

# PEMBUATAN PENYEARAH TERKONTROL PENUH SATU FASA SEBAGAI PENGEMUDI MOTOR DC 3 HP

Kharla Aji Wahyu Hudaya (L2F302498)  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**Abstrak** – Pengaturan kecepatan motor DC adalah paling mudah diantara pengaturan kecepatan pada motor lain. Pada masa sekarang ini masih banyak yang menggunakan kendali konvensional dengan cara memutar autotrafo. Seperti kita ketahui bahwa pengaturan dengan autotrafo terdapat berbagai macam kelemahan. Antara lain ditinjau dari segi ekonomis, sebuah autotrafo yang mengalami kerusakan maka untuk mendapatkan komponen atau penggantian dengan yang baru akan mengalami kesulitan karena harganya yang cukup mahal

Sebuah penyearah terkontrol dengan IC TCA 785 digunakan pada pengaturan sudut pemecuan thyristor untuk suplai daya motor arus searah dibuat untuk mengatasi masalah tersebut. Karena dengan penggunaan IC TCA 785, kontrol lebih mudah dan tidak mengalami kesulitan pada saat perbaikan alat apabila terjadi kerusakan. Alat ini dibuat untuk mengatur tegangan pada lilitan jangkar dengan menggunakan penyearah terkontrol penuh dengan tegangan keluaran maksimal 190 Vdc.

Pada tugas akhir ini pembuatan alat menggunakan IC TCA 785 untuk pengaturan sudut pemecuan pada thyristor, kemudian tegangan yang dihasilkan disuplai ke lilitan jangkar motor. Sebagai obyek percobaan digunakan motor arus searah berkapasitas 3 HP yang terdapat di laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Setelah dilakukan pengujian dan alat bekerja, dapat mengemudikan motor DC tanpa lonjakan arus setiap kenaikan tegangan hingga mencapai putaran yang diinginkan (1500 rpm) dan selanjutnya dikopel ke generator sinkron AC 3 fasa sebagai simulasi beban pada motor DC dengan cara memasang lampu pijar pada output generator 3 fasa.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Rangkaian Penyearah merupakan rangkaian yang mengkonversikan tegangan AC menjadi DC. Penyearah terkontrol merupakan rangkaian yang menggunakan thyristor sebagai komponen penyearah yang dapat mengendalikan tegangan keluaran DC. Penyearah terkontrol dapat dibedakan menjadi penyearah terkontrol penuh dan setengah terkontrol. Penyearah ini dapat digunakan untuk pengaturan kecepatan motor DC.

Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan cara mengatur tegangan terminal ( $V_t$ ). Pengaturan tegangan terminal pada lilitan jangkar dapat langsung digunakan untuk mengatur kecepatan pada saat pengasutan (*starting*) dan sekaligus pada saat berjalan (*running*). Pengaturan pada  $V_t$  menjadi lebih mudah dan efisien jika menggunakan peralatan elektronika daya.

Dalam perancangan tugas akhir ini digunakan motor DC 3 HP berpenguatan terpisah sebagai plant yang akan dikontrol. Pengaturan kecepatan motor DC dilakukan dengan menaikkan fluks magnet dari kumparan medan dengan menggunakan penyearah setengah terkontrol 1 fasa sampai mencapai nominal yang diinginkan dan mengatur tegangan jangkar dengan menggunakan penyearah terkontrol penuh 1 fasa.

### 1.2 TUJUAN

Tujuan tugas akhir ini adalah membuat penyearah thyristor terkontrol satu fasa sebagai pengemudi motor DC 3 HP dengan pengaturan tegangan jangkar dari motor oleh penyearah thyristor terkontrol penuh dan pengaturan fluks magnet pada kumparan medan oleh penyearah setengah terkontrol. Fluks magnet dinaikkan pada nilai nominal tertentu dan tidak diubah-ubah. Yang diatur perubahan naik turunnya adalah tegangan jangkar, nilai besarnya diatur sampai mencapai putaran motor yang diinginkan.

### 1.3 PEMBATAAN MASALAH

Pembatasan masalah dalam tugas akhir ini, yaitu :

1. Pembuatan penyearah thyristor meliputi penyearah terkontrol penuh yang digunakan untuk pengaturan pada saat pengasutan dan saat motor berjalan serta penyearah setengah terkontrol.
2. Rangkaian kontrol thyristor menggunakan kontrol analog dengan IC TCA 785.
3. Tegangan medan pada motor 198 Vdc(max), tegangan jangkar 190 Vdc(max) dengan kemampuan arus 13,5 A. Frekuensi tegangan bolak-balik 50 Hz.
4. Pengaturan kecepatan motor DC hanya dilakukan dengan mengatur tegangan jangkar melalui

penyearah terkontrol penuh, tegangan pada medan nilainya tetap .

5. Simulasi menggunakan motor DC 3 HP dengan beban generator induksi 3 fasa yang menyuplai tegangan pada lampu pijar, generator induksi 3 fasa tidak dibahas.
6. Harmonisa yang terjadi pada alat tidak dibahas.
7. Rangkaian elektronika yang digunakan hanya dibahas pada fungsi kerjanya.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Motor Arus Searah

Dari rumus umum motor arus searah untuk menentukan titik dimana dapat dilakukan pengaturan kecepatan adalah sebagai berikut :

$$E_b = C \cdot N \cdot \phi \quad (2.1)$$

dimana :  $E_b$  : gaya gerak listrik lawan (V)  
 $C$  : konstanta  
 $N$  : kecepatan putaran jangkar (rps)  
 $\phi$  : fluks magnet (Wb)

$$E_b = V_t - I_a \cdot R_a \quad (2.2)$$

dimana :  $V_t$  : tegangan terminal (V)  
 $I_a$  : arus jangkar (A)  
 $R_a$  : tahanan jangkar ( $\Omega$ )

Dari persamaan 2.1 dan 2.2 digabungkan :

$$N = \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{C \phi} \quad (2.3)$$

Dari persamaan diatas, dapat diperoleh kesimpulan bahwa kecepatan putar jangkar dapat diatur diantaranya dengan mengubah nilai  $\phi$  (mengubah tegangan atau arus lilitan medan),  $R_a$  (memberikan resistor seri terhadap  $R_a$ ), dan  $V_t$  (mengubah tegangan terminal lilitan jangkar). Untuk torsi yang dibangkitkan digunakan persamaan berikut :

$$T = \frac{E_b \cdot I_a}{2\pi \cdot N} \quad (2.4)$$

Pada saat motor arus searah diasut, arus pengasutan (*starting current*) mencapai 20 hingga 30 kali lebih besar dibandingkan arus nominal saat pembebanan penuh. Dari persamaan 2.2 dapat ditunjukkan sebagai berikut<sup>[1][2]</sup> :

$$V_t = E_b + I_a \cdot R_a$$

$$I_a = \frac{V_t - E_b}{R_a}$$

Pada saat pengasutan  $E_b = 0$  sehingga :

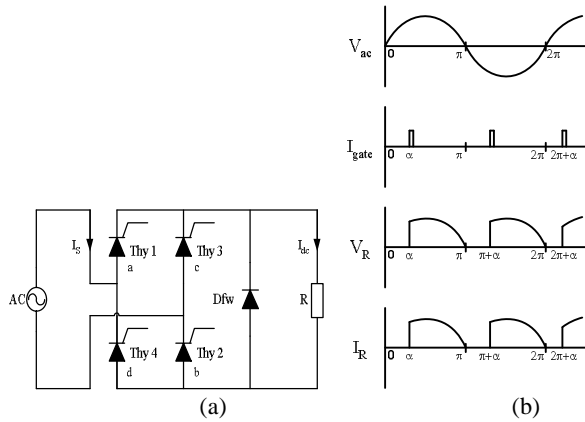
$$I_a = \frac{V_t}{R_a} = I_{st} \quad (2.5)$$

## 2.2 Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa

Penyearah terkontrol penuh satu fasa tersusun dari 4 buah thyristor dan 1 dioda *freewheeling* seperti pada gambar 2.1, digunakan untuk mensuplai daya listrik pada lilitan jangkar dimana tegangan lilitan jangkar digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor arus searah baik untuk *starting* maupun *running* saat kerja pada kalang terbuka (*openloop*).

Tegangan arus searah ( $V_{dc}$ ) atau tegangan keluaran ( $V_o$ ) diperoleh dari persamaan 2.6.

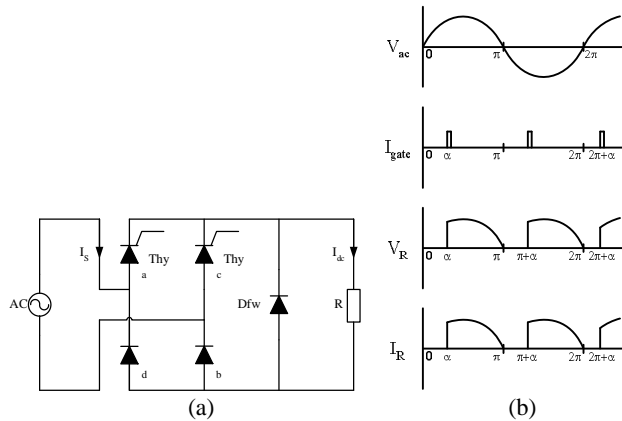
$$V_o = V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \cdot \sin \omega t d(\omega t) \quad (2.6)$$



Gambar 2.1 (a) penyearah gelombang penuh terkontrol penuh  
(b) bentuk gelombang  $V_{ac}$ ,  $I_{gate}$ ,  $V_R$ , dan  $I_R$

## 2.3 Penyearah Setengah Terkontrol Satu Fasa

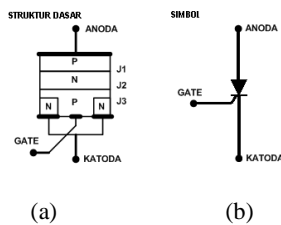
Pengaturan rangkaian dari semikonverter satu fasa diperlihatkan pada gambar 2.2.a dengan beban resistif.



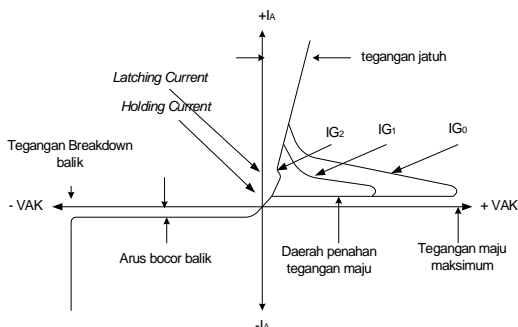
Gambar 2.2 (a) Rangkaian setengah terkontrol 1 fasa  
(b) Bentuk gelombang  $V_{in}$ ,  $V_{out}$ ,  $I_{in}$ ,  $I_{out}$

## 2.3 Thyristor

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



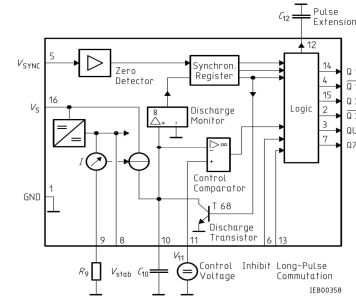
Gambar 2.3 (a) Struktur dasar *thyristor*  
(b) Simbol *thyristor*



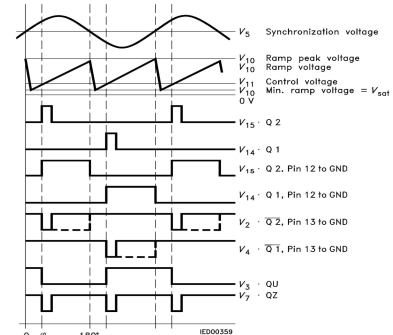
Gambar 2.4 Karakteristik thyristor

## 2.5 TCA785

Prinsip kerja IC TCA 785 dapat dilihat pada gambar blok diagram berikut ini.



Gambar 2.5. Blok diagram prinsip kerja IC TCA785  
Data bentuk gelombang dari IC TCA785 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

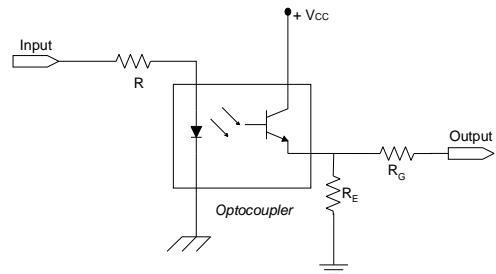


Gambar 2.6. Diagram pulsa

## 2.6 Isolator Pulsa (*Optocoupler*)

Rangkaian *optocoupler* berfungsi untuk melindungi rangkaian kontrol apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada rangkaian daya.

Rangkaian *optocoupler* diperlihatkan pada gambar 2.6 dibawah ini.

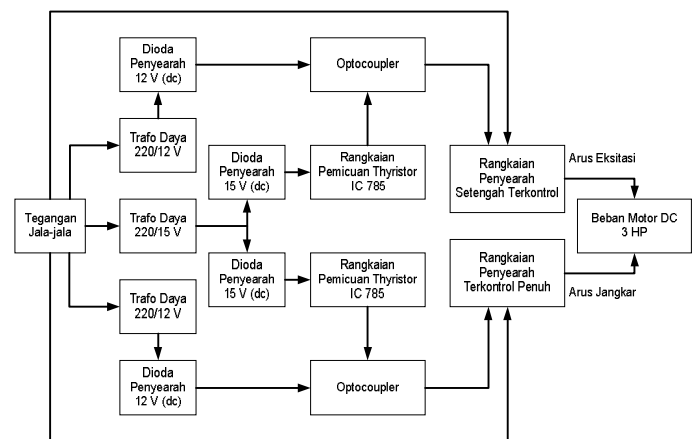


Gambar 2.7 Rangkaian *Optocoupler*

## III. PERANCANGAN ALAT

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Blok diagramnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Blok diagram rangkaian penyearah terkontrol penuh satu fasa sebagai pengemudi motor DC 3 HP

### 3.1.1 Suplai AC 1 Fasa

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

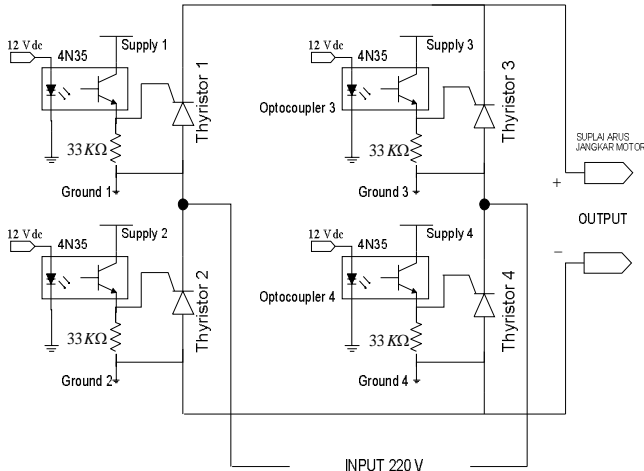
### 3.1.2 Penyearah

Penyearah (*rectifier*) berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan DC. Pada tugas akhir ini menggunakan :

1. Penyearah terkontrol penuh
2. Penyearah setengah terkontrol

#### 3.1.2.1 Penyearah terkontrol penuh

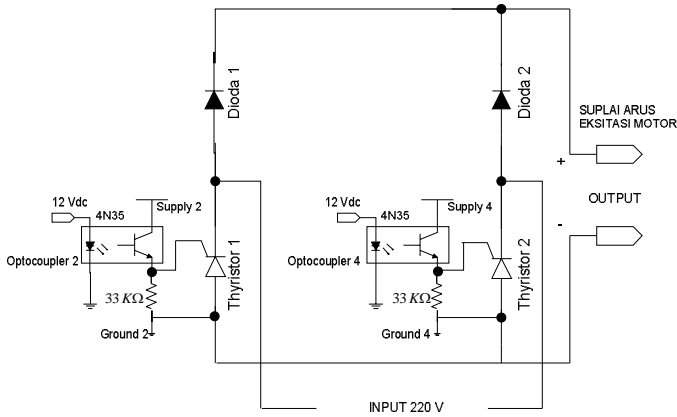
Penyearah terkontrol penuh dirancang menggunakan 4 buah Thyristor. Dimana tegangan AC sumber merupakan gelombang sinus murni. Rangkaian penyearah terkontrol penuh digunakan sebagai input tegangan pada rangkaian jangkar motor DC.



Gambar 3.2 Rangkaian penyearah terkontrol penuh

#### 3.1.2.2 Penyearah Setengah Terkontrol

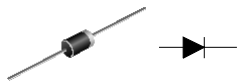
Penyearah setengah terkontrol dirancang dengan menggunakan 2 buah thyristor dan 2 buah dioda bridge. Rangkaian penyearah setengah terkontrol digunakan sebagai input tegangan medan pada motor DC. Rangkaian penyearah setengah terkontrol seperti ditunjukkan pada gambar 3.3 dibawah ini :



Gambar 3.3. Rangkaian penyearah setengah terkontrol

### 3.1.3 Dioda Freewheeling (Dioda Dm, MUR 460)

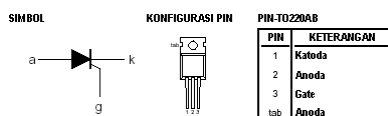
Dioda ini digunakan pada rangkaian yang mempunyai beban induktif.



Gambar 3.4. Konstruksi Dioda Freewheeling (MUR 460)

### 3.1.4 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 3.5 dibawah ini.

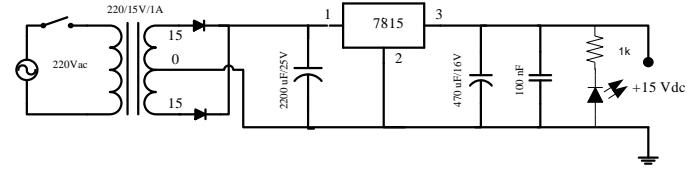


Gambar 3.5. Konfigurasi SCR BT 151-500R

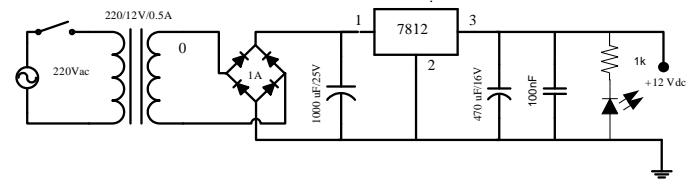
### 3.2 Sumber Tegangan

Perancangan sumber tegangan yang digunakan ada tiga macam yaitu:

1. Sumber tegangan 220 V digunakan untuk mensuplai rangkaian Daya penyearah terkontrol yang dihubungkan ke motor DC.
2. Sumber tegangan 15 V dengan arus 1 A untuk mensuplai rangkaian power suplai pemucuan dengan menggunakan IC TCA 785.
3. Sumber tegangan 12 V dengan arus 0,5 A untuk mensuplai rangkaian isolator pulsa (*optocoupler*).



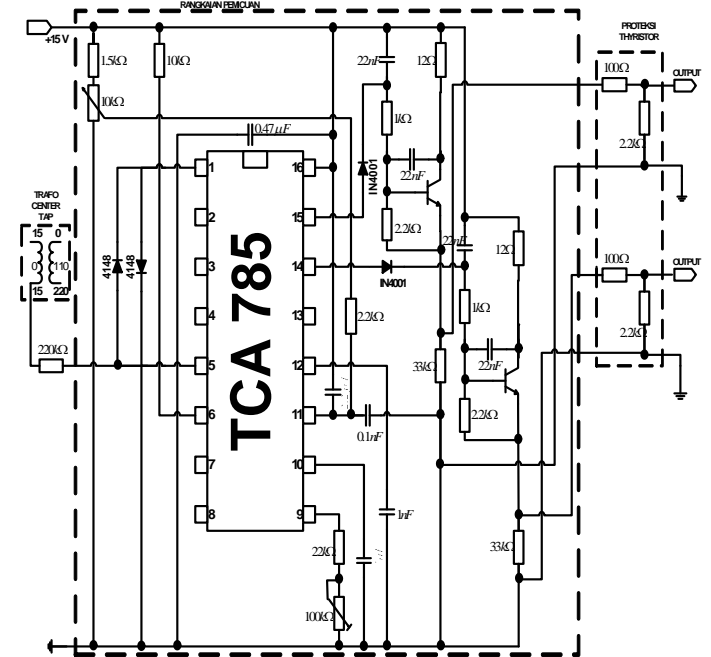
Gambar 3.6 Sumber tegangan pemucuan TCA 785



Gambar 3.7 Sumber tegangan isolator pulsa

### 3.3 Perancangan Pemucuan Pengendali Fasa (*Phase-Control Trigger*)

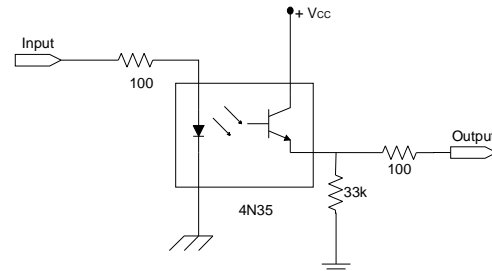
Rangkaian keseluruhan dari rancangan pemucuan dapat dilihat pada gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8. Rangkaian pemucuan pengendali fasa

### 3.4 Isolator Pulsa

Rangkaian rancangan *optocoupler* dapat dilihat pada gambar 3.9 dibawah ini.

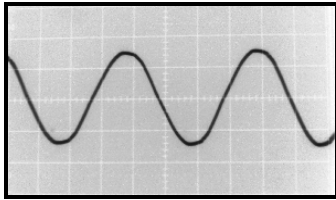


Gambar 3.9 Rangkaian isolator pulsa

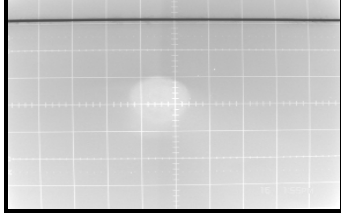
## IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

### 4.1 Pengujian Sumber Tegangan

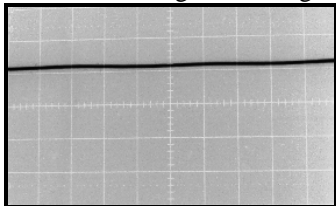
Pengujian sumber tegangan dengan menggunakan osiloskop menghasilkan gambar-gambar sebagai berikut :



Gambar 4.1 Gelombang sumber tegangan rangkaian daya(220 Vac)



Gambar 4.2 Gelombang sumber tegangan pemicuan (15 Vdc)



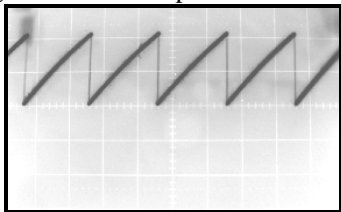
Gambar 4.3 Gelombang sumber tegangan optocoupler (12 Vdc)

#### 4.1 Pengujian Rangkaian Pemicuan (*Phase control trigger*)

Output rangkaian pemicuan nantinya digunakan untuk suplai tegangan thyristor setelah melalui rangkaian isolator pulsa.

##### 4.1.1 Pengujian Pembangkit Gelombang Gigi Gergaji

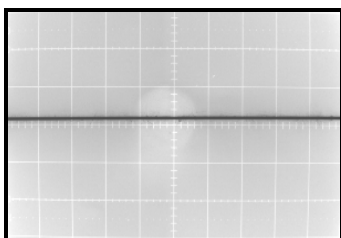
Pengujian pembangkit gelombang gigi gergaji dilakukan pada pin 10 dari IC TCA 785 terhadap *ground* dengan menggunakan osiloskop.



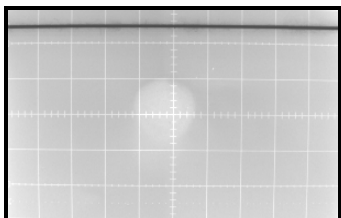
Gambar 4.4. Bentuk gelombang gigi gergaji

##### 4.1.2 Pengujian Tegangan kontrol

Pengujian tegangan kontrol ini dilakukan pada pin 11 dari TCA 785 terhadap *ground*. Pengujian dilakukan untuk melihat batas minimal dan batas maksimal dari tegangan kontrol dengan mengatur sebuah tahanan variabel. Bentuk Gelombang yang dihasilkan osiloskop seperti gambar berikut.



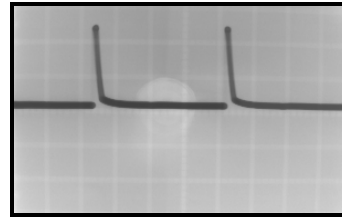
Gambar 4.5. Batas minimal tegangan kontrol



Gambar 4.6. Batas maksimal tegangan kontrol

##### 4.1.3 Pengujian keluaran Pemicuan

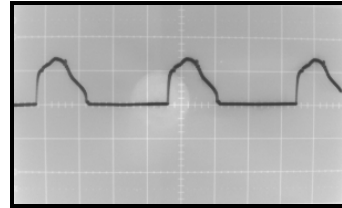
Pengukuran tegangan keluaran pemicuan diperoleh nilai tegangan 1,7 V. Bentuk gelombang keluaran pemicuan yang dihasilkan osiloskop terlihat pada gambar 4.7. Baik hasil pengukuran maupun bentuk gelombang osiloskop berlaku untuk *output* 1 maupun *output* 2, karena hasilnya sama.



Gambar 4.7. Gelombang keluaran pemicuan

#### 4.2. Pengujian Keluaran Optocoupler

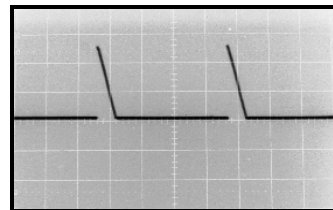
Keluaran dari *Optocoupler* ini digunakan untuk memicu thyristor pada rangkaian daya. Bentuk gelombang keluaran dari *Optocoupler* terbaca pada osiloskop seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4.8 Gelombang keluaran *optocoupler*

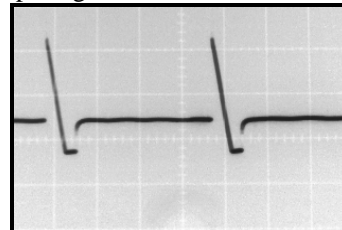
#### 4.3. Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian rangkaian dengan menggunakan beban lampu pijar dan diatur pada  $\alpha = 120^\circ$ , menghasilkan bentuk gelombang seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Bentuk gelombang pada beban lampu yang dipicu  $120^\circ$

Pengujian rangkaian dengan menggunakan beban motor DC dan diatur pada  $\alpha = 120^\circ$ , menghasilkan bentuk gelombang seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Bentuk gelombang pada beban motor DC yang dipicu  $120^\circ$

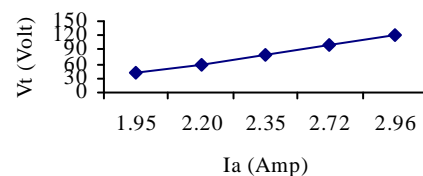
#### 4.4 Pengujian Alat

Dilakukan pada kondisi tanpa beban dan berbeban

##### 4.4.1 Pengujian Alat Tanpa Beban

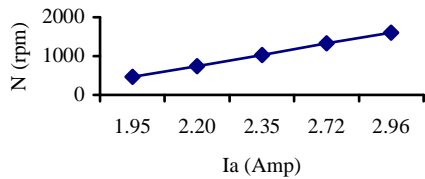
Percobaan ini dilakukan dengan tidak memberikan beban pada generator. Setelah didapatkan data percobaan diperoleh grafik sebagai berikut :

Perubahan tegangan jangkar ( $V_t$ ) yang dihasilkan, terhadap perubahan arus jangkar ( $I_a$ ) akan tampak jelas dengan melihat grafik pada gambar 4.11.



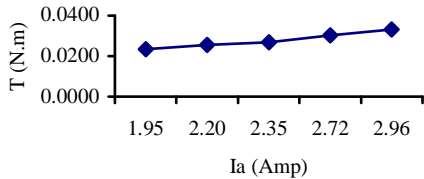
Gambar 4.11 Grafik perbandingan  $V_t$  terhadap  $I_a$

Pada gambar 4.11 diatas terlihat bahwa setiap kenaikan  $V_t$  (tegangan pada jangkar motor) tidak terjadi lonjakan arus  $I_a$  yang tinggi.



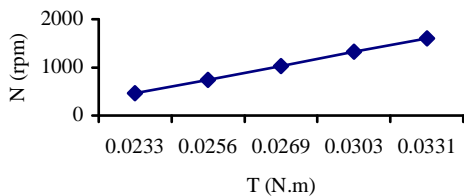
Gambar 4.12 Grafik perbandingan N terhadap Ia

Gambar 4.12 memperlihatkan perbandingan  $N$  dengan  $I_a$ , dengan kondisi bila  $V_t$  dinaikkan, dan terlihat kenaikan  $I_a$  diikuti kenaikan  $N$ .



Gambar 4.13 Grafik perbandingan T terhadap Ia

Gambar 4.13 memperlihatkan perbandingan  $T$  dengan  $I_a$ , dalam kondisi  $V_t$  dinaikkan, dan terlihat perubahan  $I_a$  terhadap  $T$  adalah berbanding lurus.



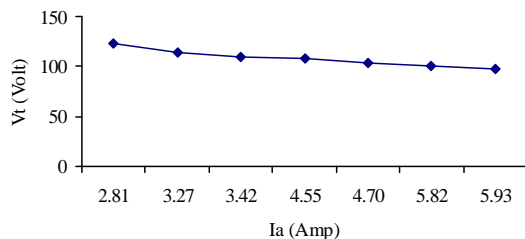
Gambar 4.15 Grafik perbandingan N terhadap T

#### 4.4.2 Pengujian Berbeban

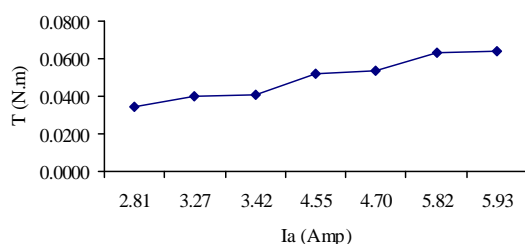
Cara pengambilan datanya dalam kondisi awal tanpa beban dengan cara memutar regulator hingga kecepatan motor DC mencapai 1500 rpm, kemudian berikan beban berupa lampu pijar pada generator sesuai dengan tabel 4.2 tanpa mengubah posisi regulator.

Setelah didapatkan data percobaan diperoleh grafik sebagai berikut :

Untuk mengetahui perubahan tegangan jangkar ( $V_t$ ) yang dihasilkan, terhadap perubahan arus jangkar ( $I_a$ ) akan tampak jelas dengan melihat grafik pada gambar 4.16.

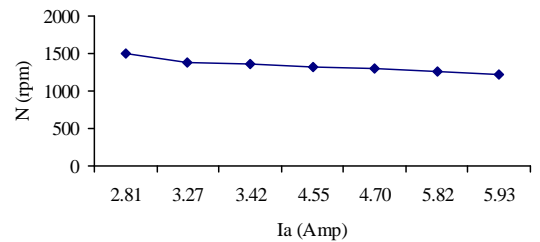


Gambar 4.16 Grafik perbandingan  $V_t$  terhadap Ia



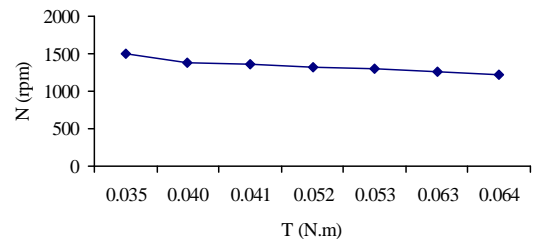
Gambar 4.17 Grafik perbandingan T terhadap Ia

Gambar 4.17 memperlihatkan perbandingan  $T$  dengan  $I_a$ , dalam kondisi  $V_t$  semakin berkurang, terlihat perubahan  $I_a$  terhadap  $T$  adalah berbanding lurus.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan N terhadap Ia

Gambar 4.18 memperlihatkan perbandingan  $N$  dengan  $I_a$ . Penambahan beban mengakibatkan tegangan  $V_t$  semakin berkurang, namun arus  $I_a$  makin bertambah dengan diikuti penurunan putaran  $N$ .



Gambar 4.19 Grafik perbandingan N terhadap T

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Hasil perancangan, pengujian dan analisa tentang pembuatan penyearah terkontrol penuh satu fasa sebagai pengemudi motor DC 3 HP dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan penyearah terkontrol penuh satu fasa dengan pengaturan output tegangan pada jangkar motor (maksimal 190 Vdc) dan eksitasi pada medan motor (maksimal 198 Vdc) dapat menjalankan motor DC 3 HP dengan baik.
2. Pengaturan tegangan pada jangkar motor dilakukan setelah eksitasi medan dinaikkan sampai mencapai tegangan nominal yang diinginkan, nilai tegangan eksitasi tetap dan tidak diubah-ubah. Yang diatur perubahannya hanya pada tegangan jangkar motor hingga mencapai putaran pada motor maksimal 1750 rpm.
3. Variabel arus searah keluaran penyearah terkontrol penuh dapat diatur dengan menggunakan kendali sudut fasa *thyristor* pada rangkaian pemicuan kendali fasa IC TCA 785.
4. Pembebanan motor DC dilakukan setelah motor mencapai putaran minimal 1500 rpm dengan cara output generator AC dihubungkan ke lampu pijar 15 watt, penambahan beban lampu secara bertahap sampai beban mencapai 75 watt akan mengakibatkan penurunan pada kecepatan motor.
5. Bentuk gelombang keluaran pemicuan yang dihasilkan mengalami perubahan setelah dilewatkan pada rangkaian isolator karena adanya waktu naik (*rise time*) dan waktu turun (*fall time*) dari *optocoupler*

### 5.2 Saran

Untuk kepentingan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk pemicuan kendali fasa *thyristor* dapat menggunakan *mikrokontroler* AT89S51 agar menghasilkan keluaran yang lebih presisi.
2. Tegangan sinkron pada pemicuan IC TCA 785 perlu diperhatikan agar gelombang tegangannya sefasa dengan gelombang dari sumber tegangan untuk rangkaian dayanya (penyearah setengah terkontrol dan terkontrol penuh). Hal ini disebabkan rangkaian daya tidak akan menghasilkan keluaran

yang baik apabila gelombang tegangan sinkron dan sumber tegangan rangkaian daya tidak sefasa.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Agrawal Jai P. *Power Electronic Systems: Theory and Design*, Pearson Education Pte, Ltd. 2002.
2. Boldea Ion, S. A. Nasar, *Electric Driving*, United States of America, 1999.
3. David E. J, Johnny R. J, John L. H, *Electric Circuit Analysis*, Prentice-Hall, Second edition.
4. Jacob M. Ph.D, C.C. Halkias, Ph.D, *Elektronika Terpadu*, Penerbit Erlangga, 1990.
5. Rashid, Muhammad H., *Power Electronics: Circuits, Devices and Application*, Prentice-Hall International Inc, Second Edition, New Jersey, 1993.
6. Malvino Albert Poul, *Prinsip-prinsip Elektronik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.
7. Presman I. Abraham, *Switching Power Supply Design*, The McGraw-Hill Company Inc, 1998.
8. Drs. Parsumo R, *Elektronika Daya*, Politeknik Negeri Semarang, 1997.
9. Mohan.Ned, Tore M.Undeland, William P Robbins, *Power Electronics : Converter, Applications, and Design*, John Wiley and Sons Inc, Canada, 1995.
10. Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia, 1995.
11. B.L. Theraja, *Electrical Technology*, Nirja Construction & Dev. Co. Ltd, 1980.
12. Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives and Power Systems 3<sup>rd</sup>*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997.
13. P C Sen, *Power Electronics*, Tata McGraw-Hill, 1987.
14. Richard AH, *Op Amps and Linier Integrated Circuit*, Delmar Publishers Inc, 1988.
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.
17. Sandewan H. Tutut ST, *Tugas Akhir: Pembuatan Prototipe AVR (Automatic Voltage Regulator) Generator Sinkron Tiga Fasa*, Universitas Diponegoro Semarang, 2001.
18. I J Nagrath, DP Kothari, *Electric Machines*, Tata Mc Graw-Hill, 1985.

Mengetahui / Mengesahkan :  
Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET  
NIP. 131 668 485

Mochammad Facta, ST MT  
NIP. 131 231 134



**Kharla Aji Wahyu Hudaya L2F302498**  
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Semarang, dengan pilihan konsentrasi  
Tenaga listrik.