# Rancang Bangun Modul Penyulutan Penyearah Semi Terkendali Berbasis *Pulse Amplitude Modulation*

**Alfi Muhammad Fathan[1], Nanang Mulyono[2], Dwi Septiyanto[3]**

*[1,2,3] Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*
*[1]E-mail : alfi.muhammad.tlis21@polban.ac.id*
*[2]E-mail : nanang.mulyono@polban.ac.id*
*[3]E-mail : dwi.septianto@polban.ac.id*

**ABSTRAK**

Sumber DC telah menjadi hal yang vital dalam berbagai perangkat elektronik modern. *Rectifier* (Penyearah) digunakan untuk mengubah sumber AC menjadi sumber DC. Salah satu topologi dari penyearah, yaitu penyearah semi terkendali yang menggunakan SCR, yang memungkinkan pengaturan output tegangan dan arus. Dalam aplikasi tegangan tinggi DC, proteksi terhadap lonjakan tegangan dan arus sangat penting untuk mencegah kerusakan pada komponen penyearah dan sistem yang terhubung. Transformator pulsa merupakan salah satu perangkat yang digunakan untuk mengisolasi sistem penyearah semi terkendali, namun biasanya bekerja pada frekuensi tinggi. Ada berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya yaitu PAM (*Pulse Amplitude Modulation*). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghasilkan suatu modul penyulutan penyearah semi terkendali, dengan sudut penyalaan pulsanya dari 0° hingga 180°. Selain itu, untuk menyesuaikan frekuensi pulsa penyulut dengan transformator pulsa yang digunakan, maka pulsa yang dihasilkan akan termodulasi amplitudonya melalui *switching* PAM. Hasil yang didapat yaitu suatu modul penyulutan *rectifier* berbasis PAM yang dapat diatur sudut penyalaanya 0 º hingga 180º dengan nilai amplitudo sebelum modulasi 10,04 V, frekuensi 100 Hz dan error sebesar 0,04%. Pada proses modulasi amplitudo menghasilkan pulsa penyulutan dengan frekuensi 1,021 kHz dengan error sebesar 0,04% dan nilai amplitudo 4,8 V.

**Kata Kunci**
*Pulse Amplitude Modulation*, Penyearah Semi Terkendali, Amplitudo, Frekuensi.

***ABSTRACT***

*DC sources have become vital in many modern electronic devices. Rectifiers are used to convert AC sources into DC sources. One of the topologies of rectifiers, namely semi-controlled rectifiers that use SCRs, allows regulation of voltage and current output. In DC high-voltage applications, protection against voltage and current surges is essential to prevent damage to rectifier components and connected systems. Pulse transformers are one of the devices used to isolate semi-controlled rectifier systems, but they usually work at high frequencies. There are various methods that can be used to overcome this, one of which is PAM (Pulse Amplitude Modulation). The purpose of this research is to produce a semi-controlled rectifier ignition module, with a pulse ignition angle of 0° to 180°. In addition, to adjust the frequency of the ignition pulse with the pulse transformer used, the resulting pulse will be amplitude modulated through PAM switching. The results obtained are a PAM-based rectifier ignition module that can be adjusted from 0º to 180º with an amplitude value before modulation of 10.04 V, a frequency of 100 Hz and an error of 0.04%. The amplitude modulation process produces an ignition pulse with a frequency of 1.021 kHz with an error of 0.04% and an amplitude value of 4.8 V.*

***Keywords***
*Pulse Amplitude Modulation, Semi-controlled Rectifier, Amplitude, Frequency.*

## 1. PENDAHULUAN

Arus searah (DC) telah menjadi sumber yang vital dalam berbagai perangkat elektronik modern seperti peralatan industri, telekomunikasi dan peralatan rumah tangga. *Rectifier* (Penyearah) merupakan suatu rangkaian elektronik yang

mengubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah [1]. Salah satu topologi dari penyearah yaitu, penyearah semi terkendali. Penyearah jenis ini menggunakan komponen seperti thyristor (SCR) yang dapat dikendalikan sebagian, memungkinkan pengaturan output tegangan dan arus [2]-[3].

Dalam aplikasi tegangan tinggi DC, proteksi terhadap lonjakan tegangan dan arus sangat penting untuk mencegah kerusakan pada komponen penyearah dan sistem yang terhubung. Sistem proteksi yang efektif diperlukan untuk memastikan operasi yang aman dan andal. Transformator pulsa adalah salah satu solusi proteksi yang digunakan untuk melindungi penyearah semi terkendali dari lonjakan tegangan dan arus. Transformator pulsa bekerja dengan mengisolasi dan mentransfer energi dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya, tantangan utama dalam menggunakan trafo pulsa yaitu, biasanya bekerja pada frekuensi tinggi [4].

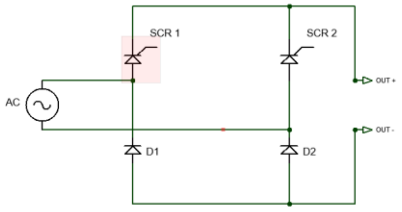
Metode Pulse Amplitude Modulation (PAM) dapat digunakan untuk mengoptimalkan kinerja trafo pulsa frekuensi tinggi. PAM merupakan teknik modulasi dengan cara mengubah serangkaian pulsa dengan lebar dan posisi yang tetap oleh suatu sinyal pembawa, sehingga keluaran pulsa PAM ini akan memiliki posisi yang tidak ubah, namun frekuensinya menyesuaikan dengan frekuensi dari sinyal pembawa [5].

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghasilkan suatu modul penyulutan penyearah semi terkendali. Komponen yang ingin dipicu adalah SCR, maka dibutuhkan modul penyulutan yang mampu diatur sudut penyalaanya 0° hingga 180° agar outputnya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, untuk menyesuaikan frekuensi pulsa penyulut dengan transformator pulsa yang digunakan, maka pulsa yang dihasilkan akan termodulasi amplitudonya melalui *switching* PAM. Untuk menghasilkan modul penyulutan tersebut digunakan suatu modul penyulutan dengan metode elektronika analog khusus.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Penyearah Semi Terkendali

Penyearah semi terkendali adalah perangkat elektronik yang mengubah sumber AC menjadi sumber DC, terdiri dari dua diode dan dua thyristor, kemudian thyristor tersebut dikontrol menggunakan rangkaian trigger untuk mendapatkan tegangan output yang berubah ubah dengan menggunakan komponen kendali seperti SCR. Perangkat ini memungkinkan kontrol yang lebih baik atas tegangan keluaran DC dibandingkan dengan penyearah tak terkendali yang hanya menggunakan dioda.

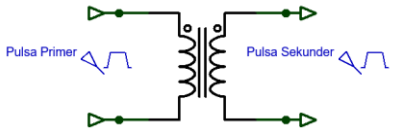



Gambar 1. Konfigurasi Penyearah Semi Terkendali

Ketika sinyal AC masuk ke rangkaian, pada setiap siklus positifnya, SCR (jika digunakan) akan tetap dalam keadaan tidak menghantarkan (off) sampai menerima impuls pada pintu (*gate*) yang cukup untuk mengaktifkannya. Pada saat itu, SCR akan menghantarkan arus ke beban, menciptakan aliran arus searah. Kontrol atas saat di mana pintu SCR diaktifkan mengatur durasi atau siklus penghantar, yang kemudian mempengaruhi tegangan rata-rata yang dihasilkan pada keluaran penyearah[6]-[7].

### 2.2 Transformator Pulsa

Transformator pulsa adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mentransfer sinyal pulsa listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain dengan isolasi listrik antara kedua rangkaian tersebut. Transformator pulsa bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.




Gambar 2. Transformator Pulsa

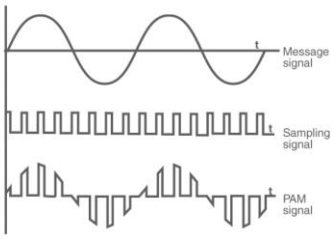
Pada transformator pulsa, bentuk sinyal yang diinduksikan adalah dalam bentuk pulsa, sehingga desainnya dioptimalkan untuk menangani sinyal dengan perubahan yang sangat cepat dan tajam. Transformator pulsa diterapkan pada pasangan generator pemicu pulsa dengan SCR, biasanya untuk mendapatkan isolasi antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya. Transformator pulsa bekerja pada frekuensi yang tinggi dalam menyalurkan pulsa pulsa yang berguna menuju ke beban [8].

### 2.3 *Pulse Amplitude Modulation*

*Pulse Amplitude Modulation* (PAM) adalah salah satu teknik modulasi di mana amplitudo dari serangkaian pulsa diubah sesuai dengan amplitudo sinyal yang ingin dikirim. PAM adalah teknik dasar yang digunakan dalam berbagai aplikasi komunikasi dan pengolahan sinyal.

Proses modulasi amplitudo dimulai dengan pengambilan sampel-sampel dari sinyal analog pada interval waktu yang teratur. Tiap sampel mewakili amplitudo sinyal pada saat pengambilan

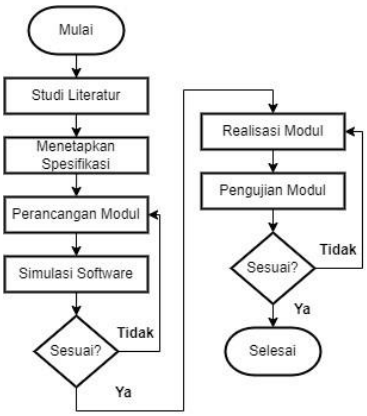
sampel dilakukan. Setelah pengambilan sampel, amplitudo dari masing-masing sampel dikuantisasi, menghasilkan nilai-nilai diskrit yang dapat direpresentasikan secara digital. Amplitudo dari sampel-sampel yang telah dikuantisasi digunakan untuk mengontrol amplitudo pulsa-pulsa pembawa. Prinsip dasar modulasi ini jika amplitudo sampel tinggi, pulsa pembawa yang dihasilkan akan memiliki amplitudo tinggi dan sebaliknya. Sinyal pembawa yang dihasilkan biasanya berupa sinyal pulsa dengan lebar dan posisi yang tetap, kemudian digunakan untuk membawa pulsa-pulsa amplitudo yang dihasilkan [5]-[9]-[10].




Gambar 3. Sinyal PAM

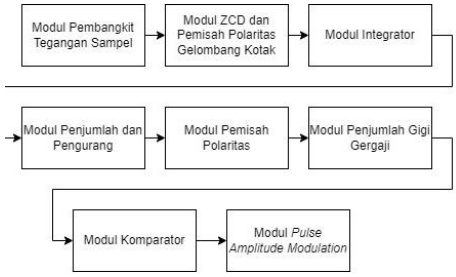
Gambar 3 menunjukan tampilan sinyal input modulasi yang kemudian akan dimodulasi dengan sinyal pembawa sehingga menghasilkan sinyal PAM.

## 3. METODE PENELITIAN




Gambar 4. Diagram Alir

Pada diagram alir dapat diuraikan proses pada penelitian ini dimulai dari pencarian jurnal-jurnal sebagai acuan dalam perancangan alat. Perancangan dilakukan dengan perhitungan dan pemilihan komponen. Untuk meminimalisir kesalahan pada saat perancangan maka dilakukan simulasi menggunakan software Proteus sehingga dapat dilakukannya integrasi perangkat keras. Pengujian dari perangkat keras dilakukan untuk dapat menyimpulkan bahwa alat yang dibuat sudah sesuai atau tidak. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghasilkan alat yang memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Proses perancangan dan realisasi ini dibagi menjadi beberapa tahap berdasarkan submodul pada alat.

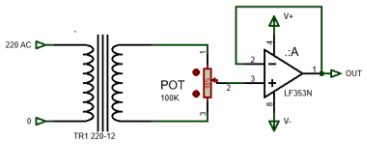



Gambar 5. Diagram Blok Modul Penyulutan Penyearah Semi Terkendali Berbasis PAM

Berdasarkan diagram blok pada gambar 5, dapat dijelaskan prinsip kerja dari proses pengolahan sinyal PAM. Sinyal sinusoidal dibangkitkan melalui modul pembangkit tegangan sampel. Setelah sinyal sinusoidal dibangkitkan, dilakukan deteksi titik nol melalui modul ZCD sehingga bentuk gelombang keluarannya menjadi berbentuk kotak, lalu masuk ke rangkaian pemisah polaritas agar menghasilkan sinyal gelombang kotak unipolar. Sinyal gelombang kotak bipolar akan masuk ke modul integrator untuk membangkitkan gelombang segitiga, lalu gelombang segitiga yang dihasilkan digabungkan dengan kotak unipolar melalui modul penjumlah dan pengurang. Selanjutnya, sinyal yang dihasilkan akan dipisahkan polaritas siklus positif dan negatifnya melalui modul pemisah polaritas, lalu masuk ke modul penjumlah agar dapat membangkitkan sinyal yang berbentuk gigi gergaji. Pada modul komparator sinyal gergaji akan dibandingkan dengan tegangan kontrol +7 VDC, tujuannya agar dapat menghasilkan pulsa yang dapat diatur *duty cycle* dari pulsa tersebut. Pulsa yang dihasilkan akan dimodulasi amplitudonya dengan sebuah sinyal pembawa kotak dengan frekuensi kerja di 1 kHz, modulasi amplitudo ini bertujuan agar pulsa yang dihasilkan dapat cocok dengan trafo pulsa yang berfungsi sebagai proteksi sistem, lalu sinyal PAM yang dihasilkan akan digunakan untuk mengendalikan gate SCR pada sistem penyearah semi terkendali.

### 3.1 Modul Pembangkit Tegangan Sampel

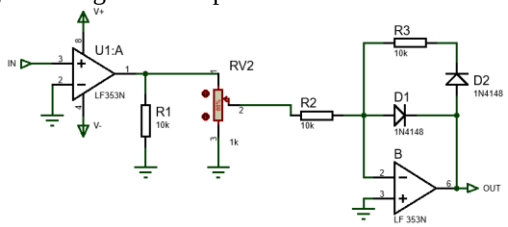
Modul ini diharapkan dapat menghasilkan suatu sinyal sinusoidal dengan frekuensi 50 Hz yang berguna sebagai sinyal sampel dengan tegangan 12 Vpp, lalu masuk ke rangkaian penurun tegangan yang diharapkan dapat mengatur tegangan sesuai yang diinginkan, diharapkan bisa menurunkan menjadi 6 Vpp.




Gambar 6. Rangkaian Modul Pembangkit Tegangan Sampel

### 3.2 Modul *Zero Crossing Detector* dan Pemisah Polaritas Gelombang Kotak

Pada modul *zero crossing detector* (ZCD), input modul ini berupa gelombang sinus yang akan di deteksi titik nol dari gelombang sinus tersebut. ZCD pada penelitian ini akan menghasilkan gelombang kotak yang sudah sinkron dengan tegangan sampel, lalu selanjutnya masuk kedalam rangkaian pemisah polaritas agar didapatkan suatu gelombang kotak unipolar.

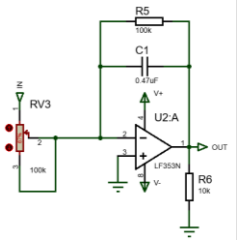



Gambar 7. Rangkaian Modul ZCD dan Pemisah Polaritas Gelombang Kotak

Modul ini diharapkan dapat mendeteksi titik nol dari suatu gelombang sinus dengan frekuensi 50 Hz dan amplitudo 20 Vpp .

### 3.3 Modul Integrator

Input dari modul ini yaitu sinyal gelombang kotak ZCD, modul ini akan membangkitkan gelombang segitiga.

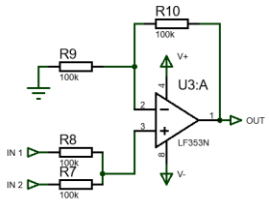



Gambar 8. Rangkaian Modul Integrator

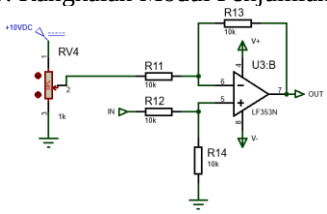
Modul ini diharapkan dapat menghasilkan suatu gelombang segitiga sebagai output keluarannya dengan amplitudo 7 Vpp dan frekuensi di 50Hz.

### 3.4 Modul Penjumlah dan Pengurang

Modul ini menggabungkan hasil keluaran dari gelombang segitiga dan gelombang kotak, sehingga output dari modul ini akan menghasilkan dua gelombang yang digabung, selanjutnya output dari penjumlah akan memasuki rangkaian pengurang.




Gambar 9. Rangkaian Modul Penjumlah

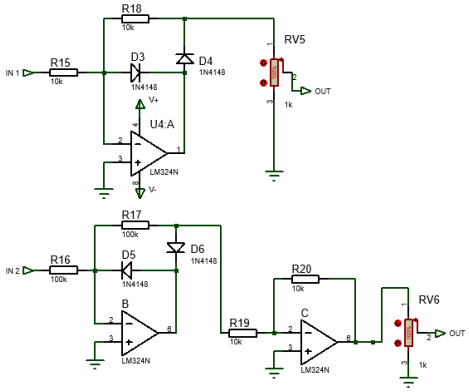



Gambar 10. Rangkaian Modul Pengurang

Modul penjumlah menggunakan input berupa gelombang segitiga dan kotak, diharapkan dapat mengahsilkan gabungan antar dua masukan. Selanjutnya memasuki modul pengurang menggunakan input berupa keluaran dari modul penjumlah, diharapkan dapat menghasilkan keluaran dengan amplitudo 14 Vpp dan frekuensi di 50 Hz.

### 3.5 Modul Pemisah Polaritas

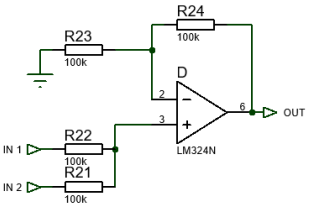
Modul pemisah polaritas ini berfungsi untuk membedakan polaritas dari keluaran modul pengurang yang diharapkan memisahkan gelombang polaritas positif dan negatif nya saja berguna sebagai input pada modul penjumlah gigi gergaji.




Gambar 11. Rangkaian Modul Pemisah Polaritas

### 3.6 Modul Penjumlah Gigi Gergaji

Modul penjumlah gigi gergaji menggunakan suatu rangkaian penjumlah yang dimana input dari modul ini merupakan hasil dari gelombang segitiga yang sudah dipisahkan polaritas nya sehingga output keluaran dari modul ini berupa gelombang gigi gergaji yang selanjutnya akan berguna sebagai sinyal referensi.

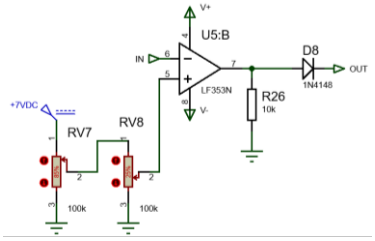



Gambar 12. Rangkaian Modul Penjumlah Gigi Gergaji

Modul ini diharapkan dapat menghasilkan output keluaran berupa sinyal referensi gelombang gigi gergaji dengan amplitudo 7 Vpp dan frekuensi kerja di 100 Hz.

### 3.7 Modul Komparator

Modul komparator ini menggunakan input gelombang ramp gigi gergaji lalu dibandingkan dengan tegangan kontrol sebesar +7 VDC, sehingga sinyal keluaran modul komparator yaitu gelombang kotak atau sinyal pulsa yang dapat diatur lebar pulsa nya tergantung dari pengaturan penyalaan dari tegangan kontrol yang dilakukan.

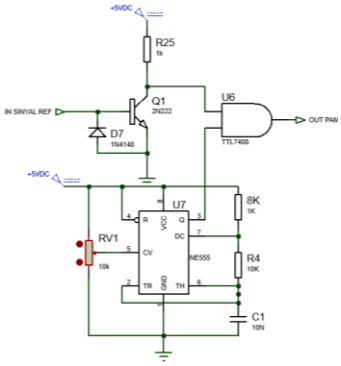



Gambar 13. Rangkaian Modul Komparator

Modul komparator diharapkan dapat menghasilkan output keluaran berupa pulsa yang dapat diatur lebar pulsa nya tergantung dari pengaturan penyalaan sudut fasa nya, diharapkan dapat diatur dari 0º - 180º, dengan nilai amplitudo 10 Vpp dan frekuensi kerja di 100 Hz.

### 3.8 Modul *Pulse Amplitude Modulation*

Sebelum memasuki modul PAM, terlebih dahulu pulsa yang dihasilkan dari modul komparator akan memasuki pada proses pemisahan polaritas agar pulsa yang dihasilkan dari komparator yang mulanya bipolar diubah menjadi unipolar, sehingga sinyal yang diambil hanya siklus posisif nya saja. Kemudian pulsa tersebut akan masuk pada rangkaian penurun tegangan agar sesuai dengan tegangan kerja IC TTL 7408 yang berfungsi sebagai gerbang AND, lalu dilakukan modulasi amplitudo pulsa dengan gelombang kotak sebagai sinyal pembawa dengan frekuensi di 1 kHz. Langkah ini dilakukan oleh IC TTL 7408 sebagai gerbang logika AND.

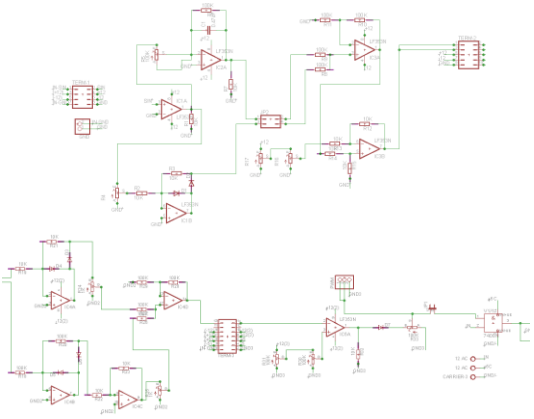



Gambar 14. Rangkaian Modul *Pulse Amplitude Modulation*

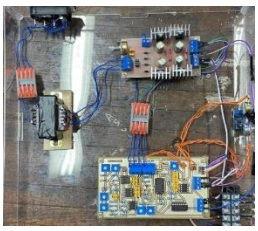
Modul ini diharapkan dapat memodulasi amplitudo dari pulsa yang dihasilkan, keluaran pulsa penyulutan dengan frekuensi 1 kHz dan amplitudo 5 Vpp.

### 3.9 Realisasi Modul Penyulutan Penyearah Semi Terkendali Berbasis *Pulse Amplitude Modulation*

Berikut merupakan hasil realisasi dari perencanaan serta perancangan yang telah diuraikan, dalam modul ini terdapat beberapa modul seperti, modul ZCD, modul integrator, modul penjumlah dan pengurang, modul pemisah polaritas, modul komparator dan modul PAM.



(a)



(b)

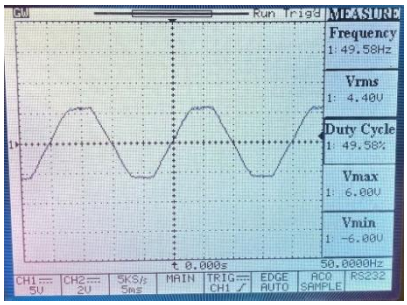
Gambar 15. a) Integrasi Rangkaian Keseluruhan Modul,
b) Realisasi Perangkat Keras

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini bertujuan untuk membahas hasil penelitian secara lengkap, hasil pengujian setiap modul dan hasil keseluruhan modul yang telah dibuat. Pengujian modul ini dilakukan dengan memeriksa gelombang output pada masing-masing modul melalui *oscilloscope*.

### 4.1 Hasil Pengujian Modul Pembangkit Tegangan Sampel

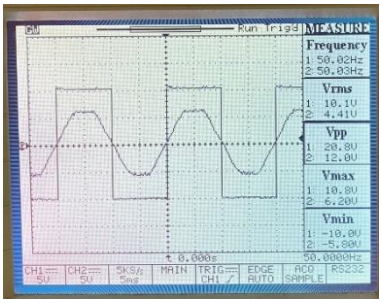
Hasil output dari modul tegangan sampel dan penurun tegangan menghasilkan gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50Hz dan nilai puncak ke puncaknya yaitu 6 Vpp.




Gambar 16. Output Modul Pembangkit Tegangan Sampel

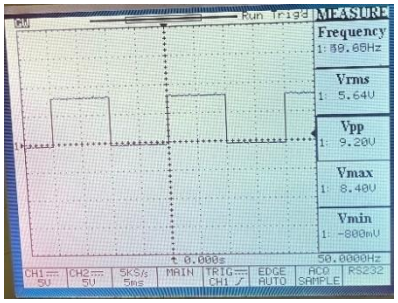
### 4.2 Hasil Pengujian Modul *Zero Crossing Detector* dan Pemisah Polaritas Gelombang Kotak

Input dari modul ini yaitu dari modul pembangkit tegangan sampel dengan bentuk gelombang sinusoidal.




Gambar 17. Output Modul *ZCD*

Gambar 17 menunjukan hasil output dari modul *ZCD*. Amplitudo 20,8 Vp-p dan frekuensi di 50 Hz.

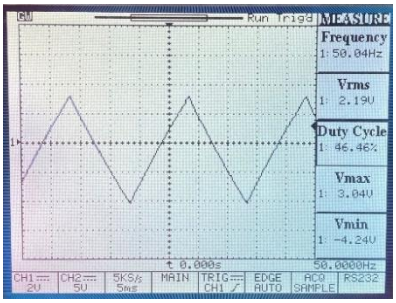



Gambar 18. Output Modul Pemisah Polaritas Kotak

Gambar 18 menunjukan hasil output dari modul pemisah polaritas kotak. Nilai vmax yang dihasilkan 8,40 V dengan frekuensi di 50 Hz. Dapat diamati juga bahwa gelombang kotak yang awalnya bipolar berubah menjadi unipolar karena melewati proses pemisahan polaritas siklus negatif.

### 4.3 Hasil Pengujian Modul Integrator

Input dari modul ini yaitu dari modul ZCD dengan bentuk gelombang kotak bipolar.

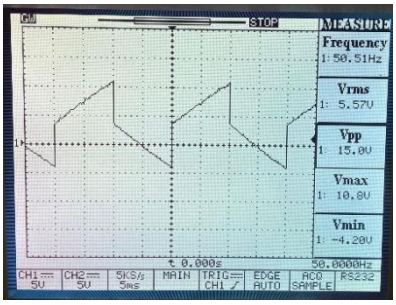



Gambar 19. Output Modul Integrator

Gambar 19 menunjukan hasil output dari modul integrator, hasil dari modul ini berbentuk gelombang segitiga yang bipolar dengan frekuensi kerja di 50 Hz dan amplitudo 7,28 Vpp.

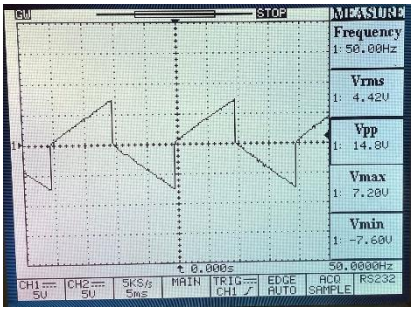
### 4.4 Hasil Pengujian Modul Penjumlah dan Pengurang

Input dari modul ini dari modul integrator dengan bentuk gelombang segitiga dan modul pemisah polaritas kotak dengan bentuk gelombang kotak unipolar.




Gambar 20. Output Modul Penjumlah

Gambar 20 menunjukan hasil output dari modul penjumlah. hasil dari modul ini berbentuk gabungan dari gelombang segitiga yang bipolar serta gelombang kotak unipolar. Menghasilkan tegangan keluaran 10,8 Vmax, tegangan keluaran -4,20 Vmin dan amplitudo 15 Vpp dengan frekuensi kerja di 50 Hz.

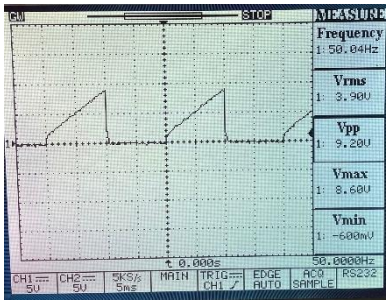



Gambar 21. Output Modul Pengurang

Gambar 21 menunjukan hasil output dari modul pengurang. Input dari modul ini dari modul penjumlah. Hasil dari modul ini berfungsi dengan baik dalam mengatur titik nol pada gelombang, sehingga dapat diatur menjadi unipolar maupun bipolar. Mengahsilkan tegangan keluaran 7,20 Vmax, tegangan keluaran -7,60 Vmin dan amplitudo 14,8 Vpp dengan frekuensi kerja di 50 Hz.

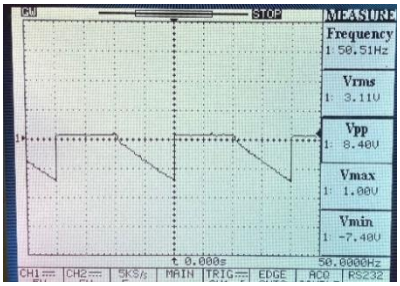
**4.5 Hasil Pengujian Modul Pemisah Polaritas**

Input modul ini dari modul pengurang dengan bentuk gelombang hasil gabungan gelombang segitiga dan gelombang kotak unipolar.



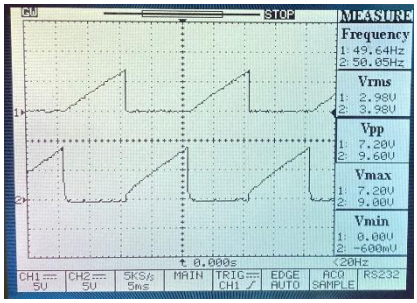

Gambar 22. Output Pemisah Polaritas Negatif

Gambar 22 menunjukan hasil output dari modul pemisah polaritas pada siklus negatif dengan nilai 8,60 Vmax dan frekuensi di 50 Hz.




Gambar 23. Output Pemisah Polaritas Positif

Gambar 23 menunjukan hasil output dari modul pemisah polaritas pada siklus positif dengan nilai -7,40 Vmin dan frekuensi di 50 Hz.

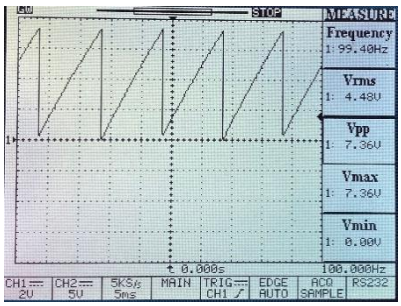



Gambar 24. Output Rangkaian *Inverting*

Pada gambar 24 dapat dilihat bahwa chanel 1 *oscilosscope* menunjukan hasil output dari rangkaian *inverting* yang telah berfungsi dengan baik, dengan membalikan polaritas gelombang hasil dari pemisah siklus negatif agar bisa menjadi positif dan pada gambar 24 juga menunjukan bahwa hasil dari output nya menghasilkan gelombang yang berbeda 180°.

**4.6 Hasil Pengujian Modul Penjumlah Gigi Gergaji**

Input modul ini dari modul pemisah polaritas dengan bentuk gelombang segitiga unipolar yang masing-masing berbeda 180°.

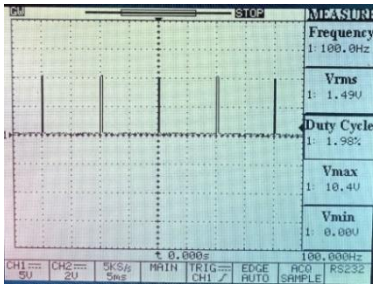



Gambar 25. Output Modul Penjumlah Gigi Gergaji

Gambar 25 menunjukan hasil output dari modul penjumlah gigi gergaji dengan amplitudo 7,36 Vpp dan frekuensi kerja di 100 Hz.

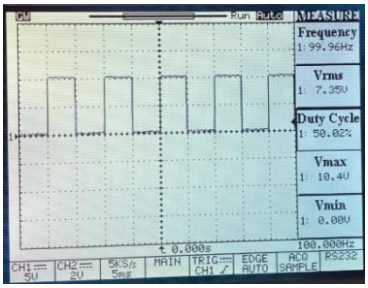
**4.7 Hasil Pengujian Modul Komparator**

Modul ini membandingkan sinyal gigi gergaji dan tegangan kontrol sebesar +7 VDC, sehingga didapatkan suatu sinyal pulsa bipolar, setelah itu memasuki pemisahan polaritas agar didapatkan sinyal pulsa yang unipolar. Pada pengujian modul ini, penulis mengambil sampel pengujian pada *duty cycle* ± 1%, ± 50% dan ± 95%.



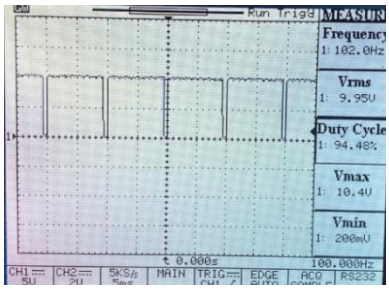

Gambar 26. Pulsa dengan *Duty Cycle* ± 1%

Gambar 26 menunjukan sinyal pulsa dengan *duty cycle* ± 1%.




Gambar 27. Pulsa dengan *Duty Cycle* ± 50%

Gambar 27 menunjukan sinyal pulsa dengan duty cycle ± 50%.




Gambar 28. Pulsa dengan *Duty Cycle* ± 95%

Gambar 28 menunjukan sinyal pulsa dengan *duty cycle* ± 95%.

*Tabel 1. Hasil Pengujian Modul Komparator*

| Keterangan | Hasil |
|---|---|
| Frekuensi | Rata rata 100 Hz |
| Vpp | 10,4 V |
| Vmax | 10,4 V |
| Vmin | 0 V |

Berdasarkan hasil pengujian, maka selanjutnya yaitu menganalisa persentase error antara pengujian dan nilai yang diharapkan. Tujuan hal ini, agar dapat menyimpulkan bahwa modul sudah sesuai dengan yang diharapkan, berikut perhitungannya menggunakan metode *relative error*:

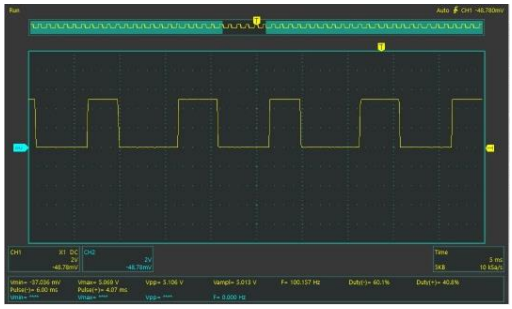
$$RE = \frac{10.04\,V\,(Realisasi) - 10\,V(Target)}{10\,V} \times 100\% \qquad (1)$$

$$RE = 0{,}04\%$$

Dapat disimpulkan bahwa modul komparator yang outputnya diharapkan menjadi sinyal pulsa dapat bekerja dengan baik dengan memperhatikan perubahan lebar pulsanya ketika *duty cycle* nya diatur. Parameter nilai yang dihasilkan menunjukan modul sudah sesuai yang diharapkan dengan error sebesar 0,04% sehingga perancangan dan realisasi alat sudah baik.

### 4.8 Hasil Pengujian Modul *Pulse Amplitude Modulation*

Input modul ini dari modul komparator yang menghasilkan sinyal pulsa. Pada pengujian modul ini, penulis mengambil sampel pengujian pada *duty cycle* ± 50%.



Gambar 29. Pulsa Gelombang Kotak

Gambar 29 menunjukan pulsa sebelum memasuki proses modulasi memasuki rangkaian penurun tegangan terlebih dahulu agar pulsa cocok dengan IC AND 7408 yang tegangan inputnya hanya mampu menerima ±5 V. Pulsa tersebut mempunyai amplitudo 5 Vpp dan berada pada frekuensi kerja 100 Hz.

Gambar 30. Sinyal Pembawa

Gambar 30 menunjukan sinyal pembawa gelombak kotak dengan amplitudo 4,5 Vpp dan frekuensi di 1,021 kHz.

Gambar 31. Output Modulasi Amplitudo

Gambar 31. menunjukan hasil dari modulasi amplitudo dengan nilai amplitudo 4,8 Vpp dan frekuensi kerja di 1 kHz, dimana lebar pulsa serta amplitudo yang dikirim sebelum ke proses modulasi sama dengan output dari proses modulasi amplitudo.

*Tabel 2. Hasil Pengujian Output Modul PAM*

| Keterangan | Hasil |
|---|---|
| Frekuensi | 1,024 Hz |
| Vpp | 4,8 V |
| Vmax | 4,8 V |
| Vmin | 0 V |

$$RE = \frac{4{,}8\,V\,(Realisasi) - 5\,V(Target)}{5\,V} \times 100\% \qquad (2)$$

$$RE = 0{,}04\%$$

Dapat disimpulkan bahwa modul PAM yang outputnya diharapkan untuk dapat memodulasi amplitudo sinyal pulsa referensi dimana dapat memodulasi amplitudo serangkaian pulsa dengan lebar dan posisi yang tetap oleh suatu sinyal pembawa, sehingga keluaran pulsa modul PAM ini akan memiliki posisi yang tidak ubah, namun frekuensinya menyesuaikan dengan frekuensi dari sinyal pembawa. Parameter nilai yang dihasilkan menunjukan modul sudah sesuai yang diharapkan dengan error sebesar 0,04% sehingga perancangan dan realisasi alat sudah benar.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perancangan, realisasi dan pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa telah dihasilkan modul penyulutan penyearah semi terkendali dengan pulsa penyulutan yang dapat diatur sudut penyalaanya 0º hingga 180º dengan pulsa penyulutan sebelum termodulasi pada frekuensi 100 Hz, nilai amplitudo 10,04 V dan error sebesar 0,04%. Pada proses modulasi amplitudo menghasilkan pulsa penyulutan dengan frekuensi kerja di 1,021 kHz, nilai amplitudo 4,8 V dan error 0,04%, frekuensi kerja pulsa yang dihasilkan dapat divariasikan sesuai kebutuhan dari 0 Hz hingga 10 kHz.


## UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas pendanaan penyusunan tugas akhir.


## DAFTAR PUSTAKA


[1] R. M. Arpin, A. Adriani, and M. A. Hidayat, “Rancang Bangun Modul Laboratory Dual Voltage Power Supply,” *Dewantara J. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 48–53, 2021.

[2] Effendi and M. Agil Haikal, “Disain & Simulasi Rangkaian Pentriger SCR Untuk Penyearah Terkendali Setengah Gelombang Tiga Fasa,” *J. JEETech*, vol. 4, no. 2, pp. 149–157, 2023.

[3] T. Freitas, J. Caliman, P. Menegáz, W. Santos, and D. Simonetti, “A DCM Single-Controlled Three- Phase SEPIC-Type Rectifier,” *Energies*, vol. 14, no. 2, p. 256, 2021.

[4] B. ASLAN, S. BALCI, and A. KAYABAŞI, “ANFIS-based Parameter Estimation of a Single Phase Inverter Circuit with Isolation Transformer,” *Kastamonu Univ. J. Eng. Sci.*, no. December, 2022.

[5] D. C. de Souza, M. do C. Gaiotto, G. N. Nogueira Neto, M. C. F. de Castro, and P. Nohama, “Power amplifier circuits for functional electrical stimulation systems,” *Res. Biomed. Eng.*, vol. 33, no. 2, pp. 144–155, 2017.

[6] Hadiyansyah, Atmam, and D. Setiawan, “Studi Penggunaan Semikonverter AC-DC Untuk Mengatur Kecepatan Motor DC,” *SainETIn*, vol. 3, no. 2, pp. 33–41, 2019.

[7] M. I. Haq, A. Hadi Hanan, J. T. Humayra, S. Tanzil, and M. Rahman, “Design and Simulation of a Semi Controlled Full Bridge and Its Control Circuit,” *Proc. 2021 IEEE Conf. Russ. Young Res. Electr. Electron. Eng. ElConRus 2021*, pp. 1425–1428, 2021.

[8] A. Daud and I. E. Sariyulianti, “Rancang Bangun Penyearah Terkendali Penuh Dan Bcr Pada Ups (Unintrerruptable Power Supply),” *J. Tek. Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 191–198, 2013.

[9] V. Br and T. Leipzig, “Modulation of Laser Light,” no. June, 2018.

[10] Y. Zhang, “Design of a pulse amplitude modulation-based communication system,” *5th Int. Conf. Autom. Control Mechatron. Eng. (ACME 2023)*, vol. 53, pp. 123–132, 2023.

[11] A. Krismadinata, I. Husnaini, O. Candra, and

D. E. Myori, “Performance analysis of three-phase controlled rectifier in various switching angles,” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 1959–1965, 2019.

[12] A. Yusuf, T. Tohir, and Y. Santosa, “Simulasi Pengendali Sudut Fasa Pada Rangkaian Penyearah Terkendali Dengan Arduino Berbasis Proteus,” *Pros. Ind. Res. …*, pp. 13–14, 2022.

[13] R. Muhammad, D. Septiyanto, and N. Mulyono, “Rancang Bangun Inverter 3 Fasa Berbasis Bipolar Sinusoidal Pulse Width Modulation,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 13, no. 01, pp. 13–14, 2022.

[14] T. K. Chakraborty and S. Osman, “Design and Simulation of Triggering Circuit for Single-Phase Full-Wave Controlled Rectifier,” pp. 1894–1897, 2015.

[15] C. Huang, S. Member, F. Lee, and C. Liu, “Torque Ripple Reduction for BLDC Permanent Magnet Motor Drive Using DC-Link Voltage and Current Modulation,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 51272–51284, 2022.