

## APLIKASI KARAKTERISTIK PENYEARAH SATU FASE TERKENDALI PULSE WIDTH MODULATION (PWM) PADA BEBAN RESISTIF

Yuli Asmi Rahman\*

### Abstract

*Rectifier is device to convert alternating voltage to direct voltage. The application of the rectifier use in industry widely as Uninterruptible Power Supply (UPS), constan voltage regulator, motor speed driver, power factor correction. One phase controlled rectifier using Pulse Width Modulation (PWM) is one kind of rectifier that controlled output voltage with power factor correction. The experiment hold in two case variable, there are constant load with variable input voltage and variable load with constant input voltage. Both of experiments show that one phase controlled rectifier using Pulse Width Modulation (PWM) keep the source and ouput voltage to be constant effectively although variaty load.*

**Key words :** *controlled, Rectifier, Pulse Width Modulation*

### Abstrak

Penyearah adalah alat untuk mengubah tegangan bolak balik menjadi tegangan searah. Penerapan penggunaan rectifier dalam industri secara luas sebagai Uninterruptible Power Supply (UPS), pengaturan tegangan konstan, penggerak kecepatan motor, perbaikan faktor daya. Satu phasa terkendali penyearah menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM) adalah salah satu jenis penyearah yang tegangan keluaran yang dikendalikan dengan perbaikan faktor daya. Eksperimen dilakukan dalam dua kasus variable yaitu, pada beban konstan dengan tegangan input variatif dan variabel beban dengan tegangan masukan konstan.

Kedua penelitian menunjukkan bahwa satu phasa terkendali penyearah menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM) menjaga tegangan sumber dan ouput akan konstan efektif meskipun beban variatif.

**Kata Kunci :** pengendalian, penyearah, PWM

### 1. Pendahuluan

Teknologi di bidang industri adalah salah satu ilmu pengetahuan yang kian berkembang sesuai dengan peradaban manusia baik dalam aplikasi bidang kelistrikan maupun bidang lain yang terkait didalamnya. Untuk bidang industri sendiri untuk saat sekarang ini sangat membutuhkan teknologi yang dapat bekerja secara otomatis dalam setiap pengontrolan peralatan.

Salah satu jenis peralatan yang sangat diperlukan pada industri yaitu penyearah yang berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Penyearah itu sendiri dapat diaplikasikan secara luas untuk berbagai hal seperti : *Uninterruptible Power Supply* (UPS), pengaturan tegangan konstan, penggerak kecepatan motor, dan perbaikan faktor daya.

---

\* Staf Pengajar pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

Aplikasi-aplikasi penyearah tersebut saat ini telah banyak digunakan pada berbagai jenis industri. Akan tetapi masih terdapat beberapa kekurangan dari penyearah tersebut yaitu : proses pengontrolannya masih bersifat manual, yaitu menggunakan sistem kalang terbuka yang tidak menggunakan sistem umpan balik yang dapat mengontrol tegangan output dari penyearah secara otomatis, mempunyai tingkat efisiensi yang rendah karena tidak dapat memperbaiki faktor daya, serta belum teruji keefektifan penyearah tersebut untuk kondisi beban yang berbeda.

Berdasarkan dari latar belakang yang telah disebutkan sebelumnya, maka pada penelitian ini untuk membuat penyearah yang konsisten tegangan outputnya secara otomatis untuk beban resistif baik yang berifat tetap maupun variatif dengan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan pensaklaran MOSFET.

## 2. Tinjauan Pustaka

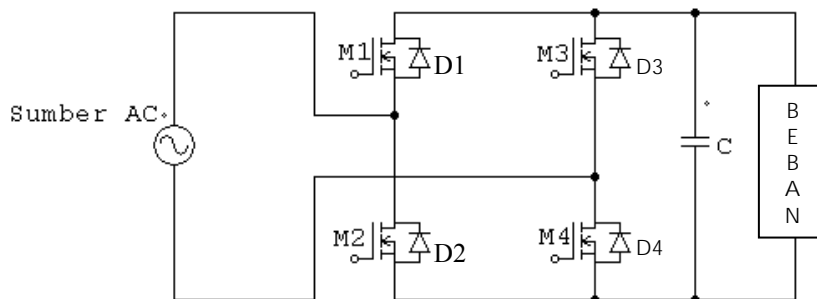
### 2.1 Penyearah terkendali

Penyearah adalah suatu alat yang terdiri dari saklar-saklar daya yang disusun sedemikian rupa sehingga

dapat merubah energi listrik tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi energi listrik tegangan arus searah (DC). Pada umumnya untuk mengendalikan penyearah sehingga menjadi penyearah terkendali dapat digunakan teknik Pulse Width modulation (PWM). Dengan menggunakan teknik PWM maka waktu menghantar dan waktu padam dari saklar daya yang digunakan dapat dikontrol untuk menentukan besarnya tegangan keluaran penyearah.

Penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh terdiri dari empat buah saklar daya yang kesemuanya dikendalikan sudut penyalaannya, dimana pada masing-masing lengan dari penyearah terdapat dua buah saklar daya. Gambar rangkaian daya dari penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh dapat dilihat pada gambar 1.

Pada rangkaian ini terdapat induktor pada sisi tegangan masukan yang berfungsi untuk menstabilkan arus AC yang akan disearahkan. Pada sisi keluaran dari penyearah terdapat kapasitor penyimpan energi yang berfungsi sebagai penyaring tegangan keluaran.



Gambar 1. Rangkaian daya penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh

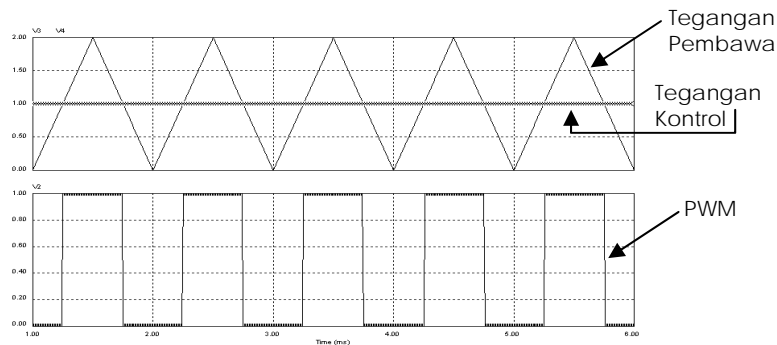
## 2.2 Pulse Width Modulation ( PWM )

Teknik penyalan PWM digunakan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh penyearah terkendali. Teknik PWM dapat dibangkitkan dengan cara membandingkan tegangan kontrol yang berupa tegangan DC dengan tegangan gelombang segitiga pada komparator, seperti terlihat pada gambar 2.

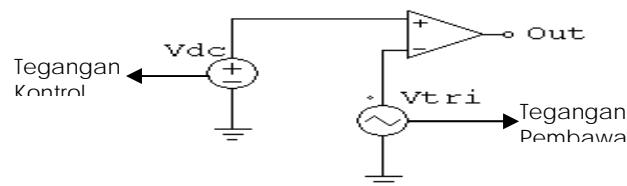
Dengan menggunakan teknik PWM ini, maka tegangan keluaran penyearah terkendali dapat diatur sesuai dengan kebutuhan pada beban, dan dengan menggunakan sistem umpan balik, maka tegangan keluaran penyearah terkendali akan diatur secara otomatis oleh rangkaian kontrol.

## 2.3 Driver MOSFET

Untuk rangkaian daya penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh, dapat digunakan komponen daya sesuai dengan karakteristik pengontrolan serta kebutuhan daya yang digunakan. Ada beberapa komponen daya yang dapat digunakan seperti transistor, Thyristor, MOSFET dan IGBT. MOSFET sebagai komponen daya yang merupakan komponen yang dikendalikan oleh tegangan dan memerlukan arus masukan yang kecil. Kecepatan switching sangat tinggi dan waktu switching memiliki orde nanodetik.

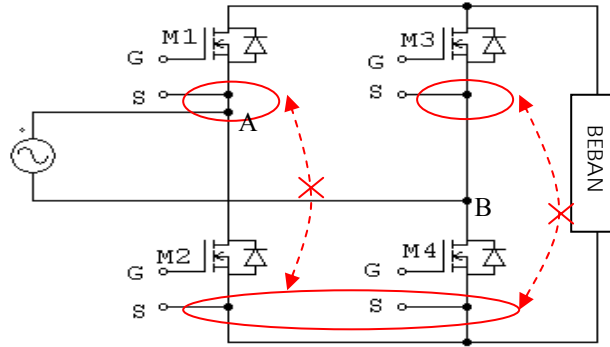


(a). Bentuk gelombang PWM

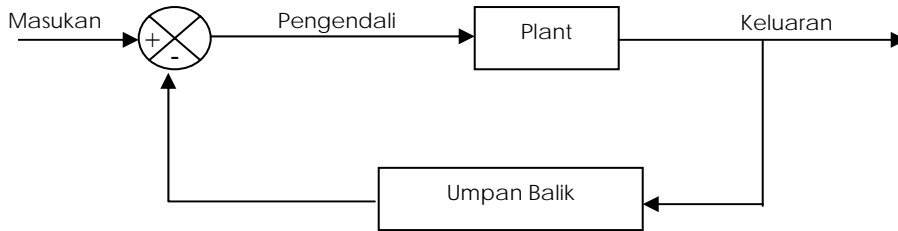


(b). Pembangkit PWM

Gambar 2. Pulse width modulation (PWM)



Gambar 3 Rangkaian daya satu lengan



Gambar 4. Sistem pengaturan kalang tertutup

MOSFET mempunyai satu rangkaian driver untuk mengatur pensaklaran MOSFET melalui kaki *gate* dari tiap-tiap MOSFET. Konfigurasi rangkaian daya penyearah dan penyambungan rangkaian driver yang harus dihindari diperlihatkan pada gambar 3.

Untuk menyalakan MOSFET agar menghantar, diperlukan tegangan  $V_{GS}$  yang besarnya lebih besar atau sama dengan tegangan *threshold* (tegangan minimum yang dibutuhkan MOSFET untuk menghantar) dari MOSFET.

#### 2.4 Sistem Pengaturan Kalang Tertutup

Sistem Kontrol atau sistem Pengaturan adalah susunan komponen-komponen fisik yang dihubungkan

sedemikian rupa sehingga memerintah, mengarahkan dan mengatur diri sendiri atau sistem lain. Atau juga dapat dikatakan suatu sistem kontrol adalah hubungan timbal balik antara komponen-komponen yang membentuk suatu konfigurasi sistem yang memberikan suatu hasil yang dikehendaki.

Sistem pengaturan kalang tertutup adalah suatu sistem pengaturan yang sinyal keluarannya terukur secara kontinu dan akan dibandingkan dengan input referensi sehingga akan mempengaruhi aksi pengontrolan. Jadi sistem pengaturan kalang tertutup adalah suatu sistem kontrol yang menggunakan umpan balik (*feed back*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

### 3. Eksperimen

Dalam pelaksanaan penelitian, digunakan metode dengan langkah-langkah perancangan dan simulasi rangkaian penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh menggunakan sistem kendali lup tertutup, pembuatan rangkaian daya, pengujian rangkaian percobaan, pengambilan data, dan analisis data. Perancangan dan simulasi rangkaian penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh dengan menggunakan umpan balik dilakukan dengan simulasi sistem secara keseluruhan dengan menggunakan perangkat lunak PSIM® dan Electronic Workbench® untuk mengetahui kinerja dari rangkaian yang telah dirancang.

Secara garis besar, pengujian rangkaian dilakukan dengan dua tahap yaitu:

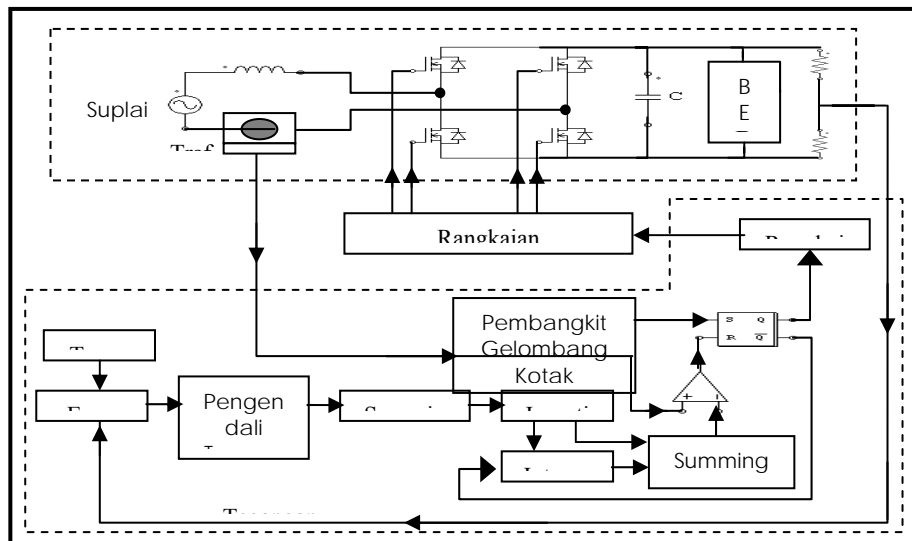
- Pengujian rangkaian kendali
- Pengujian rangkaian daya

Pengujian rangkaian penyearah dilakukan dengan mengukur parameter-parameter input maupun output dari rangkaian yang dimaksudkan untuk melihat kinerja keseluruhan dari rangkaian. pengujian rangkaian penyearah dilakukan pada beban resistif. Pengujian dilakukan dengan dua kondisi yaitu :

- Tegangan input penyearah bervariasi, beban resistif tetap
- Tegangan input penyearah tetap, beban resistif bervariasi

Adapun spesifikasi dari penyearah yang telah dirancang dan dibuat adalah sebagai berikut :

- Tegangan keluaran ( $V_o$ ) = 25 Volt DC
- Tegangan masukan ( $V_s$ ) = 15 - 20 Vrms
- Frekuensi jala-jala ( $F_{line}$ ) = 50 Hz
- Frekuensi penyaklaran = 15 kHz
- Induktansi Induktor (L) = 5 mH
- Kapasitansi Kapasitor (C) = 4700 $\mu$ F
- Saklar daya = MOSFET IRFP460



Gambar 5. blok diagram rangkaian penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh

Gambar 5 di atas memperlihatkan blok diagram dari rangkaian penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh dengan menggunakan teknik kendali satu siklus dan sistem kendali lup tertutup dengan umpan balik. Dapat dilihat bahwa ada tiga blok rangkaian utama yaitu blok rangkaian kendali, blok rangkaian driver MOSFET, dan blok rangkaian daya. Rangkaian daya merupakan rangkaian pensaklaran yang menggunakan MOSFET sebagai saklarnya.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian rangkaian penyearah terkendali dengan menggunakan beban tahanan untuk kondisi tegangan input penyearah bervariasi, beban tetap

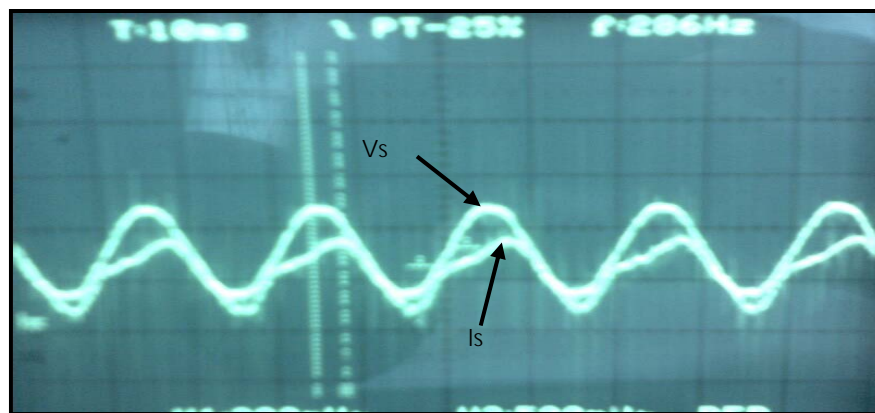
Pada kondisi ini beban ditetapkan konstan yaitu  $R_{load} = 55 \Omega$ , dan tegangan masukan divariasikan antara 15 Vrms s/d 20 Vrms. Data hasil percobaan yang diperoleh menunjukkan bahwa tegangan output penyearah tetap konstan pada nilai 25 Volt dan  $\cos \phi$  juga selalu mendekati nilai satu. Hasil keseluruhan dari percobaan ditunjukkan pada tabel 1.

Bentuk gelombang tegangan dan arus input untuk masing-masing nilai tegangan input dapat dilihat gambar 6, gambar 7 dan gambar 8.

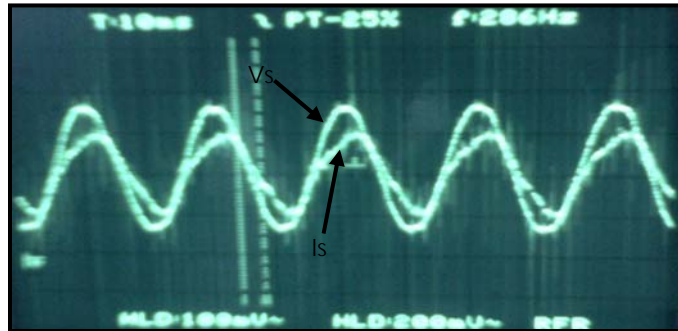
Dari data hasil percobaan diatas terlihat bahwa nilai tegangan output rata-rata selalu konstan pada nilai 25 Volt, demikian juga nilai arus output yang tetap berada pada nilai 0,45 Ampere meskipun nilai tegangan input diubah-ubah dari 15 Vrms s/d 20 Vrms.

Tabel 1. Data hasil percobaan untuk kondisi beban ( $I_o$ ) konstan, Tegangan input ( $V_s$ ) bervariasi.

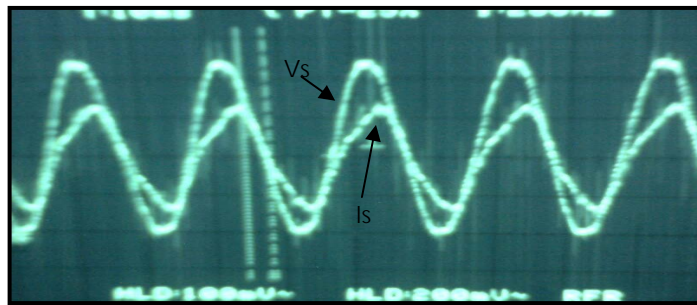
No.	$V_s$ (Volt)	$I_s$ (Ampere)	$V_o$ (Volt)	$I_o$ (Ampere)	$\cos \phi$
1	15	4,5	25	0,45	0,98
2	17	5,2	25	0,45	0,97
3	20	5,7	25	0,45	0,97



Gambar 6. Bentuk gelombang tegangan dan arus input untuk beban konstan untuk  $V_s = 15$  Vrms



Gambar 7. Bentuk gelombang tegangan dan arus input untuk beban konstan untuk  $V_s = 17$  Vrms



Gambar 8. Bentuk gelombang tegangan dan arus input untuk beban konstan untuk  $V_s = 20$  Vrms

Dari data hasil percobaan diatas terlihat bahwa nilai tegangan output rata-rata selalu konstan pada nilai 25 Volt, demikian juga nilai arus output yang tetap berada pada nilai 0,45 Ampere meskipun nilai tegangan input diubah-ubah dari 15 Vrms s/d 20 Vrms. Juga dapat dilihat bahwa nilai faktor daya yang dihasilkan selalu berada diatas nilai 0,97 yang berarti faktor daya selalu mendekati satu. Hal ini dapat terjadi karena adanya umpan balik ke rangkaian kontrol dari tegangan output dan kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan referensi. Demikian juga dengan arus input yang diumpan balikkan untuk dibandingkan pada arus referensi pada komparator. Pada data hasil percobaan diatas tegangan output hanya ditetapkan

pada nilai 25 Volt karena kemampuan arus maksimal dari power suplai AC yang digunakan yaitu hanya sebesar 3 Ampere.

Dari bentuk gelombang arus input ( $I_s$ ) terlihat selalu sinusoidal dan mengikuti bentuk gelombang tegangan input ( $V_s$ ) dengan pergeseran fasa hampir nol yang berarti faktor daya selalu mendekati satu. Adapun cacat kecil yang terjadi pada bentuk gelombang arus ini disebabkan oleh frekuensi penyaklaran yang sangat tinggi pada MOSFET yaitu 15 kHz, dan juga bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti : karakteristik MOSFET, komponen-komponen rangkaian kontrol, sistem pentanahan (*grounding*) pada rangkaian yang kurang bagus dan sambungan-sambungan

komponen serta jalur rangkaian yang tercetak pada PCB yang tidak terlalu bagus karena proses pengerjaannya masih dilakukan secara manual.

4.2 Pengujian rangkaian penyearah terkendali dengan menggunakan beban tahanan untuk kondisi tegangan input tetap, beban bervariasi

Pada kondisi ini nilai tegangan input ditetapkan konstan pada 16 Vrms karena nilai ini adalah nilai nominal yang didapatkan dari percobaan tegangan bervariasi dan beban konstan, dan beban divariasikan dari  $I_o = 0,4$  Ampere s/d 0,8 Ampere. Data hasil percobaan yang diperoleh menunjukkan bahwa tegangan output penyearah tetap konstan pada nilai 25 Volt dan arus input selalu berbentuk sinusoidal dengan faktor daya selalu mendekati nilai satu. Hasil keseluruhan dari percobaan ditunjukkan pada tabel 2.

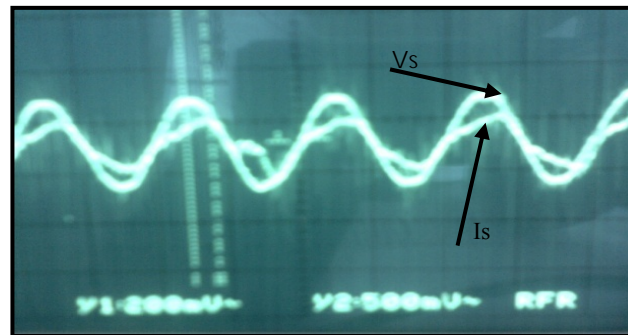
Bentuk gelombang tegangan dan arus input untuk masing-masing nilai arus output terlihat pada gambar 9, gambar 10 dan gambar 11.

Dari data hasil percobaan terlampir terlihat bahwa tegangan rata-rata keluaran penyearah dapat dipertahankan konstan pada nilai 25 Volt pada nilai tegangan dan arus input yaitu masing-masing 16 Volt dan 3,5 Ampere meskipun nilai beban berubah-ubah.

Dan juga dapat dilihat bahwa nilai faktor daya selalu berada di atas nilai 0,97 yang berarti faktor daya selalu mendekati satu. Hal ini membuktikan bahwa teknik umpan balik yang digunakan pada tugas akhir ini sangat efektif untuk mempertahankan tegangan output dan perbaikan faktor daya dalam batasan tertentu. Faktor daya yang arus input juga selalu berada di atas nilai 0,97 atau bisa dikatakan hampir sefasa dengan tegangan input.

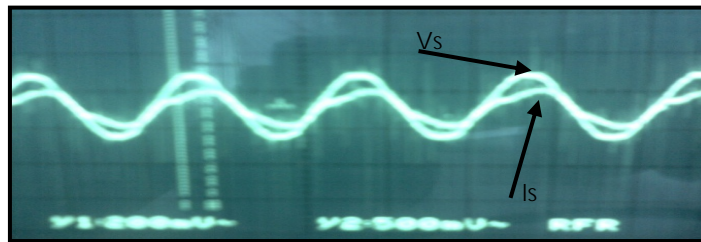
Tabel 2. Data hasil percobaan untuk kondisi beban ( $I_o$ ) bervariasi, tegangan input ( $V_s$ ) konstan.

No.	$V_s$ (Volt)	$I_s$ (Ampere)	$V_o$ (Volt)	$I_o$ (Ampere)	$\cos \phi$
1	16	4,9	25	0,4	0,99
2	16	4,9	25	0,6	0,98
3	16	4,9	25	0,8	0,97

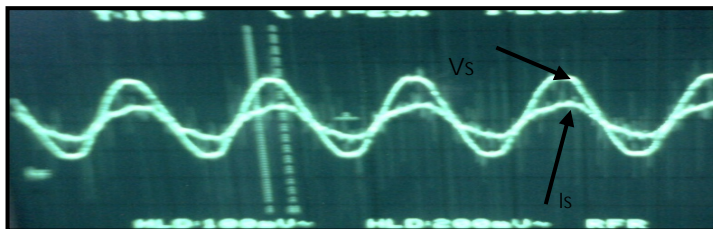


Gambar 9. Bentuk Gelombang tegangan dan arus input untuk beban variatif untuk  $I_o = 0,4$  Ampere





Gambar 10. Bentuk Gelombang tegangan dan arus input untuk beban variatif untuk  $I_o = 0,6$  Ampere



Gambar 11. Bentuk Gelombang tegangan dan arus input untuk beban variatif untuk  $I_o = 0,8$  Ampere

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan dari analisa data hasil percobaan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

- Penyearah terkendali yang telah dibuat telah berhasil direalisasikan untuk mengendalikan tegangan output, arus output serta arus input dari penyearah satu fasa jembatan penuh penaik tegangan, sehingga kita dapat menentukan berapa nilai tegangan dan arus output yang kita inginkan.
- Dengan menggunakan penyearah terkendali ini, bentuk gelombang sinusoidal dari arus input selalu sefasa dan mendekati bentuk gelombang sinusoidal dari tegangan input sehingga faktor daya dapat diperbaiki. Dan dengan sistem kontrol kalang tertutup yang digunakan, maka tegangan output dapat dipertahankan konstan meskipun tegangan input dan beban resistif bervariasi dalam batasan tertentu

#### 5. Daftar Pustaka

- Fitzgerald, A.E., D.E. Higginbothan dan A. Gabel, 1985, Dasar-dasar elektronika, Jakarta
- Malvino, A.P., 1992, Prinsip-prinsip elektronika, Jilid 1, Jakarta , Erlangga
- Malvino, A.P., 1992, Prinsip-prinsip elektronika, Jilid 2, Jakarta , Erlangga
- Ogata, K., 1986, Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1
- Petruzella, F.D., 2002, Elektronika Industri, Alih Bahasa : Sumanto, Yogyakarta, Andi Offset
- Warsito, 1986, Elektronika dalam industri, Karya Utama, Jakarta
- Zuhail, 2000, Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika daya, Jakarta, Gramedia, Pustaka Utama