

# Rancang Bangun Modul Unipolar 60 Degrees-Pulse Width Modulation Fasa Tunggal

Rifa Muhammad Fahrizal<sup>1)</sup>, Dwi Septiyanto<sup>2)</sup>, Nanang Mulyono<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

<sup>1</sup>rifa.muhammad.tlis19@polban.ac.id, <sup>2</sup>dwi.septiyanto@polban.ac.id, <sup>3</sup>nanangmulyono@polban.ac.id

## Abstrak

Perkembangan zaman saat ini membentuk masyarakat ketergantungan oleh alat yang bekerja secara otomatis serta efisien. Perkembangan sistem tenaga energi listrik saat ini dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Inverter merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah menjadi bolak-balik. Untuk mengoperasikan inverter terdapat beberapa cara salah satunya menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). Metode ini untuk *control* inverter yang diaplikasikan pada rangkaian daya elektronika. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan modul inverter dengan Teknik Unipolar dengan metode 60 Degrees-Pulse Width Modulation 1 Fasa. Cara untuk menghasilkan sinyal *Discontinue* ini yaitu dibuat dari sinyal *carrier* sinusoidal dan sinyal segitiga yang dipotong pada sudut 60° sampai 120°. Sinyal *carrier* sinusoidal diatur oleh amplitudo dengan tegangan diatas 4-6 Vpp dengan frekuensi 50 Hz dan sinyal *carrier* segitiga diatur frekuensinya sebesar 400-500 Hz. Hasil sinyal dari modul 60 Degrees-Pulse Width Modulation memiliki tegangan *output* sebesar 7,84 Volt dan frekuensi 222,6 Hz.

**Keywords:** *Pulse Width Modulation; 60 Degrees; Inverter; Satu Fasa*

## I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu upaya untuk menghasilkan energi listrik secara *continue*. Energi listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan energi terbarukan berbentuk arus listrik DC (searah), sedangkan hampir seluruh peralatan rumah tangga atau industri menggunakan arus AC (bolak-balik). Inverter merupakan suatu perangkat untuk mengubah arus DC (searah) menjadi arus AC (bolak-balik) [1]. Energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat, dikarenakan berbagai macam hal yang dilakukan oleh masyarakat hampir keseluruhannya membutuhkan energi listrik. Pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu upaya untuk menghasilkan energi listrik secara *continue*. Mampu digunakan untuk pemakaian sehari-hari oleh masyarakat maupun industri. 60 Degrees-Pulse Width Modulation adalah sebuah metode yang dimana saat PWM tidak aktif, maka akan dipotong. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang dapat divariasikan, cukup dengan mengubah besarnya *duty cycle* sinyal PWM yang dibangkitkan [2].

Untuk mengendalikan inverter 1 fasa adalah dengan menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM), *output* dari sebuah inverter yang menggunakan metode PWM adalah sinyal gelombang sinusoidal. Beberapa metode PWM banyak digunakan diantaranya SPWM, TPWM, dan masih banyak lagi [1].

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah Menghasilkan *output* sinyal gelombang dari seluruh modul Rancang Bangun Modul Inverter Satu Fasa Berbasis Unipolar 60 Degrees-Pulse Width Modulation, Menghasilkan *output* sinyal unipolar 60 Degrees-Pulse Width Modulation [3].

## II. KAJIAN LITERATUR

### A. Pulse Width Modulation (PWM)

PWM merupakan cara modulasi mengubah lebar pulsa akan tetapi frekuensi dan amplitudo bernilai tetap. Terdapat 3 operasi dalam perbandingan lebar pulsa terhadap tegangan DC, yaitu :

#### 1. Inverted Mode

Mode ini merupakan sinyal dengan *value* lebih tinggi dari titik perbandingan. Keluaran di *setting high* dengan tegangan 5 Volt. Jika keluaran di *setting* pada *low* maka tegangan 0 Volt [4].

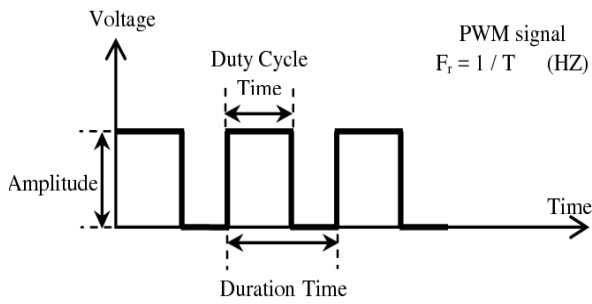
#### 2. Non Inverted Mode

Pada kondisi ini dikatakan *high* ketika titik perbandingan lebih tinggi dari *value* sinyal dan pada saat kondisi *value* sinyal lebih tinggi maka dikatakan kondisi *low* dengan tegangan 0 Volt [4].

#### 3. Toggle Mode

Dikatakan mode ini ketika keluaran beralih semula *high* menjadi *low* apabila titik perbandingnya sesuai dengan nilai sinyal [4].

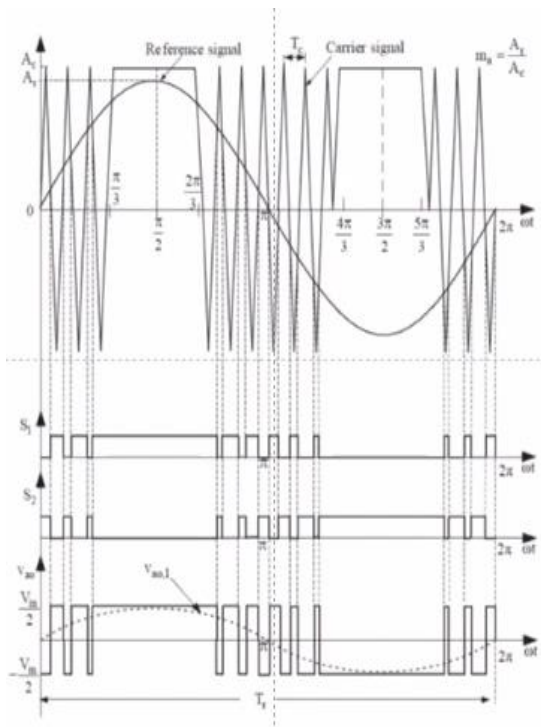
Dalam siklus kerja, akan dikenal dengan yang namanya waktu periode saat kondisi *ON* dan *OFF*. Saat menyelesaikan satu periode diukur oleh besarnya frekuensi PWM, inilah yang menentukan lambat atau cepatnya periode.



Gambar 1. Frekuensi pada PWM Merupakan Perbandingan Terbalik Dengan Ttotal Atau Time Period

**B. Modulasi 60 Degrees-Pulse Width Modulation**

Modulasi 60 Degrees-PWM menggunakan sinyal sinusoidal dan segitiga sebagai sinyal carrier, namun pada rangkain analog terpotong pada sudut 60° sampai 120° sehingga terbentuk sinyal 60° [1].

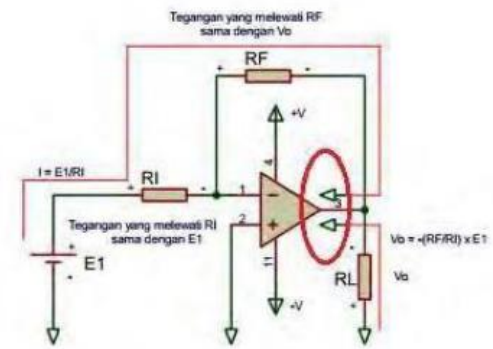


Gambar 2. Gelombang Dari Modulasi PWM

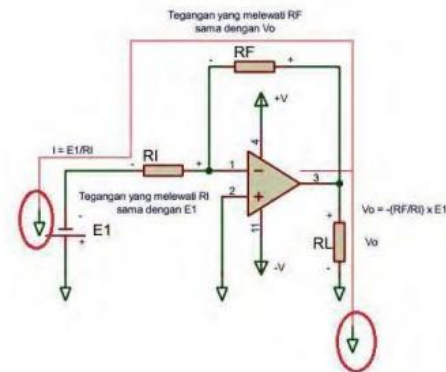
**C. OPAMP (Operational Amplifier)**

*Op-Amp* (Operational Amplifier) yang digunakan sebagai operator matematis dari suatu tegangan listrik, yang mempunyai dua fungsi yaitu sebagai penguat pembalik dan sebagai penguat tidak membalik. *Op-Amp* sebagai penguat mempunyai ciri yaitu sebuah tahanan umpan balik luar duhubungkan di antara terminal *input* dan terminal *output*. Pada dasarnya sifat umum dari sebuah *Op-Amp* yaitu tegangan  $E_d$  antara *input* positif dan *input* negatif bernilai 0, dan arus yang dialirkan oleh terminal *input* positif atau negatif dapat diabaikan [5].

Pada fungsi *Op-Amp* sebagai penguat pembalik memiliki dua cara yaitu tegangan positif yang diterapkan masuk ke terminal (+) ada juga yang diterapkan pada terminal (-) merupakan tegangan negatif. Perbedaan dari kedua cara tersebut terdapat pada arah dari setiap arus yang melewatinya [5].



Gambar 3. Tegangan Positif (+) Yang Diterapkan Masuk ke Terminal (-)

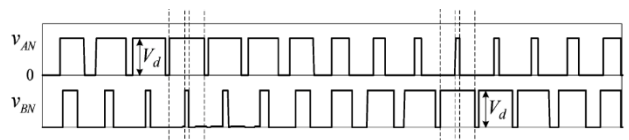


Gambar 4. Tegangan Negatif (-) Yang Diterapkan Masuk ke Terminal (-)

Berdasarkan gambar diatas, tegangan positif  $E_i$  diterapkan pada terminal (-) *Op-Amp* melalui tahanan *input*  $R_i$ . Lalu untuk tahanan umpan balik negaitfnya dibuat menggunakan tahanan  $R_f$ . Tegangan *input* antara (+) dan (-) pada dasarnya adalah 0 Volt. Maka dari itu, terminal *input* (-) dan potensial ground yang berada pada *input* (-) bernilai 0 Volt juga. Jadi, terminal *input* (-) dapat dikatakan ada pada ground semu [5].

**D. Unipolar**

Unipolar yaitu sinyal digital dengan membutuhkan satu level tegangan baik + maupun -. penandaan 0 untuk tegangan nol.

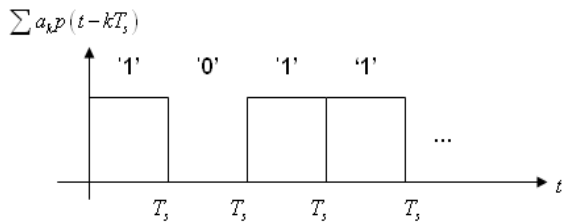


Gambar 5. Gelombang Unipolar

Unipolar Encoding terbagi menjadi dua tipe yaitu:

1. NRZ Unipolar (*Non-Return-to-Zero Unipolar*)  
Tegangan yang positif dan stabil sepanjang waktu durasi bit ditandai dengan simbol 1, sedangkan tegangan nol ditandai dengan simbol 0 [3].

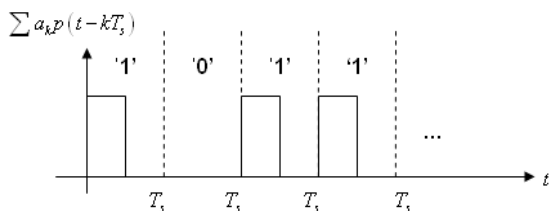
Unipolar NRZ (Non Return to Zero)



Gambar 6. Unipolar NRZ (*Non Return Zero*)

2. RZ Unipolar (*Return-to-Zero Unipolar*)  
Konsep dari RZ ini ketika pulsahan stabil dan amplitudo bertahan dengan waktu yang relatif lama dan kembali pada posisi semula sebelum bit berakhir. Sedangkan tiadana pulsa ditandai dengan simbol 0 [3].

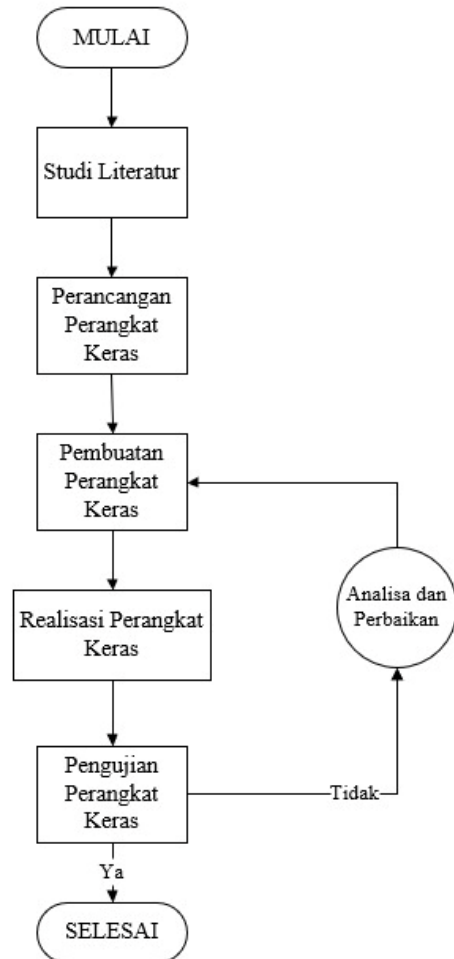
Unipolar RZ (Return to Zero)



Gambar 7. Unipolar RZ (*Return to Zero*)

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Alir



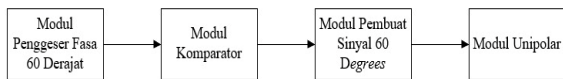
Gambar 8. Diagram Alir Metode Penelitian

Pada pembuatan penelitian ini penulis memulai dengan melakukan studi *literature* pada karya ilmiah sebagai landasan dari penelitian yang penulis buat. Setelah studi *literature* yang dilakukan dirasa cukup dilanjutkan dengan simulasi alat dari penelitian ini menggunakan *software* proteus. Setelah membuat simulasi dari alat, proses berlanjut membuat perancangan perangkat keras.

Apabila perancangan alat sudah selesai kita bisa memilih komponen yang dibutuhkan pada alat. Setelah semua komponen yang dibutuhkan sudah tersedia kita bisa mulai merakit/membuat perangkat keras.

Langkah terakhir apabila telah selesai merakit/membuat perangkat keras kita akan mulai pengujian, apabila pada tahap pengujian tidak sesuai kita harus kembali ke tahap pengujian agar mengetahui masalah dan memperbaiki masalah tersebut sampai tahap pengujian sesuai dengan harapan.

B. Diagram Blok



Gambar 9. Diagram Blok Penelitian

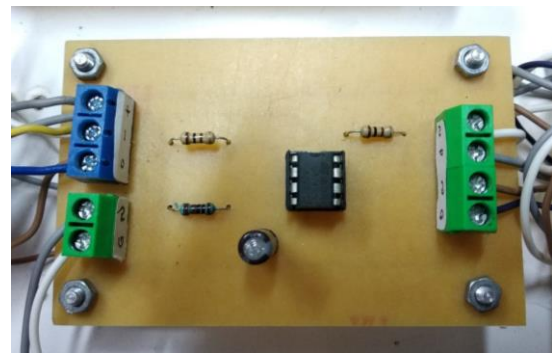
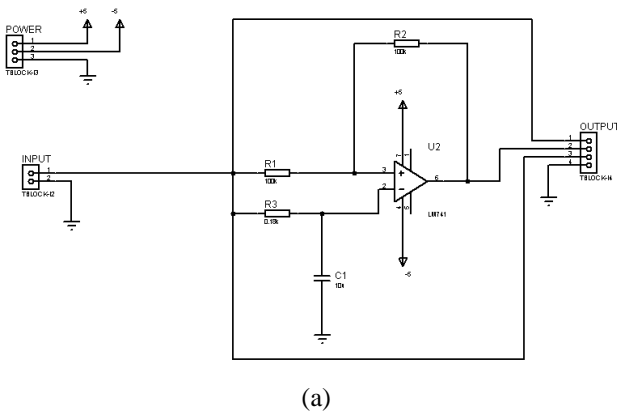
Perancangan perangkat merupakan penentu dari berhasilnya realisasi sistem pada penelitian ini, dikarenakan setiap bagian dari sistem ini harus dapat bekerja. Terdapat tahapan yang harus dilakukan agar dalam pembuatan alat dapat terselesaikan dengan baik, yaitu.

1. Perancangan Modul Penggeser Fasa.
2. Perancangan Modul Komparator.
3. Perancangan Modul Pembuat Sinyal 60 Degrees.
4. Perancangan Modul Unipolar.

1. Modul Penggeser Fasa

Modul penggeser fasa ini merupakan memancarkan suatu gelombang tanpa mengubah amplitudonya tetapi mengubah sudut fasanya sebesar yang ditetapkan sebelumnya. Pada modul ini gelombang pembawanya adalah sinusoidal. Pada penelitian ini penulis menentukan penggeser fasanya adalah 60 Degrees.

Dalam melakukan perancangan modul ini tahap pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan model sistem. Sistem yang digunakan yaitu modul penggeser fasa. Sistem ini memiliki sinyal *input* berupa sinyal sinusoidal dan sinyal segitiga satu fasa. Kapasitor berfungsi sebagai komponen yang diserikan dengan resistor untuk menggeser fasa. Kapasitor yang digunakan yaitu kapasitor dengan nilai sebesar 10 mikro Farad. OPAMP berfungsi sebagai komponen yang mengatur atau mengubah sinyal keluaran. Jenis OPAMP yang digunakan pada modul ini yaitu OPAMP LM471.

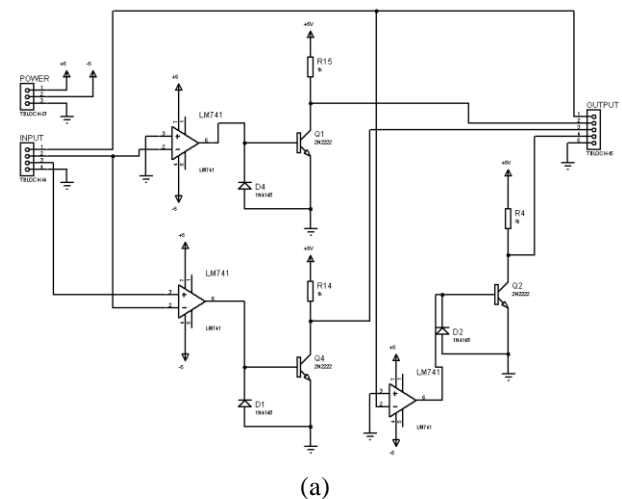


(b)

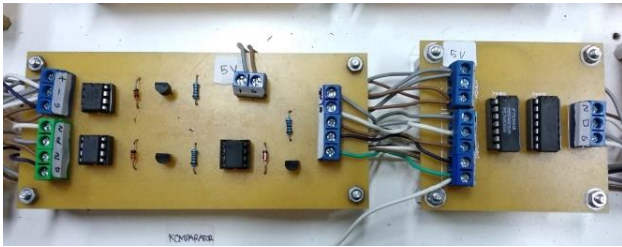
Gambar 10. a) Rangkaian Penggeser Fasa, b) Realisasi Modul Penggeser Fasa.

2. Modul Komparator

Modul komparator ini berfungsi mengubah sinyal carrier sinusoidal dan segitiga menjadi sinyal kotak. Komparator ini akan membandingkan dua tegangan *input* dan akan memperoleh satu *output* berupa sinyal kotak. Rangkaian komparator yang digunakan pada penelitian ini menggunakan IC OPAMP LM741. Setelah merangkai pada PCB dan disolder, sinyal keluarannya dicek menggunakan *oscilloscope*. Dalam melakukan perancangan modul ini tahap pertama yang dilakukan yaitu menentukan model sistem atau spesifikasi. Sistem yang dipilih yaitu modul komparator yang input sinyalnya berupa sinyal sinusoidal, sehingga keluarannya berupa sinyal kotak. IC OPAMP LM741 pada modul ini digunakan untuk mengubah atau mengatur sinyal keluaran. Dioda 1N4148 pada modul ini digunakan sebagai saklar yang meneruskan arus listrik dalam satu arah saja dan melindungi OPAMP dari kerusakan dengan memblokir lonjakan tegangan. Transistor 2N2222 pada modul ini digunakan sebagai switching. Resistor 1KΩ pada modul ini digunakan untuk memberikan bias basis transistor dan sebagai penahan arus listrik daya rendah. IC 7486 pada modul ini digunakan untuk membuat rangkaian XOR. IC 7408 pada modul ini digunakan untuk membuat rangkaian AND. *Output* Modul penguat ini juga digunakan sebagai *input* untuk rangkaian modul komparator



(a)

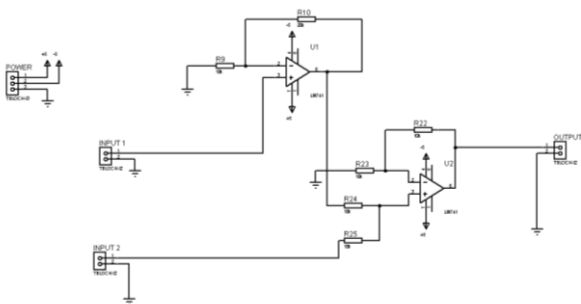


(b)

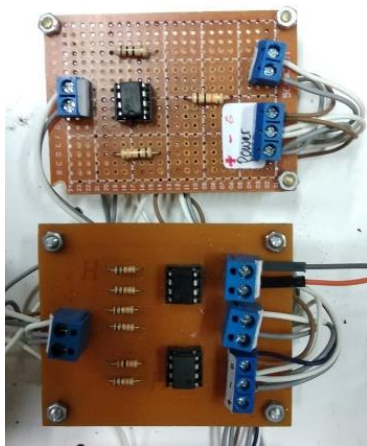
Gambar 11. a) Rangkaian Komparator, b) Realisasi Modul Komparator

### 3. Modul 60 Degrees-PWM

Dalam perancangan modul ini, tahapan yang dilakukan yaitu menentukan model sistem/spesifikasi dan sistem yang dipilih yaitu modul pembangkit sinyal 60 Degrees yang *input* sinyalnya berupa sinyal kotak dan sinyal segitiga dan sinyal keluarannya berupa sinyal segitiga yang terpotong pada sudut 60° s/d 120°. Pada modul ini, OP-AMP berfungsi sebagai komponen yang mengatur atau mengubah sinyal keluaran. Jenis OP-AMP yang digunakan pada modul ini yaitu IC LM741. Resistor yang digunakan pada modul ini yaitu resistor dengan nilai tahanannya sebesar 10KΩ. Variabel resistor yang digunakan pada modul ini yaitu dengan nilai 1KΩ.



(a)

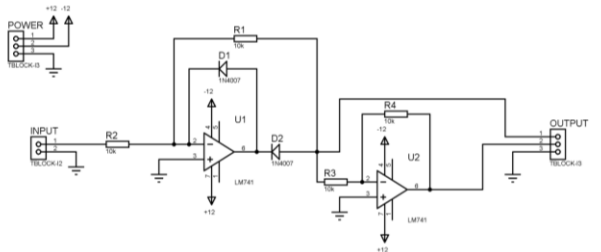
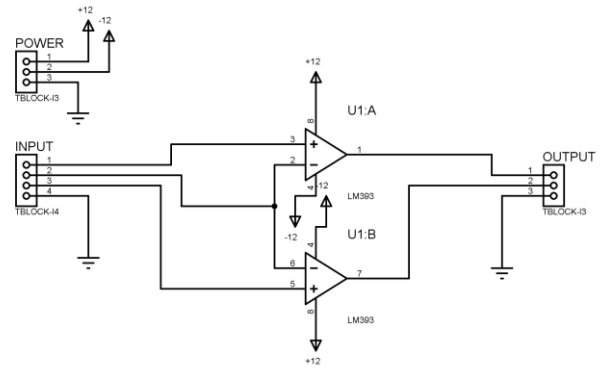


(b)

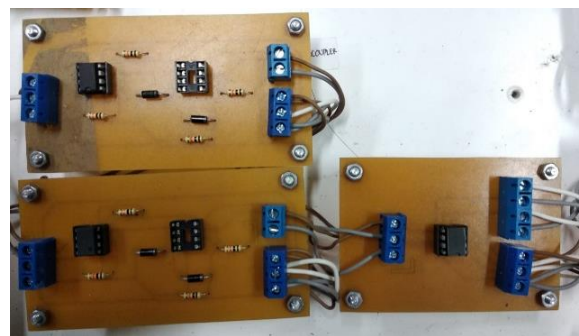
Gambar 12. a) Rangkaian Pembuat Sinyal 60 Degrees, b) Realisasi Modul Pembuat Sinyal 60 Degrees

### 4. Modul Unipolar

Modul unipolar pada gambar dibawah ini berfungsi untuk menghasilkan sinyal pulsa unipolar yang meliki siklus positif terlebih dahulu baru negatif, dimana rangkaian modul komparator ini menggunakan *Op-Amp* LM393 lalu dibutuhkan beberapa komponen lain yaitu resistor 1KΩ dan diode 1N4148.



(a)

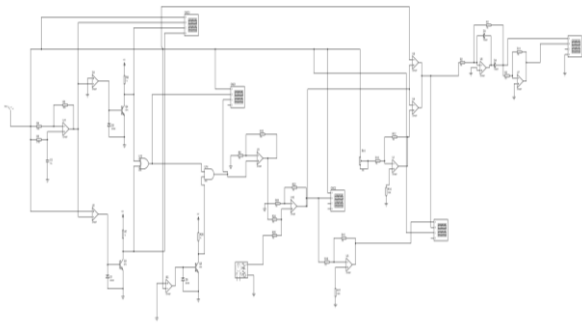


(b)

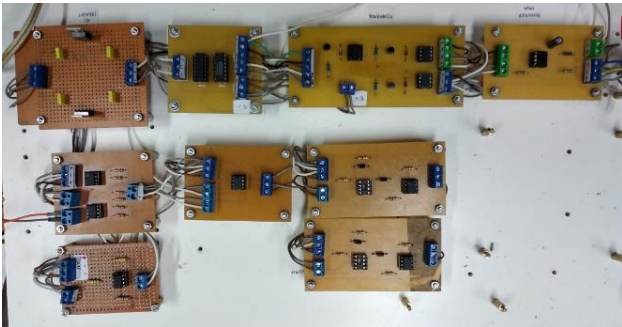
Gambar 13. a) Rangkaian Unipolar, b) Realisasi Modul Unipolar.

### 5. Modul Keseluruhan

Pada tahap pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan seluruh modul yang sudah dibuat. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan hasil akhir dari modul unipolar 60 Degrees-Pulse Width Modulation, yaitu bentuknya berupa sinyal pulsa yang berasal dari modul komparator yang berbeda 60 Degrees, kemudian ke modul unipolar yang memiliki siklus positif atau negatif.



(a)



(b)

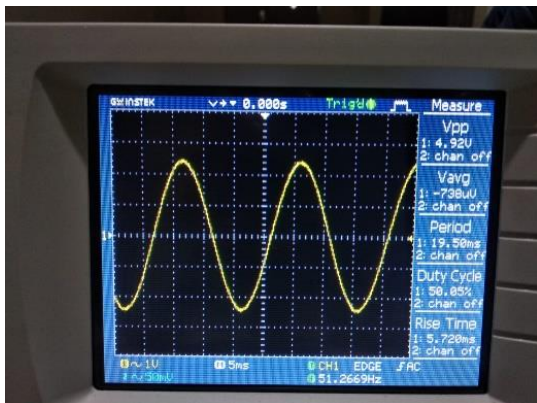
Gambar 14. a) Rangkaian Keseluruhan Modul, b) Realisasi Modul Unipolar 60 Degrees-Pulse Width Modulation

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penelitian secara lengkap, tentang hasil pengujian setiap modul dan hasil keseluruhan modul yang telah dibuat.

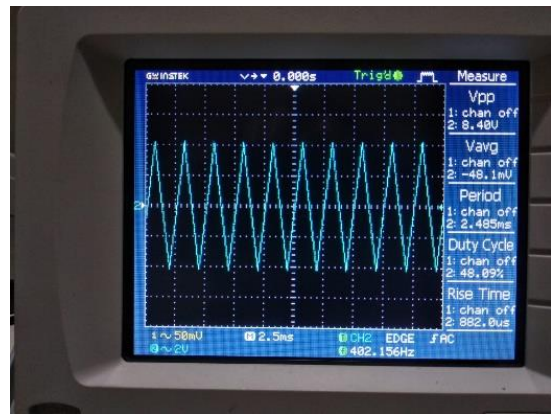
##### A. Pengujian Modul Sumber Sinyal

Pada Gambar 15 menunjukkan gelombang sinusoidal dengan nilai tegangan 4,92 Volt dan frekuensi 51,2 Hz.



Gambar 15. Hasil Pengujian Gelombang Sinusoidal Pada Sumber Sinyal

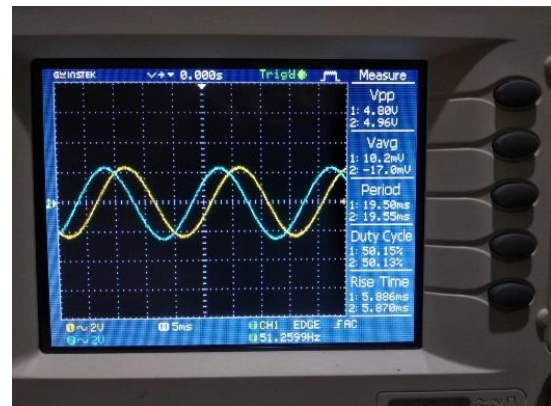
Pada Gambar 16 menunjukkan gelombang segitiga dengan nilai tegangan 8,4 Volt dan frekuensi 402Hz.



Gambar 16. Hasil Pengujian Gelombang Segitiga Pada Sumber Sinyal

##### B. Pengujian Modul Penggeser Fasa

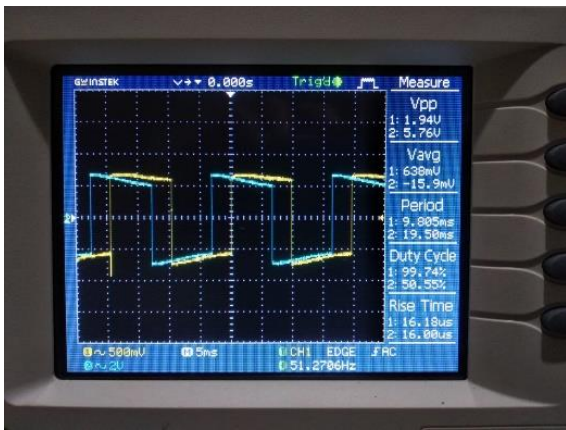
Gambar 17 merupakan hasil dari modul penggeser fasa yang ditunjukkan oleh *oscilloscope*. Berdasarkan hasil pengujian, terbukti bahwa fasa yang bergeser adalah 60 Degrees. Sinyal berwarna kuning merupakan fasa A yang berada pada posisi 0° dan sinyal berwarna biru merupakan fasa B yang telat bergeser 60°. Pada gambar diatas ini menunjukkan hasil keluaran dari modul penggeser fasa yang berbentuk sinyal sinusoidal yang bergeser 60 Degrees, dengan nilai keluarannya Vpp adalah 4,8 Volt pada *channel* 1 dan 4,96 Volt pada *channel* 2 dengan frekuensi 51,2 Hz.



Gambar 17. Hasil Pergeseran Fasa Pada Modul Penggeser Fasa

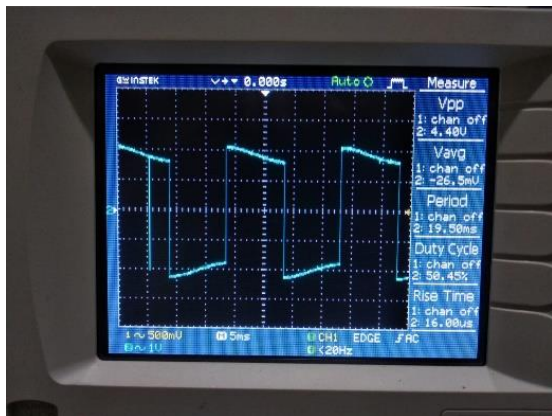
##### C. Pengujian Modul Komparator

Pada Gambar 18 menunjukkan hasil keluaran dari modul komparator yang berbentuk sinyal kotak yang bergeser 60 Degrees, dengan nilai keluarannya Vpp adalah 5,76 Volt dengan frekuensi 51,2 Hz.



Gambar 18. Hasil Pergeseran Gelombang Kotak Pada Modul Komparator

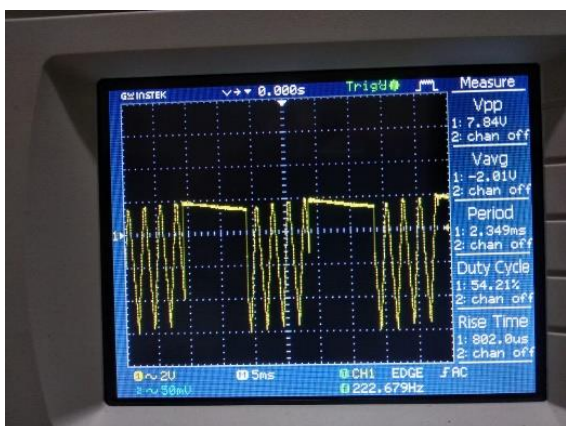
Pada Gambar 19 menunjukkan masuk ke gerbang logika XOR dan AND untuk menyatukan 2 sinyal input menjadi 1 output. Kemudian didapatkan output Vpp nya sebesar 4,4 Volt.



Gambar 19. Hasil Perpotongan Dari Modul Komparator

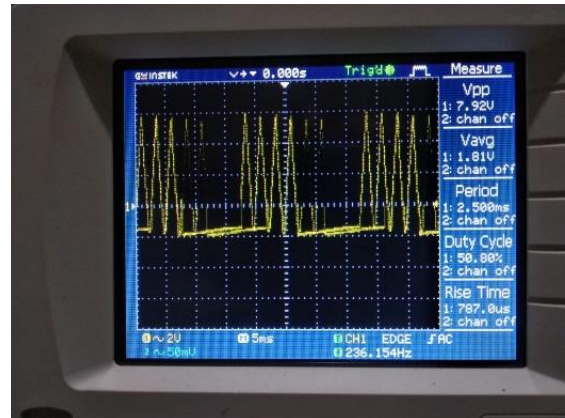
#### D. Pengujian Modul 60 Degrees

Pada Gambar 20 menunjukkan hasil keluaran dari modul pembuat 60 Degrees dengan nilai Vpp adalah 7,84 Volt dan frekuensi 222,6 Hz.



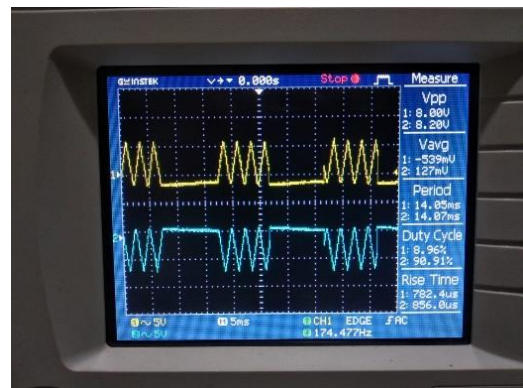
Gambar 20. Hasil Sinyal 60 Degrees

Pada Gambar 21 menunjukkan hasil keluaran dari modul pembuat 60 Degrees yang telah dibalik dengan nilai Vpp adalah 7,92 Volt dan frekuensi 236,1 Hz.



Gambar 21. Hasil Sinyal 60 Degrees Yang Telah Dibalik

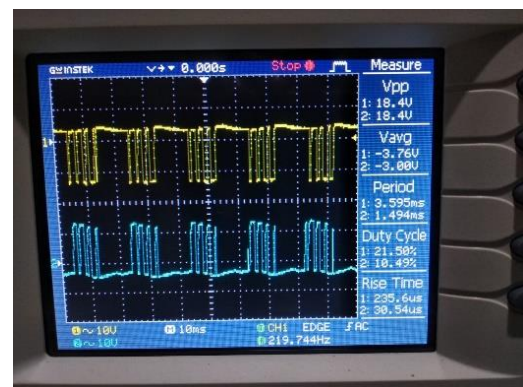
Pada Gambar 22 menunjukkan hasil keluaran dari modul pembuat 60 Degrees dengan dual channel dengan nilai Vpp adalah 8,0 Volt pada channel 1 dan 8,2 Volt pada channel 2 dengan frekuensi 174,4 Hz.



Gambar 22. Hasil Dual Channel Sinyal 60 Degrees

#### E. Pengujian Modul Unipolar

Pada Gambar 23 menunjukkan hasil keluaran dari modul pembuat unipolar 60 Degrees dengan dual channel dengan nilai Vpp adalah 18,4 Volt pada channel 1 dan 18,4 Volt pada channel 2 dengan frekuensi 219,7 Hz.



Gambar 23. Hasil Sinyal 60 Degrees Unipolar Positif dan Negatif

Berdasarkan hasil pengujian, sumber sinyal sinusoidal menunjukkan bentuk sinyal pulsa yang diinginkan. Oleh karena itu, tegangan pada sumber sinyal dibatasi sebesar 22V sesuai dengan tegangan *input* maksimal pada IC yang digunakan, berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa spesifikasi dari sumber sinyal seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Sumber Sinyal

No.	Variabel	Nilai
1.	Tegangan <i>Output</i> Sinusoidal	4,92 Vpp
2.	Tegangan <i>Output</i> Segitiga	8,4 Vpp
3.	Frekuensi <i>Output</i> Gelombang Sinusoidal	51,2 Hz
4.	Frekuensi <i>Output</i> Gelombang Segitiga	402 Hz

Setelah spesifikasi pada sumber sinyal ditentukan, maka dapat ditentukan spesifikasi sinyal 60 *Degrees-Pulse Width Modulation* yang didapatkan dari rangkaian kontrol adalah sebagai berikut pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Modul 60 *Degrees-PWM*

No.	Variabel	Nilai
1.	<i>Input</i>	12 V
2.	<i>Output</i>	7,84 Vpp
3.	Frekuensi 60 <i>Degrees</i> PWM	222,6 Hz

Setelah mendapatkan spesifikasi pada sinyal 60 *Degrees-Pulse Width Modulation*, maka dapat disimpulkan bahwa spesifikasi dari sinyal modul unipolar pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Sinyal Modul Unipolar

No.	Variabel	Nilai
1.	Tegangan <i>Output</i> Unipolar Positif	18,4 Vpp
2.	Tegangan <i>Output</i> Unipolar Negatif	18,4 Vpp
3.	Frekuensi <i>Output</i> Gelombang Unipolar	219,7 Hz

### V. KESIMPULAN

Pada hasil dari perancangan sistem, realisasi alat dan pengujian, maka dapat disimpulkan telah dihasilkannya modul inverter Unipolar 60 *Degrees-Pulse Width Modulation* satu fasa, dengan menghasilkan sinyal 60 *Degrees* yang dibuat dari sinyal sinusoidal dan sinyal carrier segitiga yang dipotong pada sudut 60° sampai 120°. Hasil yang didapat yaitu sinyal sinusoidal dengan tegangan *output* 4,92 Vpp dan sinyal segitiga dengan tegangan *output* 8,4 Vpp. Sinyal 60 *Degrees-Pulse Width Modulation* dengan tegangan *input* sebesar 12V, tegangan *output* sebesar 7,84 Vpp dan frekuensi 222,6 Hz yang berbeda sudut sebesar 60°. Sinyal Modul Unipolar tegangan *output* positif 18,4 Vpp dan *output* negatif sebesar 18,4 Vpp dengan frekuensi 219,7 Hz.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui Wakil Direktur Bidang Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan penelitian nomor B/209/PL1/HK.02.00/2022 kelompok A1.

### REFERENSI

- [1] S. Natanael, Nanang Mulyono, and Dwi Septianto. "Rancang Bangun Modul *Discontinue Pulse Width Modulation* (DPWM) Tiga Fasa." SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan). Vol. 3. 2021.
- [2] L. Chaturvedi, D. K. Yadav, and G. Pancholi, "Comparison of SPWM, THIPWM and PDPWM technique based voltage source inverters for application in renewable energy," *Journal of Green Engineering*, vol. 7, no. 1–2, pp. 83–98, Jan. 2017, doi: 10.13052/jge1904-4720.7125.
- [3] Y. A. Sinaga, A. S. Samosir, and A. Haris, "Rancang Bangun Inverter 1 Fasa dengan Kontrol Pembangkit *Pulse Width Modulation* ( PWM )," *Electrician*, vol. 11, no. 2, pp. 81–90, 2017.
- [4] B. Tauhid "Perancangan Inverter Satu Fasa PWM Dengan Teknik Eliminasi Harmonisa", P. S T. Elektro, U. T. Pontianak. 2017.
- [5] H. Hamdani, Z. Tharo, S. Anisah and S. A. Lubis "Rancang Bangun Inverter Gelombang Sinus Termodifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Rumah Tinggal", F. Sains and Teknologi, U. P. Panca budi, 2020.
- [6] I. F. Muhamad, D. Septiyanto, and N. Mulyono, "Rancang Bangun Modul *Trapezium Pulse Width Modulation* (TPWM)," Pros. SEMNASTERA (Seminar Nas. Teknol. dan Ris. Ter., pp. 128–137, 2021.