan menggunakan thyristor (SCR) tidak dapat menahan tegangan relatif tinggi yang tidak stabil. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan waktu penyalakan thyristor tidak dapat dikendalikan dengan baik.

Untuk pengaturan sudut picu pada rangkaian penyearah dilakukan oleh rangkaian kontrol yang berfungsi sebagai pembangkit sudut pulsa () pada rangkaian daya penyearah.

Transformator penurun tegangan yang digunakan mempunyai rating arus 1 ampere dan tegangan output 15 Volt, berfungsi sebagai pencatu tegangan pada terminal IC pada prosesor. IC ini berfungsi sebagai penyinkron gelombang sinus jala-jala dan untuk membangkitkan gelombang gigi gergaji. Prosesor sebagai pembentuk penyalan pada gerbang (gate) menggunakan Chip TCA 785 yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal gerbang pada thyristor sehingga membuat thyristor hidup dan menghasilkan gelombang arus searah pada terminal outputnya.

Untuk membentuk tegangan searah yang lebih baik digunakan filter kapasitor dan filter induktor. Pada filter kapasitor, pada saat tegangan naik maka kapasitor akan mengisi muatan dan pada saat tegangan nol maka kapasitor akan membuang muatannya ke beban. Sedangkan pada filter induktor, saat arus turun maka induktor akan menyimpan arus dan pada saat arus naik, induktor akan membuang arus yang disimpannya.

3. Rangkaian kontrol

Rangkaian kontrol terdiri dari komponen-komponen berikut:

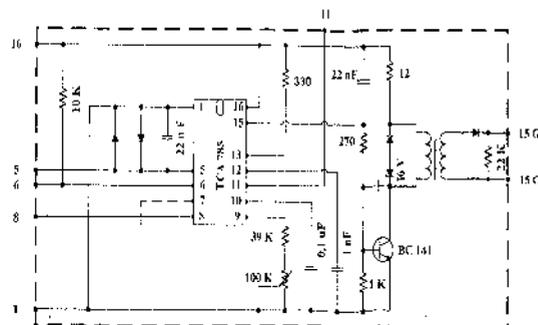
a. Prosesor Chip TCA 785

Rangkaian kontrol pemacu SCR menggunakan prosesor chip TCA 785 yang berfungsi untuk mengendalikan sudut penyalan pada rangkaian penyearah, sehingga menghasilkan tegangan arus searah yang variabel.

b. Rangkaian drive trafo pulsa

Trafo pulsa digunakan sebagai komponen untuk membentuk pulsa picu yang dimasukkan ke gate SCR. Pulsa picu tersebut dihasilkan dari sinyal kotak yang dibentuk oleh transistor switching. Sedangkan pengendali dari basis transistor adalah pulsa yang

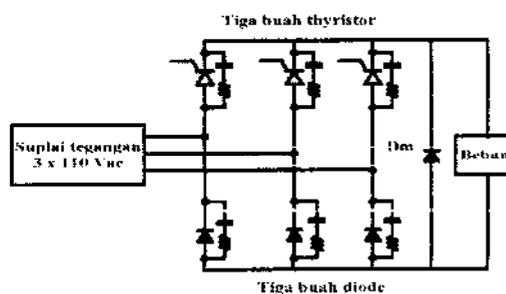
berasal dari prosesor Chip TCA 785.



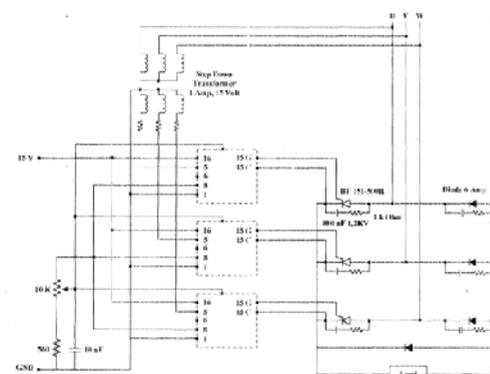
Gambar 5 Rangkaian kontrol penyearah setengah terkendali tiga fasa.

4. Rangkaian Daya

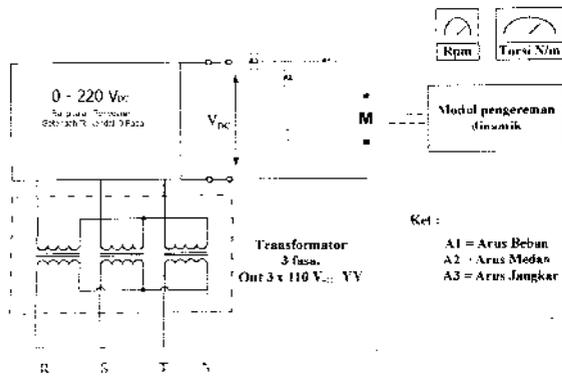
Rangkaian daya yang digunakan pada rangkian penyearah ini adalah silicon controlled rectifier (SCR) yang dioperasikan sebagai saklar, terhubung seri dengan diode dan terhubung seri dengan beban. Pada saat SCR ditrigger ON, waktu trigger disebut sudut picu (α) akan mempengaruhi besar kecilnya tegangan outputnya.



Gambar 6 Rangkaian daya penyearah setengah terkendali tiga fasa.



Gambar 7 Rangkaian daya dan rangkaian kontrol penyearah setengah terkendali tiga fasa.



Gambar 8 Rangkaian percobaan

B. Pengujian rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa pada motor arus searah shunt

Gambar rangkaian percobaan rangkaian penyearah setengah terkendali tiga fasa pada pengujian karakteristik motor arus searah shunt diperlihatkan pada gambar 8.

C. Hasil Pengujian

Data tabel hasil pengujian diberikan di bawah ini.

1. Pengukuran dengan beban konstan, torsi (T) = 0,1 N-m

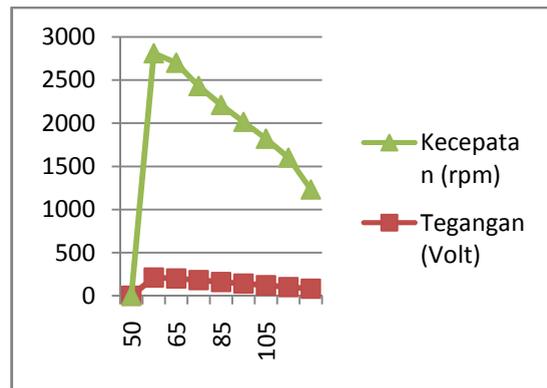
Tabel 1. Data hasil pengukuran dengan beban konstan.

No	Sdud Picu (°)	Tegangan keluaran penyearah (Volt)	Arus Mdan (mA)	Arus Jangkar (A)	Arus Beban (A)	Torsi (N-m)	Kec. (rpm)
1	50	210	90	0,24	0,45	0	2600
2	55	200	86	0,24	0,575	0,1	2500
3	65	180	76	0,28	0,65	0,1	2250
4	75	160	68	0,3	0,675	0,1	2050
5	85	140	60	0,32	0,7	0,1	1875
6	95	120	50	0,34	0,725	0,1	1700
7	105	100	42	0,32	0,775	0,1	1500
8	115	80	32	0,32	0,95	0,1	1150

Dari percobaan di atas dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya sudut penundaan pada penyearah tersebut, maka tegangan keluaran dari penyearah yang sama dengan tegangan masukan dari motor tersebut semakin

berkurang. Penurunan tegangan masukan pada motor akan menyebabkan kecepatan motor semakin berkurang. Terlihat pula bahwa arus medan menjadi berkurang dengan menurunnya tegangan input motor tersebut, sedangkan arus beban semakin bertambah seiring turunnya tegangan itu.

Grafik tegangan keluaran penyearah dan kecepatan motor sebagai fungsi sudut picu untuk torsi T = 0,1 N – m (konstan) diperlihatkan pada Gambar 9.



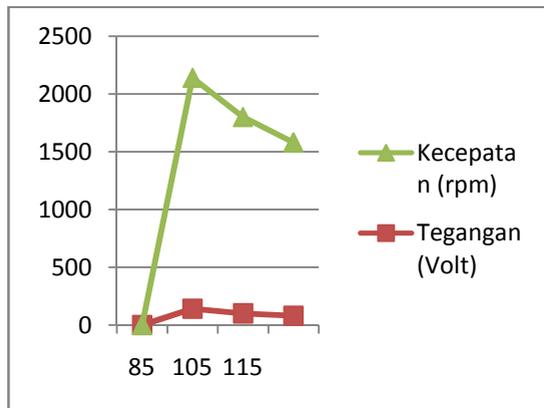
Gambar 9 Grafik tegangan keluaran penyearah dan kecepatan motor sebagai fungsi sudut picu.

2. Pengukuran dengan beban berubah

Tabel 2. Data hasil pengukuran dengan beban berubah

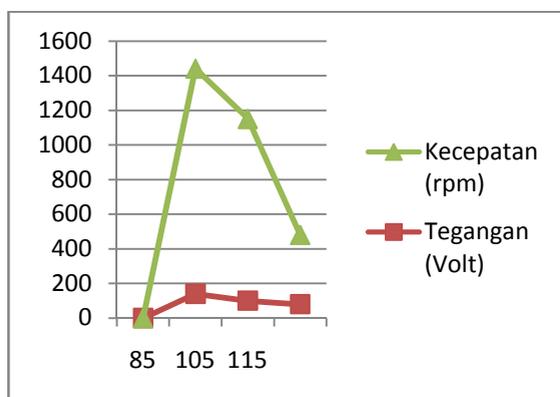
No	Sudut Picu (°)	Tegangan keluaran penyearah (Volt)	Arus Mdan (mA)	Arus Jngkr (A)	Arus Bban (A)	Torsi (N-m)	Kcptn (rpm)
1	85	140	58	0,32	0,4	0	2000
			57	0,36	1,15	0,3	1675
			56	0,42	1,6	0,45	1500
			56	0,54	2,4	0,6	1300
2	105	100	40	0,32	0,42	0	1700
			39	0,42	1,55	0,3	1050
			38	0,48	1,9	0,35	800
			38	0,60	2,5	0,45	500
3	115	80	34	0,37	0,5	0	1500
			34	0,35	0,8	0,1	1350
			32	0,38	1,4	0,2	900
			32	0,42	1,8	0,3	400

Grafik tegangan keluaran penyearah dan kecepatan motor sebagai fungsi sudut picu untuk torsi T = 0 N – m diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik tegangan keluaran penyearah dan kecepatan motor sebagai fungsi sudut picu.

Grafik tegangan keluaran penyearah dan kecepatan motor sebagai fungsi sudut picu untuk torsi $T = 0,3 \text{ N} - \text{m}$ diperlihatkan pada Gambar 11.

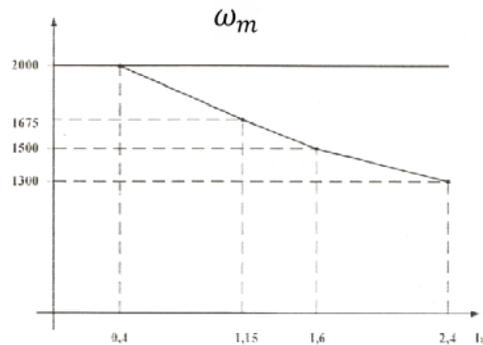


Gambar 11. Grafik tegangan keluaran penyearah dan kecepatan motor sebagai fungsi sudut picu.

Dari data hasil percobaan di atas, kita dapat melihat karakteristik motor tersebut, yaitu:

1. Hubungan antara kecepatan ω_m dan arus jangkar I_a .
 Pada percobaan ini, fluks dianggap konstan, maka ω_m sebanding dengan E_a dan E_a akan konstan jika putaran dari motor juga konstan. E_a dan fluks akan berkurang dengan adanya penambahan beban. Dengan adanya penambahan beban maka kecepatan rotor berkurang dan hal

ini juga akan mengakibatkan ggl lawan (E_a) berkurang. Dengan berkurangnya E_a , maka perbandingan antara E_a dan V_t akan semakin besar ($E_a \ll V_t$). Dengan demikian, arus jangkar (I_a) yang ditarik motor dari sumber semakin besar.



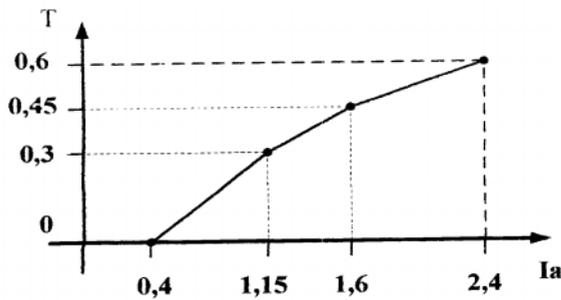
Gambar 12. Grafik kecepatan sebagai fungsi arus jangkar $\omega_m = f(I_a)$, V_t konstan

Dengan berkurangnya E_a , maka akan mempengaruhi kecepatan sehingga kecepatan akan berkurang. Kecepatan berkurang pada saat penambahan beban.

2. Hubungan antara torsi (T) dan arus jangkar (I_a)

Jika tegangan terminal V_t konstan, maka arus penguat magnet (I_m) juga konstan maka ω_m juga konstan. Sehingga untuk tegangan terminal yang konstan, torsi motor shunt hanya bergantung pada arus jangkar (I_a). Jika diasumsikan dari persamaan torsi $T = K \cdot I_a \cdot \omega_m$. Dengan begitu T bergantung pada arus jangkar (I_a). Pada percobaan di atas bila I_a semakin besar maka torsi semakin besar pula.

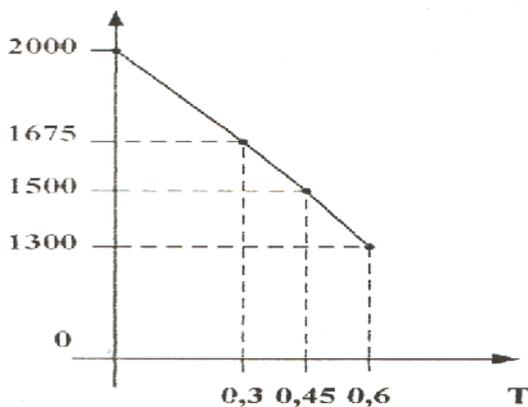
Karakteristik torsi sebagai fungsi arus jangkar pada tegangan 140 volt



Gambar 13. Grafik torsi sebagai fungsi arus jangkar, $T = f(I_a)$, V_t konstan

3. Hubungan antara torsi (T) dan kecepatan (n_m)

Dari persamaan $n_m = \frac{V_t - E_b}{K \phi}$, dapat dilihat pada motor arus searah shunt, apabila torsi $T = K \phi I_a$ bertambah, I_a akan bertambah sedangkan fluks tetap. Dengan bertambahnya torsi (T), maka kecepatan akan menurun. Karakteristik kecepatan sebagai fungsi torsi pada tegangan 140 volt diberikan pada gambar 14.



Gambar 14. Karakteristik kecepatan sebagai fungsi torsi, $n_m = f(T)$, V_t konstan

V. KESIMPULAN

1. Secara umum efektifitas penggunaan thyristor sebagai komponen utama penyearah menggunakan teknik kontrol fasa cukup baik, akan tetapi hal ini sangat tergantung pada kesempurnaan rangkaian kontrol

pembentuk pulsa picu untuk mendapatkan unjuk kerja yang maksimal. Pada alat ini sinkronisasi output pengolah sinyal kontrol dengan sinyal input jala-jala menjadi bagian yang amat penting dikarenakan adanya penundaan yang terjadi ketika pengambilan sampling waktu dari sinyal input jala-jala hingga dihasilkan pulsa picu untuk kontrol.

2. Pada pengujian dengan beban konstan, tegangan keluaran terbesar diperoleh pada sudut picu $= 50^\circ$ yaitu sebesar 210 volt dengan kecepatan motor 2600 rpm. Ketika tegangan keluaran penyearah turun menjadi 80 volt, kecepatan motor juga turun secara drastis menjadi 1150 rpm. Pada percobaan ini, terlihat bahwa dengan bertambahnya sudut penundaan pada penyearah tersebut, maka tegangan masukan dari motor semakin berkurang. Dengan berkurangnya tegangan masukan pada motor, menyebabkan kecepatan motor n_m semakin berkurang.
3. Dari pengujian dengan beban yang bervariasi, dapat dilihat bahwa untuk tegangan terminal motor yang tetap, dengan adanya pertambahan beban (pertambahan nilai torsi) maka kecepatan motor akan menurun. Sebagai contoh, untuk tegangan masukan motor 140 volt, kecepatan motor adalah 2000 rpm untuk torsi 0. Ketika torsi dinaikkan menjadi 0,3 N - m kecepatan motor turun menjadi 1675 rpm. Pada saat torsi dinaikkan menjadi 0,45 N-m kecepatan motor berkurang menjadi 1500 rpm. Kecepatan motor kemudian terus turun secara signifikan menjadi 1300 rpm ketika torsi dinaikkan menjadi 0,6 N-m.
4. Secara umum performansi dari rangkaian penyearah ini cukup baik untuk menguji karakteristik dari

motor arus searah shunt.

DAFTAR PUSTAKA

- Kenjo, T., 1995. *Power Electronics For The Microprocessor Age*, United State By Oxford University Press Inc., New York.
- Malvino, Barmawi, 1996. *Prinsip-Prinsip Elektronika*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Petruzella, F.D., 2001. *Elektronika Industri*, Penerbit Audi Offset, Yogyakarta.
- Rasyid, M.H. , 1999. *Elektronika Daya*, Edisi bahasa Indonesia, PT. Prenhallindo, Jakarta.
- Sen, P.C., 1987. *Principles of Electric Machines and Power Electronics*, John Wiley & Sons, Canada.
- heraja, B. L., 1984. *Element Of Electrical and Mechanical Engineering*, Ram, Nagar, New Delhi.
- Warsito, 2001. *Vademekum Elektronika*, Edisi Kedua, Penerbit Gramedia, Jakarta.