

Rancang Bangun Penyearah Terkendali Semikonverter Satu Fasa dengan Menggunakan IC TCA 785

Rosidatun Nisak¹

1. Mahasiswa Jurusan Fisika Universitas Diponegoro

Abstract

Single phase semi-converter have been made using SCR. Semi-converter is a controlled rectifier that work at single quadrant so that voltage and current output only have positive value. The aim of making this system is to get voltage variation, and controlled ellectricity and current.

Triggering account is necessary in triggering SCR which obtained from triggering circuit that consist of microcontroller AT89S51 as voltage control circuit, modul IC TCA 785 as phase control and account transformator as firing circuit. Voltage control circuit connected with dipswitch as output and the output in the form of voltage variable that used as voltage control then synchronized AC's phase source by phase control circuit. The output of phase control circuit in the form of triggering account can be shifted from 35^0 to 180^0 then getting insulation from firing circuit. Output from firing circuit is used to triggering single phase semi-converter that use thyristor with kind SCR TIC 106.

Result of examination of this system is that SCR's triggering angle can be shifted from 35^0 to 180^0 . In single phase semi-converter examination, using lamp and motor burden, can be concluded that current and voltage burden increasing inversely proportional to triggering angle and phase shift can resulted in the change of DC motor speeds from 99,9 rpm until 0 rpm.

Key words : semi-converter rectifier, Silicon Controlled Rectifier, phase control, voltage variation

Intisari

Telah dibuat semikonverter satu fasa dengan menggunakan *Silicon Control Rectifier* (SCR). Semikonverter adalah penyearah terkendali yang bekerja pada satu kuadran sehingga tegangan dan arus keluarannya hanya berharga positif. Pembuatan sistem ini bertujuan untuk memperoleh variasi tegangan, arus dan daya listrik yang terkendali.

Pada pemucuan SCR diperlukan pulsa pemucuan yang diperoleh dari rangkaian pemucu yang terdiri dari mikrokontroler AT89S51 sebagai rangkaian pengontrol tegangan, modul IC TCA 785 sebagai pengontrol fasa dan rangkaian transformator pulsa sebagai rangkaian *firing*. Rangkaian pengontrol tegangan dihubungkan dengan *dipswitch* sebagai masukan dan keluarannya berupa variabel tegangan yang digunakan sebagai tegangan kontrol yang kemudian disinkronkan dengan sumber fasa AC oleh rangkaian pengontrol fasa. Keluaran rangkian pengontrol fasa berupa pulsa pemucuan yang dapat digeser dari 0^0 sampai 145^0 yang kemudian mendapat isolasi dari rangkian *firing*. Keluaran dari rangkaian *firing* digunakan untuk pulsa pemucuan semikonverter satu fasa yang menggunakan *thyristor* jenis *Silicon Control Rectifier* (SCR) TIC 106.

Keluaran dari sistem ini adalah tegangan DC terkontrol. Alat ini telah diuji cobakan untuk mengendalikan beban yang motor dan lampu dan didapatkan grafik tegangan dan arus seperti grafik sinusoida, kecuali pada grafik tegangan terbeban menunjukkan grafik linier yang sesuai dengan hukum ohm. Grafik linier tegangan terbeban ini mengakibatkan kecepatan motor DC bertambah dan intensitas pencahayaan lampu semakin besar sampai sudut pemucuan 145^0 . Hal ini juga berarti penghematan arus listrik.

Kata kunci : semikonverter, *silicon control rectifier*, pengontrol fasa, variasi tegangan

Latar Belakang

Kebutuhan pengendalian daya telah ada sejak lama. Sebelum ditemukan *thyristor*, pengendalian daya listrik menggunakan generator induksi, tetapi alat ini mempunyai beberapa kelemahan antara lain mahal, efisiensi yang rendah, ukurannya besar dan perawatannya yang tidak mudah.

Saat ini pengendalian daya menggunakan penyearah *thyristor* fasa terkendali yang merupakan penyearah sederhana dan lebih murah. Efisiensi dari penyearah ini umumnya berada diatas 95%. Penyearah ini dikenal sebagai konverter AC-DC yang mengkonversi dari tegangan AC ke DC dan digunakan secara intensif pada

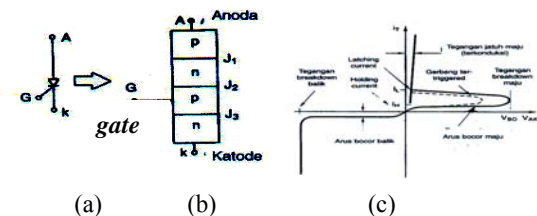
aplikasi-aplikasi industri. Semikonverter satu fasa merupakan salah satu jenis konverter satu fasa yang banyak digunakan dalam industri skala kecil, rumah tangga, peralatan kantor dan sebagainya seperti pada motor induksi satu fasa, pengontrol heater, pengontrol pencahayaan lampu, pengontrol putaran motor kipas angin, dan lain-lain. Semikonverter satu fasa ini menggunakan thyristor jenis silicon control rectifier (SCR). Konverter tiga fasa banyak digunakan pada industri skala besar seperti motor induksi tiga fasa, variable speed drivers dengan daya tinggi, aplikasi industri hingga tingkat daya 120kW dan sebagainya^[1].

Pengendalian tak lepas dari konsep variasi. Variasi tegangan masukan pada rangkaian pengendali SCR akan berpengaruh pada sudut penyalan SCR yang mempengaruhi arus beban dan variasi tegangan keluaran rata-rata (dan daya keluaran konverter), sehingga kita akan mendapatkan tegangan yang kita inginkan dengan masukan yang sama.

Dasar Teori

1. Silicon Control Rectifier (SCR)

Silicon Control Rectifier (SCR) merupakan salah satu jenis thyristor yang prinsip kerjanya mirip dengan dioda namun dilengkapi gate untuk mengatur besarnya fasa yang dilalukan. SCR adalah komponen semikonduktor yang terbentuk dengan struktur empat lapis PNPN (Positif-Negatif-Positif-Negatif) dengan tiga lapisan sambungan PN. SCR memiliki tiga terminal yaitu anoda, katoda dan gate. Sambungan PN (PN junction) berturut-turut dari anoda diberi simbol J_1 , J_2 dan J_3 seperti terlihat pada gambar 2.1(b).



Gambar 2.1 (a) simbol, (b) struktur fisik, dan (c) karakteristik SCR (Rashid,1999)

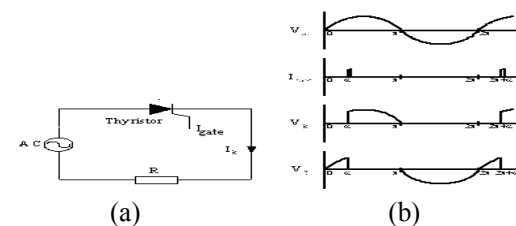
Dari gambar 2.1(a) dapat dipelajari sistem operasi SCR. Apabila tegangan anoda lebih positif dari katoda, sambungan J_1 dan J_3 pada kondisi forward bias dan J_2 pada kondisi reverse bias. Pada kondisi ini SCR masih dalam kondisi memblokir tegangan maju. Agar

arus dapat mengalir dari anoda ke katoda, maka diberikan tegangan antara gate terhadap katoda. Jika pada katoda tegangan lebih positif dari anoda, sambungan J_2 terbias maju sedangkan J_1 dan J_3 terbias mundur. Hal ini seperti dioda-dioda yang terhubung seri dengan tegangan balik bagi keduanya. SCR akan berada pada kondisi reverse blocking dan arus bocor reverse (current reverse) akan mengalir melalui divais. SCR dapat dihidupkan dengan meningkatkan tegangan maju V_{AK} diatas V_{BO} , tetapi kondisi ini bisa merusak komponen. Dalam penggunaannya, harus mengetahui cara-cara pengoperasian SCR yaitu dengan metode membuat SCR dalam kondisi menyala atau pemicuan dan metode membuat SCR dalam kondisi tidak menghantar atau komutasi.

Metode yang digunakan pada SCR adalah pemicuan melalui gate (pemberian arus gate) yang dilakukan dengan memberi tegangan kecil saja pada gate katoda (tergantung spesifikasi produk), maka arus gate dapat mengalir dan membuat kondisi SCR dalam keadaan on. Daerah kerja SCR adalah $0^\circ-180^\circ$ (sifat umum dioda), maka hanya pada daerah tersebut pengontrolan fasa dapat dilakukan.

Apabila SCR telah terpicu, maka SCR berada dalam kondisi menghantarkan arus listrik. Untuk pengaturan fasa atau menghentikan arus listrik maka diperlukan metode komutasi yaitu mengusahakan tegangan pada SCR adalah nol, sehingga arus tidak mengalir. Pada saat itu dapat dipastikan bahwa SCR dalam kondisi tidak dapat menghantarkan arus listrik dari anoda ke katoda hingga pemicuan dimasukkan kembali.

Gambar 2.2 adalah rangkaian sederhana SCR dan pemicuan SCR sebesar α° serta bentuk gelombang yang dihasilkan (Rashid,1999).

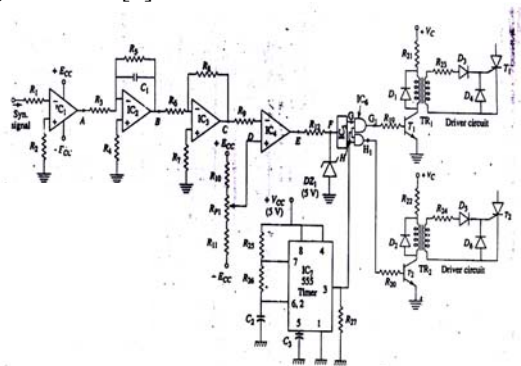


Gambar 2.2 (a) Rangkaian sederhana SCR (b) Bentuk gelombang hasil pemicuan SCR (Rashid,1999)

Gambar 2.2(a) menunjukkan rangkaian sederhana SCR. Gambar 2.2(b) menunjukkan jika SCR dipicu pada α° , maka arus akan ditahan dari $0^\circ-\alpha^\circ$ dan arus akan melewati SCR secara penuh dari $\alpha^\circ-180^\circ$. Pada $180^\circ-360^\circ$ SCR akan terbias mundur dan pemucuan tidak akan berguna karena SCR hanya dapat menghantarkan arus jika terbias maju, sedangkan apabila terbias mundur SCR akan membloking arus [1].

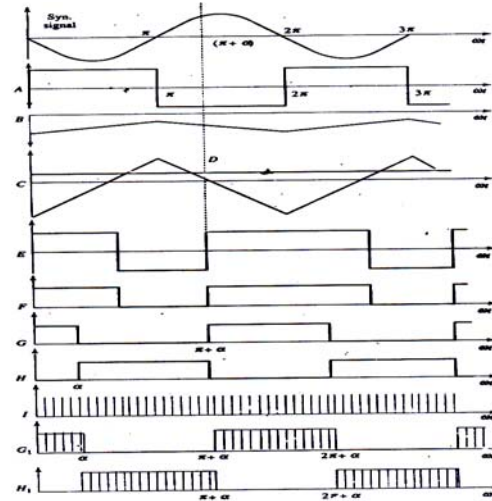
2 Rangkaian Pembangkit Sinyal Gerbang

Rangkaian pembangkit sinyal gerbang (pulsa pemucuan) untuk konverter satu fasa terdiri dari: (a) *Zero crossing detector*, (b) integrator, (c) level penggeser, (d) komparator, (e) monostabil, (f) 2 gerbang input AND, (g) astabil multivibrator, (h) penguat pulsa dan (i) transformator pulsa seperti terlihat pada gambar 2.3 [2]:



Gambar 2.3 Rangkaian pembangkit sinyal gerbang (Singh,1998)

Pada gambar 2.3 sinyal sinkronisasi secara normal didapat dari sumber yang sama dengan sumber tegangan SCR. Sinyal ini didapatkan dengan menggunakan transformator sinkronisasi. Sinyal ini kemudian diberikan kepada IC *Zero Crossing Detector* (ZCD). Pada IC ZCD ini sinyal kemudian berkembang menjadi gelombang kotak dengan pergeseran fasa 180° karena kita menggunakan masukan inverter. Tegangan ZCD besarnya +10 volt dari tegangan sumber +12 volt. Sinyal gelombang kotak kemudian digabungkan oleh integrator IC₂. IC₃ adalah penggeser level yang menggeser sinyal integrasi dan menghasilkan gelombang seperti yang ditunjukkan gambar 2.4 bagian C [2].



Gambar 2.4 Bentuk gelombang keluaran rangkaian pembangkit sinyal gerbang (Singh,1998)

Sinyal ini didapatkan saat sinyal c dibandingkan dengan variabel tegangan DC pada gambar 2.4 bagian D yang membantu komparator IC₄. Bentuk gelombang yang didapat terlihat seperti gambar 2.4 bagian E yang dibatasi oleh dioda zener, oleh karena itu sinyal cocok dengan TTL. Pulsa pada gambar 2.4 bagian F diumpangkan ke monostabil yang memberikan keluaran komplemen pada gambar 2.4 bagian G dan gambar 2.4 bagian H. Lebar pulsa gambar 2.4 bagian G dan gambar 2.4 bagian H diatur dengan jarak 10 mikrodetik. IC₆ memiliki dua gerbang input AND. IC₇ adalah IC *timer* yang menghasilkan “gelombang pembawa” (pulsa frekuensi tinggi dengan besarnya frekuensi mencapai 10 kHz), ditunjukkan gambar 2.4 bagian I. Lebar pulsa gambar 2.4 bagian G dan gambar 2.4 bagian H masing-masing di-AND-kan dengan frekuensi tinggi, karena itu didapatkan modulasi pulsa pada gambar 2.4 bagian G₁ dan gambar 2.4 bagian H₁.

Transistor T₁, T₂ bertindak sebagai *driver* penguat transformator pulsa TR₁, TR₂. Transformator TR₁, TR₂ tersebut akan *drive* rangkaian *gate*-katoda SCR. Pulsa yang didapatkan G₁ dan H₁ diumpangkan ke transistor saklar yang bertindak sebagai penguat. Dioda D₁ dan D₂ menyilang pada bagian primer transformator pulsa untuk melindungi transistor. Dioda D₄ dan D₆ pada *gate-circuit* melindungi SCR dari *voltage-reverse* yang kembali. Dioda D₃ dan D₅ mencegah aliran balik arus dari *gate* selama periode konduksi [2].

3. Mikrokontroler AT89S51

Mikrokontroler merupakan pengembangan dari mikroprosesor yang berupa suatu serpih IC dalam skala besar VLSI (*Very Large Scale IC*) yang diciptakan untuk menggantikan rangkaian digital diskrit. Ciri umum dari mikroprosesor dan mikrokontroler adalah *reprogrammable*, artinya fungsi dari mikroprosesor dan mikrokontroler dapat diubah-ubah dengan hanya mengganti programnya, tanpa merubah perangkat kerasnya. Secara umum mikroprosesor dan mikrokontroler memiliki kelebihan dibandingkan sistem diskrit antara lain:

- Dapat diprogram ulang untuk mendapatkan fungsi yang berbeda.
- Rangkaian lebih terintegrasi, lebih ringkas, sederhana dan tidak rumit.
- Fleksibel dalam pengembangannya.

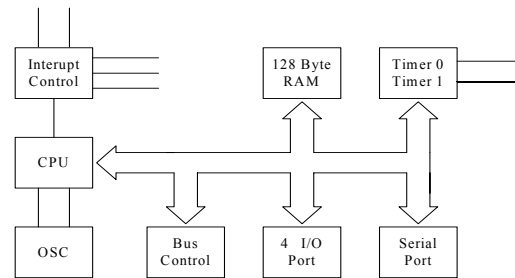
Mikrokontroler adalah pengembangan dari mikroprosesor untuk kepentingan instrumentasi yang terintegrasi dengan perangkat lain. Ciri-ciri khusus mikrokontroler adalah sebagai berikut:

- Memiliki memori internal relatif sedikit
- Memiliki unit I/O langsung
- Pemrosesan *bit*, selain *byte*
- Memiliki perintah atau program yang langsung berhubungan dengan I/O
- Perintah atau program cukup sederhana
- Beberapa varian memiliki EPROM (*erasable programmable read only memory*) (Malik, 1997).

Mikrokontroler MCS-51 merupakan sebuah serpih semikonduktor yang terintegrasi dan merupakan jenis mikrokontroler yang didalamnya dilengkapi dengan:

- Sebuah CPU (*Central Processing Unit*) 8 bit
- Osilator internal dan rangkaian pewaktu
- RAM internal 128 byte (*on serpih*)
- Empat buah *programmable port I/O*, masing-masing terdiri atas 8 buah jalur I/O
- Dua buah pewaktu/pencacah 16 bit
- Lima buah jalur interupsi (dua buah interupsi eksternal dan tiga buah interupsi internal)
- Satu buah gerbang serial dengan kontrol serial *full duplex UART*

- Kemampuan melakukan operasi perkalian, pembagian dan operasi *boolean*.

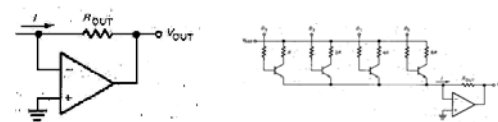


Gambar 2.5 Diagram bus mikrokontroler (Malik, 1997)

Gambar 2.5 merupakan diagram bus mikrokontroler, data dari CPU dikirim dan diterima dari RAM, *timer*, *port serial*, *port I/O*, *bus kontrol* melalui satu jalur penghubung. CPU juga terhubung dengan *osilator* dan fungsi interupsi yang terdiri dari dua buah interupsi eksternal dan tiga buah interupsi internal [3].

4. Konverter D/A

Konverter D/A (*Digital to Analog Converter*) adalah pengubah sinyal digital ke dalam tegangan analog. Dalam perantara kode digital ke sinyal analog sering menggunakan penguat (op-amp) seperti terlihat pada gambar 2.6



(a) Op-amp (b) Rangkaian dasar konverter D/A

Gambar 2.6 Rangkaian dasar konverter D/A (Malvino, 1996)

Gambar 2.6(a) memperlihatkan simbol op-amp. V_{out} adalah tegangan keluaran diukur terhadap tanah. Penguatan tegangan simpal terbuka dari op-amp, biasanya berharga lebih dari 100.000. Jika dirangkai sebagai inverter, masukan tidak membalik (masukan +) dari op-amp ditanahkan dengan tegangan sinyal akan diterima oleh masukan membalik (masukan -). Kita dapat mengaproksimasikan masukan membalik sebagai titik tanah semu karena penguatan dan impedansi masukannya tinggi, akibatnya seluruh tegangan masukan akan terdapat pada hambatan masukan, yang berarti

bahwa arus masukan besarnya sama dengan arus keluaran.

Rangkaian penjumlah op-amp digunakan untuk menyusun suatu konverter D/A dengan memakai sejumlah hambatan yang diberi bobot biner. Gambar 2.6(b) memberikan gambaran tentang hal tersebut. V_{ref} adalah tegangan acuan dan semua hambatan merupakan hambatan presisi untuk mendapatkan arus masukan yang teliti. Transistor di sini berfungsi sebagai saklar. Apabila suatu bit berharga tinggi, maka bit ini akan menghasilkan arus basis yang cukup besar untuk menjenuhkan transistor yang bersangkutan. Apabila bit dalam keadaan rendah, transistor menjadi terputus, dengan membuka dan menutup saklar yang berbeda-beda maka akan dihasilkan variasi arus yang berbeda-beda.

Jika rangkaian dasar konverter D/A dihubungkan dengan sumber digital (mikroprosesor dan sebagainya), maka bila ada masukan akan ditahan atau dikeluarkan, sehingga arus keluaran menjadi satu tingkat lebih tinggi dan ini akan berlangsung terus menerus sampai mencapai arus maksimum dan siklus akan berulang. Jika semua transistor identik membentuk anak tangga yang sama satu dengan lainnya disebut penambahan LSB.

Cara mengukur kualitas konverter D/A adalah dengan resolusinya yang menyatakan perbandingan antara penambahan LSB dan keluaran tegangan masukan yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\text{resolusi} = \frac{1}{2^n - 1} \quad (2.1)$$

dengan n adalah bit masukan

Ketelitian adalah seberapa dekat keluaran dari nilai sebenarnya. Ketelitian bergantung pada nilai tegangan referensi, toleransi resistor dan kecocokan transistor. Ketelitian ini biasanya dinyatakan sebagai kesalahan dalam penambahan LSB. Kesalahan 1 LSB artinya keluaran yang sebenarnya berbeda dari keluaran idealnya sebesar 1 LSB. Kesalahan suatu DAC harus lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ LSB.

Monotonisasi adalah keluaran yang terus bertambah bila masukan bertambah besar. Suatu DAC akan monoton bila mempunyai kesalahan lebih kecil atau sama dengan $\frac{1}{2}$ LSB.

Waktu pemantapan adalah waktu yang diperlukan untuk menghasilkan keluaran yang benar (biasanya dari nanodetik sampai mikrodetik). Nilai waktu pemantapan akan menentukan kecepatan dalam mengubah masukan digital.

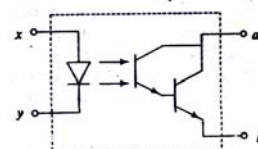
DAC 0808 merupakan salah satu contoh DAC yang banyak digunakan. DAC 0808 merupakan konverter D/A tangga R-2R 8-bit yang dilengkapi dengan sumber arus acuan dan delapan buah transistor saklar untuk mengarahkan arus biner. Suatu tegangan dan hambatan eksternal digunakan untuk mengatur arus acuan pada nilai yang lazim berlaku yaitu 2 mA. DAC 0808 mempunyai waktu pemantapan 150 ns dan ketelitian relatif $\pm \text{LSB}^{[4]}$.

5. Optocoupler

Pada situasi tertentu, logika dengan tegangan rendah dan arus rendah mengontrol tegangan tinggi. Umumnya tidak lazim untuk menghubungkan antara rangkaian *low power control* dengan rangkaian beban *high power* yang dikontrol. Alasannya adalah adanya *noise* dari *high power* yang mengganggu *low power control*. Alasan lainnya adalah mungkin saja tegangan tinggi dari beban terumpan balik ke komponen pengendali yang mengakibatkan kerusakan. Oleh karena itu diperlukan isolasi sekaligus penguatan dari rangkaian *low power control*^[2].

Optocoupler adalah alat yang dipakai untuk mengkopel cahaya dari suatu sumber ke detektor tanpa adanya perantara. Oleh karena itu piranti ini disebut juga *optoisolator*.

Sinyal listrik (arus) pada input diubah menjadi sinyal optik dengan menggunakan sumber cahaya (biasanya LED). Sinyal optik tersebut akan diterima oleh detektor untuk diubah kembali menjadi sinyal listrik. Bentuk dan diagram rangkaian *optocoupler* dapat dilihat dalam gambar 2.7^[5].



Gambar 2.7 *Optocoupler* (Singh,1998)

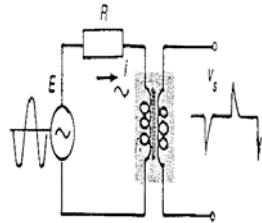
6. Transformator Pulsa

Transformator pulsa pada dasarnya adalah sebuah transformator dengan pasangan

sumber pulsa energi listrik ke beban yang bentuk dan sifatnya tidak berubah. Pulsa dari transformator ini dapat berulang maupun tidak berulang.

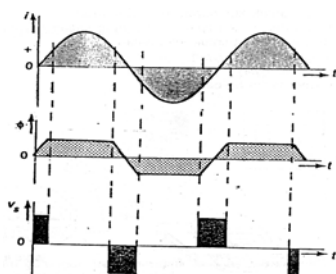
Transformator pulsa sering digunakan untuk pasangan generator pemicu pulsa dengan *thyristor*, biasanya untuk mendapatkan isolasi antara dua rangkaian. Transformator pulsa yang biasa digunakan adalah untuk mengontrol SCR adalah dua kumparan dengan perbandingan 1:1 dan tiga kumparan dengan perbandingan 1:1:1 Transformator pulsa yang digunakan pada penelitian ini adalah transformator pulsa kecil yang hanya dapat menghantarkan tegangan kecil pada lebar pulsa pada beberapa mikrodetik^[2].

Rangkaian dasar dari transformator pulsa ditunjukkan pada gambar 2.8. Sinyal masukan diberi lambang E, Resistor berfungsi sebagai pembentuk gelombang sinus dari arus I dan nilai resistor harus lebih kecil dari impedansi transformator.



Gambar 2.8 Rangkaian dasar transformator pulsa (Wasito,2001)

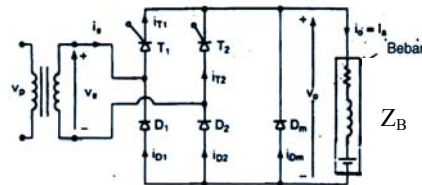
Inti transformator adalah material berlamel yang cepat jenuh, oleh karena itu bila arus primer mencapai suatu harga, maka medan magnet tidak akan naik lagi. Lilitan sekunder hanya akan terinduksi tegangan bila fluks magnetik berubah dan jika fluks magnetik tetap maka tegangan pada lilitan kedua akan berharga nol. Bentuk gelombang keluaran dari transformator pulsa ditunjukkan pada gambar 2.9^[6].



Gambar 2.9 Bentuk gelombang keluaran transformator pulsa (Wasito,2001)

7. Semikonverter Satu Fasa

Semikonverter satu fasa adalah penyearah terkontrol yang merupakan penggabungan antara penyearah terkontrol dan penyearah tak terkontrol. Penyearah ini juga disebut *half control rectifier* seperti terlihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Semikonverter satu fasa (Rashid,1999)

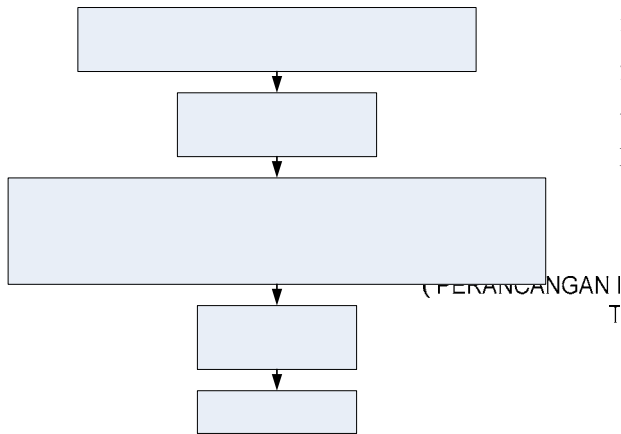
Jembatan semikonverter paling banyak digunakan karena alasan ekonomi Jembatan ini digunakan pada kondisi tertentu yang tidak memerlukan penyearah gelombang penuh terkendali. Hal ini akan menghemat biaya karena harga dioda yang lebih murah dari SCR.

Konfigurasi jembatan memerlukan jumlah elemen saklar dua kali dari konfigurasi *mid point* (hanya satu terminal yang menuju ke output DC). Jembatan ini terdiri dari *common katoda* (katoda SCR yang dihubungkan bersama) dan *common anoda* (anoda dioda yang dihubungkan bersama) terlihat pada gambar 2.10(a)

Pada konfigurasi jembatan, arus DC mengalir secara bersama melewati dua elemen pensaklaran; satu pada *common katoda* dan lainnya pada *common anoda*. Hal ini tidak menguntungkan dibanding konfigurasi *mid point*. Tetapi keuntungan lainnya dari konfigurasi ini adalah tidak memerlukan transformator, yang berarti penghematan bentuk dan ukurannya. Tetapi transformator mungkin masih diperlukan jika isolasi antara sisi AC dan DC dibutuhkan. Transformator ini digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC, yang berarti menyediakan tegangan AC yang berbeda-beda sesuai kebutuhan tegangan Dcnya^[7].

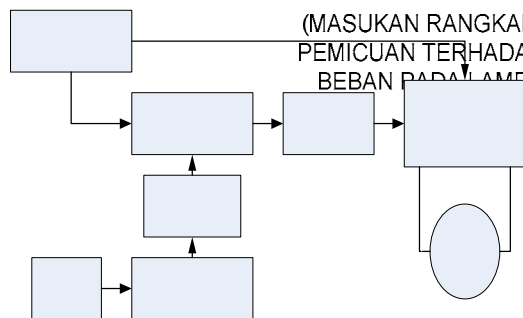
Metode Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dapat digambarkan dengan diagram alir pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Rancangan penyearah terkendali semikonverter satu fasa ditunjukkan dalam bentuk diagram blok seperti gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok diagram semikonverter satu fasa

Pada gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut: input biner diperoleh dari *dipswitch* yang masuk ke mikrokontroler AT89S51 kemudian diproses menjadi sinyal digital dan dianalogkan menjadi tegangan kontrol oleh konverter D/A. Tegangan kontrol ini kemudian disinkronkan dengan fasa dari sumber tegangan AC oleh rangkaian pengontrol fasa IC TCA 785. Keluaran IC 785 berupa pulsa pemicuan/penyalan yang dapat digeser dari 0°-180° yang kemudian mendapat isolasi dari rangkaian *firing*.

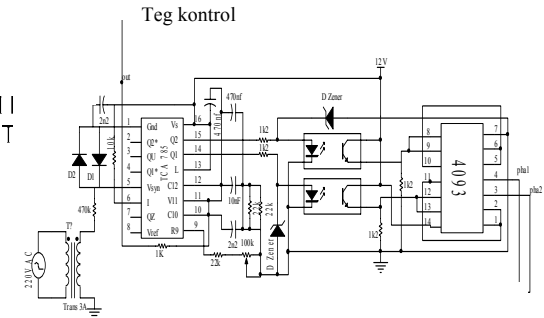
Rangkaian semikonverter mendapat satu fasa dari sumber tegangan AC dan pulsa pemicuan dari rangkaian *firing*. Keluaran dari semikonverter satu fasa ini berupa tegangan DC terkendali.

SUMBER TEGANGAN AC

1 Rangkaian Pengatur Fasa Modul IC TCA 785

Rangkaian pengatur fasa pada penelitian ini menggunakan IC TCA 785,

isolasi optik menggunakan *optocoupler* dan gerbang NAND menggunakan IC 4093. TCA 785 adalah modul IC yang di dalamnya sudah terintegrasi *Zero Crossing Detector* (ZCD) dan penggeser pulsa dari 0° sampai 180°.



Gambar 3.3 Rangkaian pengatur fasa modul IC 785

Sumber tegangan masukan IC TCA 12 volt dan bekerja pada frekuensi antara 10 Hz hingga 500 Hz. Rangkaian terhadap sudut pemicuan terhadap arus beban pada beban (lampu dan motor) dan motor sudut pemicuan terhadap arus beban pada beban (lampu dan motor) tegangan sumber yang dihubungkan dengan kaki nomor 5 melalui resistor hambatan tinggi. ZCD akan menentukan letak titik nol dan disimpan dalam memori sinkron. Detektor ini kemudian akan mengendalikan generator gelombang gigi gergaji yang sesuai dengan frekuensi sumber tegangan. Kapasitor C₁₀ dan resistor R₉ akan menentukan kemiringan dan bentuk gelombang gergaji yang dihasilkan. Nilai kapasitansi kapasitor antara 500 pF sampai 1 μF dan R₉ dapat diperoleh dari resistor dengan resistansi antara 3 kΩ sampai 100 kΩ. Bila tegangan referensi pada kaki 11 pada posisi terendah, maka sudut penyulutan akan menunjukkan α = 0° sehingga untuk mengatur sudut pemicuan dapat dilakukan dengan menggeser V₁₁ (kontrol tegangan) dengan $\alpha = 180^\circ \times \frac{V_{kontrol}}{V_{st}}$, V_{Kontrol}

adalah tegangan dari mikrokontroler (V₁₁) dan V_{st} merupakan V₁₀ biasanya bernilai 10 Volt.

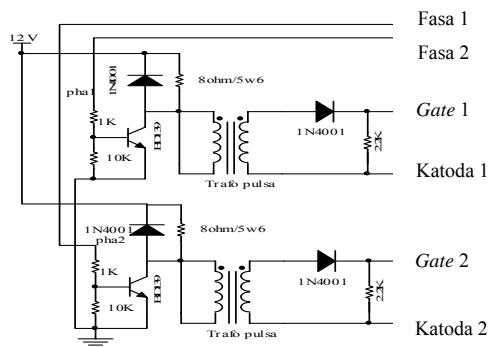
Pada TCA 785, jika V_{ramp}, V₁₀ melebihi tegangan kontrol V₁₁, maka sebuah sinyal diproses dalam logika. Proses ini dapat dilakukan berdasarkan besarnya tegangan kontrol V₁₁ sehingga didapatkan sudut α dari 0° sampai 180°. Keluaran dari IC ini adalah pada kaki 14 (positif) dan 15 (negatif).

Keluaran dari TCA 785 masih sangat kecil, untuk itu perlu dilakukan isolasi. RANGKAIAN PENGONTROL FASA MODUL IC TCA 785 RANGKAIAN FIRING SEMIKONVERTER SATU FASA

sekaligus penguatan untuk melindungi IC TCA dengan optokopler dengan dioda zener sebagai pembatas. Pulsa keluaran dari TCA 785 diubah menjadi sinyal optik pada satu sisi optokopler kemudian diterima oleh detektor menjadi sinyal listrik kembali dan dikuatkan kembali melalui resistor. Pulsa keluaran dari optokopler di-NAND-kan dua kali baik pulsa positif maupun negatif menggunakan IC 4093. IC 4093 adalah pelipat tegangan. Besar pulsa keluaran dari IC 4093 adalah empat kali lebih besar karena di-NAND-kan dua kali.

2 Rangkaian Firing

Isolasi kedua dan pemicuan langsung pada SCR dilakukan oleh rangkaian *firing* yang mendapat masukan dari rangkaian pengatur fasa modul IC TCA 785. Rangkaian tersebut terdiri dari *buffer*, transistor BD 139 dan transformator pulsa seperti ditunjukkan gambar 3.4



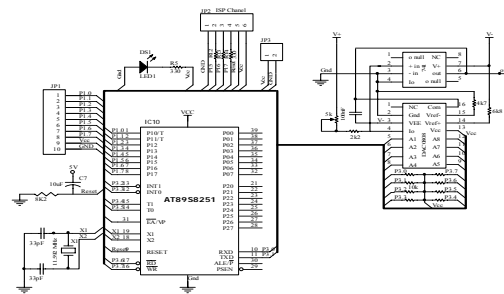
Gambar 3.4 Rangkaian *firing*

Pada gambar 3.4 pulsa dari rangkaian pengontrol fasa dengan tegangan yang mencukupi, dengan fasa positif (0° - 180°) dan fasa negatif (180° - 360°) diberikan masing-masing ke basis transistor BD 139 melalui resistor $1K\Omega$. Transistor akan saturasi dan tegangan DC V_{cc} akan terlihat sepanjang lilitan primer transformator, yang memberikan tegangan pulsa pada lilitan sekunder transformator kemudian diberikan ke *gate* dan katoda SCR melalui dioda dan resistor. Ketika sinyal gerbang dihilangkan dari basis BD 139, transistor akan *turn-off* dan tegangan dengan polaritas terbalik akan menginduksi lilitan primer transformator dan membuat dioda D_m tersambung. Arus karena energi magnetik transformator akan menghilang melalui D_m ke nol. Selama masa transien itu, tegangan balik

terjadi pada lilitan sekunder. Transformator mengalirkan arus tak berarah sehingga inti magnetik akan saturasi dan membatasi lebar pulsa.

3 Rangkaian Pengontrol Tegangan

Pada TCA 785, jika V_{ramp} , V_{10} melebihi tegangan kontrol V_{11} , maka sebuah sinyal diproses dalam logika. Proses ini dapat dilakukan berdasarkan besar tegangan kontrol V_{11} sehingga didapatkan sudut α dari 0° sampai 180° . Pin ini dihubungkan dengan mikrokontroler dan DAC yang berfungsi sebagai pengatur batasan tegangan seperti gambar 3.5 berikut:



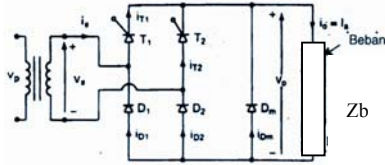
Gambar 3.5 Rangkaian pengontrol tegangan

Pada gambar 3.5 di atas, *dipswitch* berfungsi masukan biner ke mikrokontroler yang dihubungkan dengan port 1. Program dalam mikro hanya membaca masukan dari port 1 untuk kemudian dimasukkan dalam akumulator dan dikeluarkan dalam port 3. Keluaran dari mikrokontroler, port 3 yang masih berupa bobot biner masuk dalam bit data DAC, kaki 5 sampai kaki 12, kaki 2 dari DAC 0808 ditanahkan dan kapasitor kompensasi sebesar 100 nF dipasang di antara kaki 16 dan kaki 3. Catu tegangan $+12\text{ volt}$ menetapkan arus acuan bagi rangkaian tangga. Potensiometer trimer memungkinkan kita untuk menetapkan arus acuan pada harga tertentu. Resistor $4K7$ dan resistor $6K8$ mengkompensasi tegangan pergeseran (*drift*) dalam tahapan masukan konverter. I_{out} menggerakkan masukan membalik dari sebuah op-amp, oleh karenanya tegangan keluaran dapat berkisar antara 0 sampai 12 volt.

4 Rangkaian Semikonverter Satu Fasa

Rangkaian semikonverter satu fasa adalah penyearah berupa konfigurasi *bridge* yang terdiri dari dua dioda dan dua SCR dan

dioda *freewheeling* seperti gambar 3.6 di bawah ini.



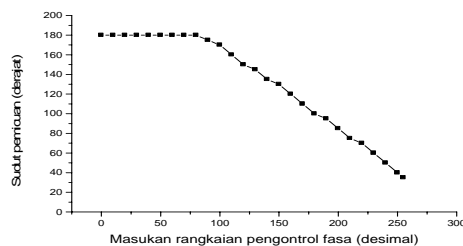
Gambar 3.6 Rangkaian semikonverter satu fasa

Rangkaian semikonverter satu fasa diperlihatkan pada gambar 3.6. Selama setengah siklus positif yaitu 0° - 180° , T_1 terbias maju. Ketika SCR T_1 dipicu α° , beban dihubungkan dengan suplai masukan melalui T_1 dan dioda D_2 selama periode α° - 180° . Selama periode 180° - 360° , tegangan masukan negatif dan diode *freewheeling* D_m terbias maju. D_m akan tersambung dan memberikan arus yang kontinyu pada beban. Arus beban akan ditransfer dari T_1 dan D_2 ke D_m , dan SCR T_1 dan dioda D_2 dimatikan. Selama setengah siklus negatif tegangan masukan, SCR T_2 terbias maju dan menyalakan SCR pada $180^\circ + \alpha^\circ$ akan mengakibatkan D_m terbias mundur. Dioda D_m dimatikan dan beban dihubungkan ke suplai melalui T_2 dan D_1 .

Hasil dan Pembahasan

1. Pengujian Hubungan Masukan Rangkaian Pengontrol Tegangan Terhadap Sudut Pemicuan

Pengujian rangkaian pengontrol fasa bertujuan untuk mengetahui besarnya sudut pemicuan/penyalakan SCR yang mengendalikan rangkaian semikonverter satu fasa. Apabila diambil data hubungan antara masukan dari rangkaian pengontrol tegangan terhadap sudut pemicuan/penyalakan dari rangkaian pengontrol fasa dengan interval masukan dari *dipswitch* 10, didapatkan hasil seperti pada gambar 4.1.

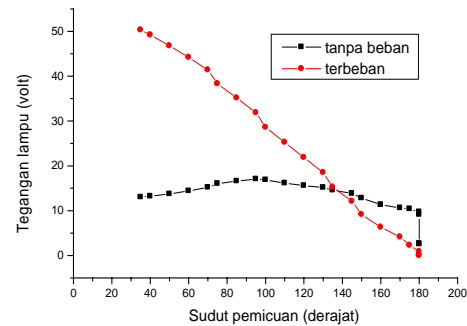


Gambar 4.1 Grafik hubungan penambahan masukan rangkaian pengontrol tegangan terhadap sudut pemicuan rangkaian pengontrol fasa

Gambar 4.1 di atas menunjukkan bahwa sudut pemicuan berbanding terbalik dengan penambahan masukan *dipswitch* rangkaian pengontrol tegangan. Saat diberi masukan *dipswitch* 0 – 80, sudut pemicuan masih berada pada fasa 180° yang tidak tampak di layar osiloskop. Ketika diberi masukan *dipswitch* 90, sudut pemicuannya sebesar 175° dan menurun sampai diberi masukan senilai 255 (masukan penuh) sebesar 35° .

2. Hasil Pengujian dengan Beban Lampu

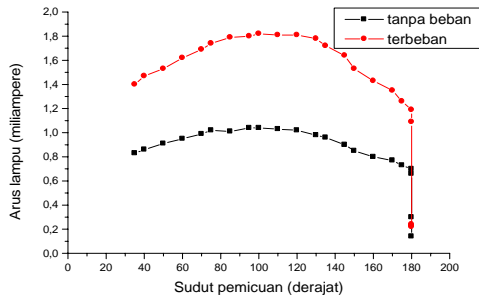
Pada pengujian dengan beban lampu 25 watt, sumber yang digunakan adalah 60 volt dan didapatkan hasil seperti gambar 4.2 dan 4.3 di bawah:



Gambar 4.2 Grafik pengaruh penambahan sudut pemicuan terhadap tegangan beban lampu

Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh penambahan sudut pemicuan terhadap tegangan lampu pada kondisi terbeban dan tegangan tanpa beban. Pada kondisi tanpa beban, grafik tegangan hampir menyerupai grafik sinusoida, saat diberi sudut pemicuan terendah sebesar 35° , tegangan naik secara bertahap dan mencapai nilai tertinggi pada sudut pemicuan 90° (beban puncak) dan menurun secara bertahap pada sudut pemicuan 100° sampai 180° .

Pada kondisi terbeban, tegangan turun secara bertahap dari sudut pemicuan 35° dan sampai sudut pemicuan 180° seperti ditunjukkan gambar 4.2. Hal ini sesuai dengan karakteristik SCR secara umum, bahwa jika diberi sudut pemicuan kecil, maka tegangan yang dilalukan akan besar dan sebaliknya.



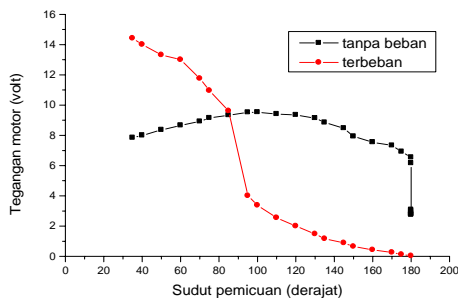
Gambar 4.3 Grafik penambahan sudut pemucuan terhadap arus beban lampu

Pengukuran arus keluaran dari rangkaian semikonverter satu fasa pada kondisi terbeban dan kondisi tanpa beban ditunjukkan pada gambar 4.3. Baik kondisi terbeban maupun kondisi tanpa beban, grafik arus menyerupai grafik sinusoida. Nilai tertinggi diperoleh saat sudut pemucuan 90°.

Arus pada saat terbeban menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi tanpa beban. Hal ini dikarenakan beban akan menyerap arus saat dihubungkan dengan rangkaian semikonverter satu fasa. Grafik arus berbentuk grafik sinusoida dikarenakan pada saat dihubungkan awal, kebutuhan arus akan meningkat dan ketika sudah mencapai beban puncak, kebutuhan arus beban menurun kembali.

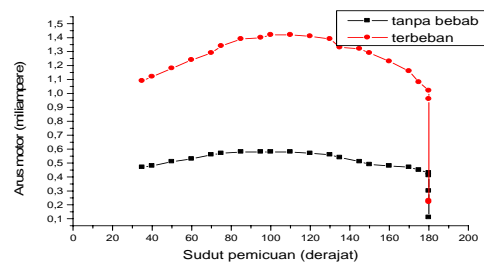
3. Hasil Pengujian dengan Beban Motor

Pada pengujian beban motor, motor yang dipakai adalah motor DC. Kecepatan putaran dari motor DC bergantung pada tegangan masukan yang diberikan. Semakin besar tegangan yang diberikan, semakin besar pula kecepatan yang dihasilkan. Sumber tegangan masukan yang dipakai adalah tegangan AC 18 volt dan memberikan hasil seperti pada gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 di bawah:



Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan sudut pemucuan terhadap tegangan beban motor

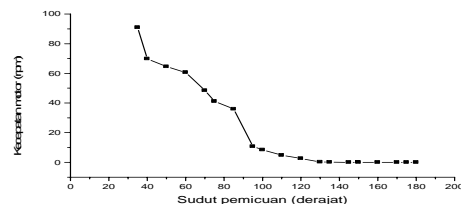
Seperti pada pengujian lampu, grafik tegangan motor pada kondisi tebeban dan kondisi tanpa beban memperlihatkan hasil yang berbeda seperti ditunjukkan gambar 4.4. Pada kondisi tanpa beban, grafik tegangan hampir menyerupai grafik sinusoida dan pada kondisi terbeban, tegangan turun secara bertahap dari sudut pemucuan minimal (35°) sampai sudut pemucuan maksimal (180°). Hal ini sesuai dengan dengan karakteristik SCR secara umum, bahwa jika diberi sudut pemucuan kecil, maka tegangan yang dilalukan akan besar dan sebaliknya.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh penambahan sudut pemucuan terhadap arus beban motor

Hasil pengukuran arus keluaran dari rangkaian semikonverter satu fasa dengan beban motor pada kondisi terbeban dan kondisi tanpa beban ditunjukkan pada gambar 4.5. Baik kondisi terbeban maupun kondisi tanpa beban, grafik arus menyerupai grafik sinusoida dan nilai tertinggi diperoleh saat sudut pemucuan 90°.

Arus pada saat terbeban menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi tanpa beban. Hal ini dikarenakan beban akan menyerap arus saat dihubungkan dengan rangkaian semikonverter satu fasa. Grafik arus berbentuk grafik sinusoida dikarenakan pada saat dihubungkan awal, kebutuhan arus akan meningkat dan ketika sudah mencapai beban puncak, kebutuhan arus beban menurun kembali.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh penambahan sudut pemucuan terhadap kecepatan motor

Karakteristik dari motor DC adalah kecepatan motor sebanding dengan tegangan yang masuk ke motor. Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa kecepatan motor menurun sesuai tegangan yang diberikan seperti pada grafik tegangan terbeban terhadap sudut fasa (gambar 4.4).

Secara umum dapat dijelaskan bahwa arus keluaran dari semikonverter saat kondisi tanpa beban baik pada lampu dan motor relatif sama. Pada saat semikonverter satu fasa dihubungkan dengan beban, arus akan naik karena beban menyerap arus. Arus yang diserap tergantung dari karakteristik beban. Arus maksimal terjadi pada sudut pemucuan 90° yang kemudian akan mengalami penurunan kembali, tetapi tegangan terbeban akan terus turun sampai pemberian sudut pemucuan maksimal.

Semikonverter daya didasarkan pada pensaklaran yang menghasilkan harmonisa tegangan dan arus. Harmonisa tegangan dan arus menyebabkan terjadinya distorsi tegangan input, pembangkitan harmonisa pada suplay, faktor total harmonik distorsi, faktor pergeseran dan faktor daya masukan yang semuanya mempengaruhi ukuran dan kualitas bentuk gelombang. Untuk itu diperlukan strategi kontrol pada pembangkitan harmonisa dan distorsi bentuk gelombang.

Harmonisa arus beban bergantung pada induktansi beban dan faktor daya masukan bergantung pada faktor daya beban. Dua hal tersebut mempengaruhi tegangan keluaran, kriteria dan unjuk kerja konverter. Penurunan tegangan terjadi karena induktansi sumber sama dengan rangkaian semikonverter. Begitu pula saat sudut pemucuan diubah, sudut komutasi juga berubah dan kadang terjadi *overlapping* sehingga waktu komutasi menjadi lebih kecil dan tegangan menjadi turun.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Telah terealisasi semikonverter satu fasa menggunakan variasi tegangan dengan sudut pemucuan SCR 35° sampai 180°
2. Pada pengujian semikonverter satu fasa menggunakan beban lampu dan beban motor disimpulkan bahwa arus dan tegangan tanpa beban menyerupai grafik

sinusoida, sementara tegangan terbeban meningkat berbanding terbalik terhadap sudut pemucuan.

3. Pergeseran fasa dapat mengakibatkan perubahan kecepatan motor DC dari 99.9 rpm sampai 0 rpm.

Daftar Pustaka

- [1] Rashid, Muhammad, 1999. *Elektronika Daya, Rangkaian, Devais dan Aplikasinya Jilid 1*. Jakarta: Penerbit PT Prehallindo
- [2] Singh, M.D. 1998 *Power Electronics*, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited
- [3] Malik, MI dan Anistardi, 1997. *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8031*, Jakarta: Penerbit Elek Media Komputindo
- [4] Malvino, Albert Paul. 1996. *Elektronika Komputer Digital, Pengantar Mikrokomputer* edisi kedua, Jakarta: Penerbit Erlangga
- [5] www.fairchild-semiconductor.com/an/an-3001.pdf
- [6] Wasito S. 2001. *Vademekum Elektronika* Edisi Kedua, Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama
- [7] www.electronics.dit.ie/staff/ypanarin/lecture%20notes/k235-1/3%20line%20converter.pdf