

# Rancang Bangun Inverter Fasa Tunggal Berbasis Unipolar Trapezium Pulse Width Modulation (TPWM)

Ilham Akbar<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>ilham.akbar.tlis19@polban.ac.id, <sup>2</sup>dwi.septiyanto@polban.ac.id, <sup>3</sup>nanangmulyono@polban.ac.id

## Abstrak

Pada perkembangan energi terbarukan yang sumber listrik berupa tegangan DC inverter sangat dibutuhkan, Inverter sendiri merupakan perangkat elektronika yang berfungsi mengubah *input* listrik DC menjadi *output* listrik AC, maka dari itu dibutuhkan inverter yang andal dan memiliki efisiensi yang tinggi, penulis melakukan penelitian dengan membuat inverter menggunakan metode switching yang berbeda diharapkan memiliki keandalan. Pada paper ini penulis membahas tentang rancang bangun inverter fasa tunggal berbasis unipolar *trapezium pulse width modulation (tpwm)*. Tujuan yang ingin dicapai ialah menghasilkan tegangan 220VAC, memiliki nilai *THD* dibawah 10% dan menghasilkan arus sebesar 1A. Metode yang digunakan ialah sinyal trapezium sebagai referensi dibandingkan dengan sinyal segitiga sebagai carriers yang kemudian akan menghasilkan sinyal pulsa unipolar yang nantinya digunakan sebagai pensaklaran untuk rangkaian mosfet lalu pada switching mosfet diberi tegangan 400-450VDC menggunakan DC Chopper untuk menghasilkan tegangan 220VAC. Hasil yang didapat dari pengujian arus sebesar 14,64mA, pengujian *THD* (Tanpa Filter) yang terukur sebesar 63%, lalu pengujian tegangan sebesar 220VAC.

**Keywords:** *THD, TPWM, MOSFET*

## I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital dalam kehidupan manusia sehari-hari, selain itu tenaga listrik juga sangat dibutuhkan untuk peralatan rumah tangga dan industri.[1]

Energi alternatif terbarukan yang berkembang pada saat ini salah satunya memiliki sumber tegangan *DC (Direct Current)*. Untuk memanfaatkan energi yang memiliki tegangan *DC* maka kita membutuhkan sebuah Inverter yang dapat mengoperasikan peralatan rumah tangga atau peralatan industri.[2]

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (*DC*) ke tegangan bolak-balik (*AC*). Ada beberapa topologi inverter yang ada sekarang ini, dari yang hanya menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak-balik (*push-pull inverter*) sampai yang sudah bisa menghasilkan tegangan sinus murni (tanpa harmonisa).[3]

Metode pengendalian inverter fasa tunggal menggunakan teknik *Trapezium Pulse Width Modulation* sebagai pengendali saklar elektronik pada rangkaian *switching* inverter fasa tunggal.

## II. KAJIAN LITERATUR

Penelitian Natanael Sihombing telah merancang dan mengimplementasikan modul *discontinue pulse width modulation (DPWM)* untuk inverter tiga Fasa. metode yang digunakan untuk memperoleh sinyal *DPWM* tersebut, dilakukan dengan pengondisian sinyal secara analog dan bersumber dari sebuah sinyal sinusoidal menjadi tiga buah sinyal sinusoidal yang memiliki beda fasa 0°, 120° dan 240° dengan frekwensi 50Hz. Ketiga sinyal tersebut digunakan sebagai sinyal referensi. Sedangkan sinyal carrier bersumber dari sinyal segitiga yang diolah menggunakan

prinsip penggeseran fasa, pemotongan dan penjumlahan sinyal secara analog. Hasil pengolahan kedua sumber sinyal tersebut selanjutnya dibandingkan dan dipisahkan polaritasnya secara analog. Hasil penelitiannya menghasilkan tegangan output *DPWM* sebesar 5,1Vpp dan frekuensi 100Hz dengan sumber sinyal sinusoidal dan segitiga sebesar 3Vpp. Berdasarkan penelitian tersebut modul yang dibuat Natanael Sihombing memiliki rasio frekuensi 0.5. Hal tersebut akan mempengaruhi nilai tegangan keluaran inverter yang fluktuasi.[7]

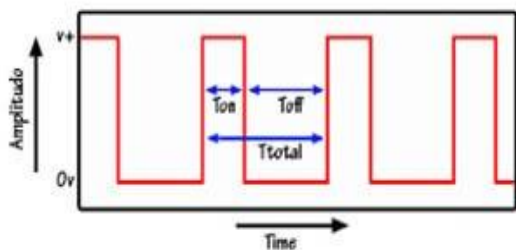
Penelitian Indra Muhammad Faizal menghasilkan Modul Trapezium Pulse Width Modulation 3 Fasa yang berbeda fasa 120° dengan variable amplitudo dan variabel frekuensi. Metode yang digunakan adalah mengubah sinyal sinusoidal kedalam bentuk trapezium dengan menggunakan rangkaian analog. Sinyal input berupa sinusoidal satu fasa disuapkan ke rangkaian penggeser fasa guna menghasilkan sinyal sinusoidal 3 fasa berbeda fasa 120°. Output modul penggeser fasa kemudian disuapkan ke rangkaian zero crossing untuk menghasilkan sinyal kotak 3 fasa. Sinyal kotak tersebut disuapkan ke modul converter untuk menghasilkan sinyal trapezium 3 fasa. Output modul converter 3 fasa disuapkan ke modul pengatur amplitudo untuk menghasilkan sinyal trapezium 3 fasa yang variable. Output sinyal modul pengatur amplitudo disuapkan ke modul komparator guna menghasilkan sinyal *pwm*. Output modul komparator kemudian disuapkan ke modul pemisah polaritas guna menghasilkan sinyal *pwm* yang berbeda polaritas. Hasil yang didapat yaitu sinyal *TPWM* tiga fasa yang berbeda 1200 listrik dengan amplitudo pada saat ON atau pada polaritas positif sebesar 4,142 V dan frekuensinya sebesar 204,734 Hz, dan pada saat OFF atau polaritas negative dengan amplitudonya sebesar 4,196 V dan frekuensinya sebesar 209,720 Hz.[4]

Dalam penelitian Karyadi alat dapat mengkonversi 12VDC kedalam gelombang sinusoidal kotak 220VAC, 50 Hertz. Setelah meninjau rangkaian terjadi kegagalan desain yang terjadi akibat 2 faktor. pertama yaitu tidak adanya daya transformator yang diakibatkan oleh fluks nonstabil. Hal ini terjadi karena kapasitor kabel yang terhubung dengan sisi utama transformator besar. Yang kedua yaitu perangkat mosfet yang sangat kecil sehingga tidak mampu untuk digunakan banyak dalam penggunaan beban. Ha ini dapat diatasi dengan penambahan penggunaan mosfet pada circuit.[5]

Penelitian yang dilakukan ini ialah mengenai rancang bangun inverter satu fasa berbasis unipolar trapezium pulse width modulation menggunakan rangkaian analog, pada paper ini menjelaskan proses perancangan dan pengujian dilakukan bertahap pada setiap modul hingga pada output keluaran inverter.

A. Pulse Width Modulation (PWM)

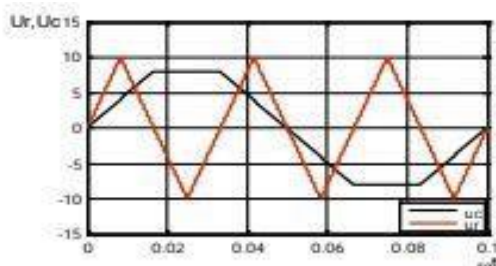
Sebuah perangkat sebagai pembangkit sinyal output yang periodanya tinggi hingga rendah yang berkerja secara berulang dan dapat dioperasikan oleh kita sehingga mendapat nilai yang dibutuhkan itulah yang dinamakan PWM. Perbandingan dari periode rendah dan tinggi dinamakan duty cycle, semakin besar tegangan rata rata maka semakin besar pula nilai duty cycle.[4]



Gambar 1. Bentuk Gelombang Pulsa

B. Modulasi Trapezium

Modul ini merupakan cara yang digunakan agar mendapat sinyal kontrol guna mengoperasikan seperangkat alat semikonduktor. Modul ini sama seperti modul sinusoidal. Dimana voltage control sama dengan kaki trapesium dengan waktu yang sama pula. Oleh karena itu perintah sinyal yang digunakan transistor terletak pada cabang inverter, hasil dari perbandingan sinyal perintah trapesium dengan sinyal referensi berbentuk gelombang tringular dengan frekuensi jauh lebih besar dari frekuensi perintah.[4]



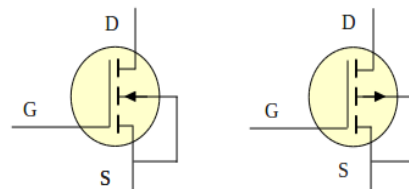
Gambar 2. Gelombang dari modulasi

C. Mosfet

Mosfet merupakan jenis dari FET atau transistor efek medan. Perangkat ini mempunyai tiga atau empat pin yaitu drain, source, dan gate. Gate memiliki satu atau dua pin hal ini dikarenakan terminal sisi implant saling tersambung secara internal dan biasa dikatakan sebagai gate.[6]

Perangkat ini memiliki pin diantaranya:

1. Sumber (*source*) = S
2. Cerat (*drain*) = D
3. Gerbang (*gate*) = G

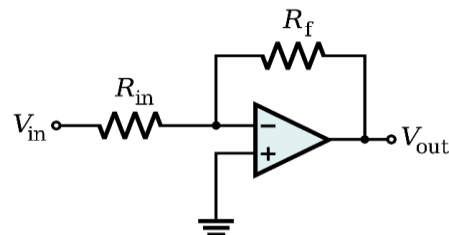


Gambar 3. Gambar Diagram Mosfet

D. Penguat Pembalik dan Tak Membalik

1. Penguat Inverting

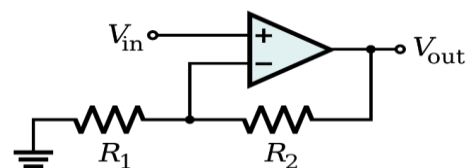
Penguat dibalik (*Inverting*) ialah pemasangan op-amp yang berguna sebagai penguat sinyal output dengan hasil berbalik 180° dari sinyal input[7]. Rangkaian yang digunakan nantinya akan berupa seperti dibawah ini:



Gambar 4. Gambar Penguat Inverting

2. Penguat non Inverting

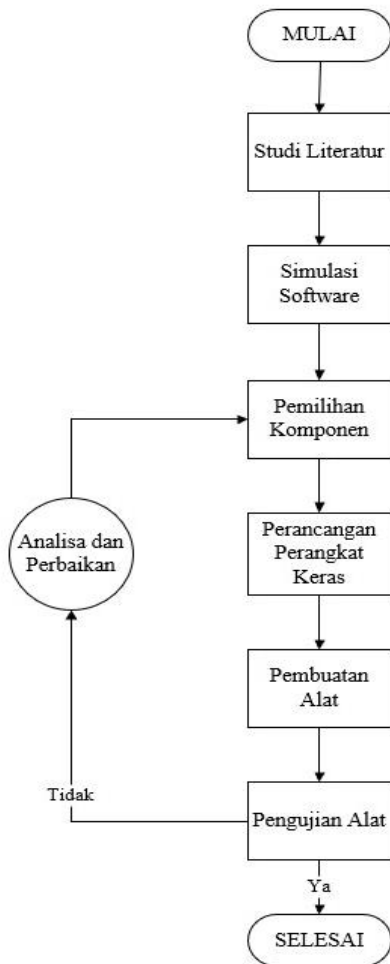
Sedangkan penguat tidak dibalik adalah penggunaan op ampere yang digunakan sebagai penguat sinyal output. Dimana hasil sinyalnya sefasa dengan sinyal input[7]. Ouput yang didapat nantinya akan berupa seperti dibawah ini:



Gambar 5. Gambar penguat non inverting

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Alir

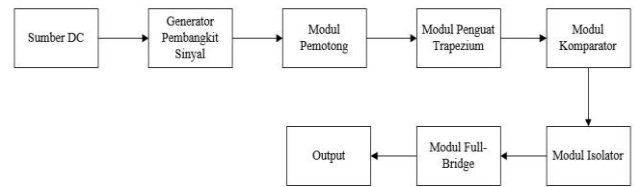


Gambar 6. Diagram Alir Metode Penelitian

Gambar diagram alir diatas merupakan langkah perancangan yang dimulai dari sebagai berikut:

1. Studi literatur  
Dengan mencari jurnal-jurnal sebagai acuan.
2. Simulasi software  
menentukan komponen untuk meminimalisir kesalahan saat melakukan perancangan, menggunakan aplikasi proteus.
3. Pemilihan komponen  
Pada tahapan ini setelah melakukan simulasi software melakukan pemilihan komponen untuk dipakai.
4. Perancangan perangkat keras  
Pada tahapan ini melakukan pembuatan layout PCB.
5. Pembuatan Alat  
Tahapan ini melakukan penyolderan antara komponen dan layout PCB yang telah dibuat.
6. Pengujian Alat  
Pada tahapan ini dilakukan pengujian pertahap dari setiap modul apakah output yang diinginkan sesuai jika tidak sesuai maka kembali pada analisa dan pebaikan.

#### B. Diagram Blok



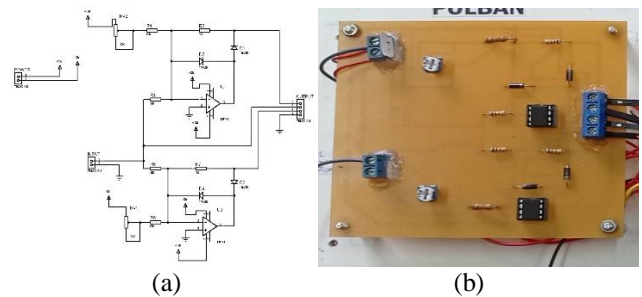
Gambar 7. Diagram Blok Perancangan Sistem

Diagram blok diatas menjelaskan proses alur alat inverter satu fasa unipolar *trapesium pulse width modulation* dimana sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa dan sinyal referensinya trapezium. Sinyal trapezium berasal dari pembangkit sinyal segitiga lalu dipotong dengan rangkaian pemotong dengan menggunakan opamp dan diode untuk memotong sinyal segitiga pada siklus positif dan negatif. Setelah mendapat sinyal segitiga yang dipotong pada bagian siklus positif dan negative, kemudian dengan rangkaian penguat sinyal trapezium terbentuk. Lalu sinyal segitiga sebagai pembawa dibandingkan dengan sinyal referensi yang menjadi dua yaitu trapezium menggunakan rangkaian komparator, sehingga sinyal keluaranya berbentuk kotak atau sinyal pulsa, kemudian sinyal pulsa tersebut masuk ke rangkaian daya. Sebelum masuk ke rangkaian daya, terdapat rangkaian *driver/optocoupler* sebagai isolasi antara rangkaian daya dan rangkaian kontrol yang selanjutnya akan masuk ke rangkaian *full-bridge*. Inverter ini tidak menggunakan trafo, sehingga perlu sumber DC 486 V, maka dari itu pada rangkaian *full-bridge* diberi tegangan menggunakan DC Chopper.

#### 1. Modul pemotong

Modul pemotong pada gambar dibawah ini berfungsi untuk menghasilkan sinyal segitiga yang terpotong pada siklus negative dan siklus positifnya, dimana rangkaian modul pengubah trapezium ini menggunakan op-amp LM741 lalu dibutuhkan beberapa komponen lain yaitu resistor dan dioda.

Output Modul pengubah trapezium ini juga digunakan sebagai input untuk rangkaian modul penguat.

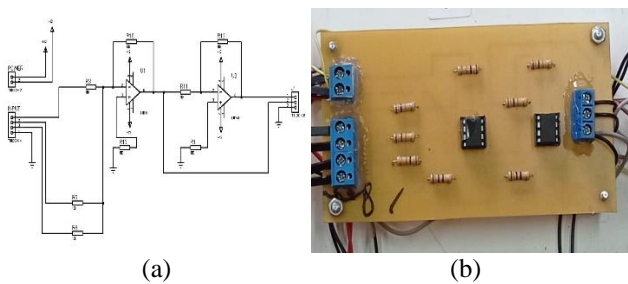


Gambar 8.(a) Rangkaian Modul Pemotong, (b) Realisasi Modul Pemotong

#### 2. Modul penguat trapezium

Modul penguat pada gambar dibawah ini berfungsi untuk menghasilkan sinyal trapezium, dimana rangkaian modul penguat trapezium ini menggunakan op-amp LM741 lalu dibutuhkan beberapa komponen lain yaitu resistor.

Output Modul penguat ini juga digunakan sebagai input untuk rangkaian modul komparator.

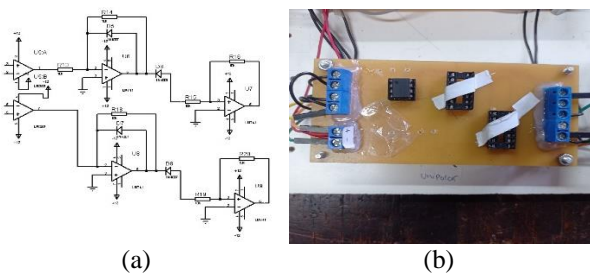


Gambar 9. (a) Rangkaian Modul Penguat Trapezium, (b) Realisasi Modul Penguat Trapezium

### 3 Modul komparator

Modul komparator pada gambar dibawah ini berfungsi untuk menghasilkan sinyal pulsa unipolar yang meliki siklus positive terlebih dahulu baru negative, dimana rangkaian modul komparator ini menggunakan op-am LM393 lalu dibutuhkan beberapa komponen lain yaitu resistor dan dioda.

Output Modul penguat ini juga digunakan sebagai input untuk rangkaian modul terisolasi.

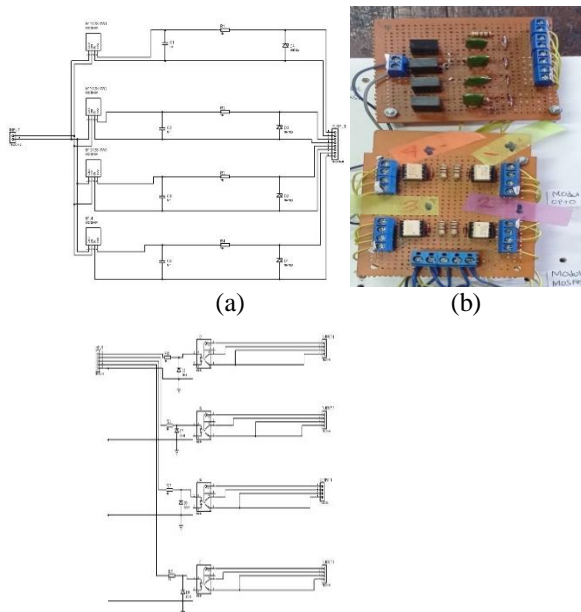


Gambar 10. (a) Rangkaian Modul Komparator, (b) Realisasi Modul Komparator

### 4 Modul isolator

Modul isolator pada gambar dibawah ini berfungsi untuk memisahkan sinyal pulsa unipolar yang meliki siklus positive terlebih dahulu baru negative dan sinyal pulsa unipolar yang meliki siklus negative terlebih dahulu baru positive, dimana rangkaian modul terisolasi ini menggunakan TLP351 lalu dibutuhkan beberapa komponen lain yaitu resistor dan dioda.

Output Modul terisolasi ini juga digunakan sebagai input untuk rangkaian modul full-bridge.

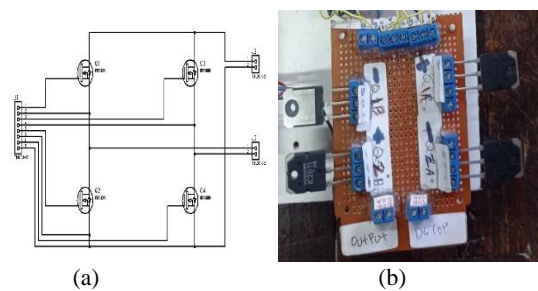


Gambar 11. (a) Rangkaian Modul Isolator, (b) Realisasi Modul Isolator

### 5 Modul Full-Bridge

Modul Full-Bridge pada gambar dibawah ini berfungsi untuk switching sinyal pulsa unipolar yang meliki siklus positive terlebih dahulu baru negative dan sinyal pulsa unipolar yang meliki siklus negative terlebih dahulu baru positive, dimana rangkaian modul full-bridge ini menggunakan mosfet k2611 l.

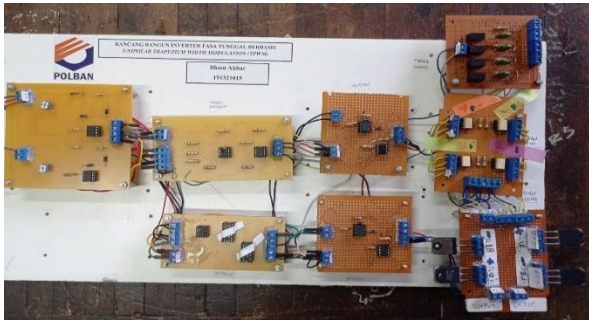
Output Modul full-bridge ini yang menghasilkan tegangan 220volt.



Gambar 12. (a) Rangkaian Modul Full-Bridge, (b) Realisasi Modul Full-Bridge

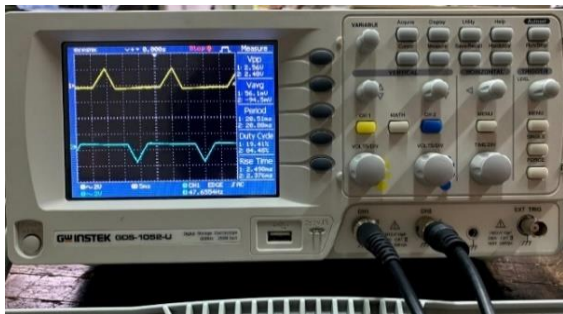
## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 13 merupakan hasil dari realisasi alat inverter trapezium pulse width modulation. Pada Pengujian ini dilakukan pengecekan keluaran gelombang untuk setiap modul menggunakan oscilloscope dengan 2 channel.



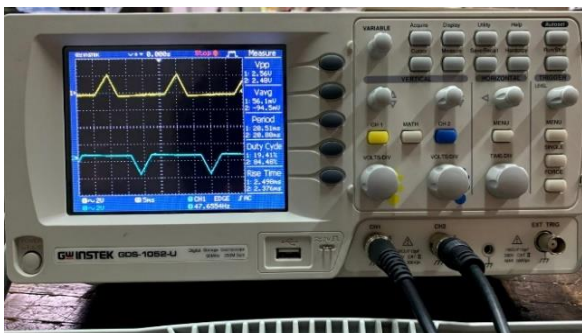
Gambar 13. Realisasi Keseluruhan Alat Inverter

Pada gambar 14 merupakan hasil dari modul pemotong yang keluaran sinyal segitiga positif yang dipotong. Dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian telah terbukti pada chanel 2 sinyal positive segitiga yang dipotong memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 2,48V dan memiliki frekuensi sebesar 47,65Hz.



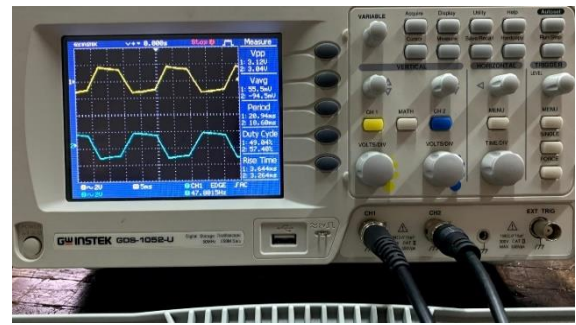
Gambar 14. Hasil Pengujian Modul Pengubah Trapezium Sinyal Positive Segitiga Yang Dipotong

Pada gambar 15 merupakan hasil dari modul pemotong yang keluaran sinyal segitiga negative yang dipotong. Dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian telah terbukti pada chanel 1 sinyal negative segitiga yang dipotong memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 2,6V dan memiliki frekuensi sebesar 47,65Hz.



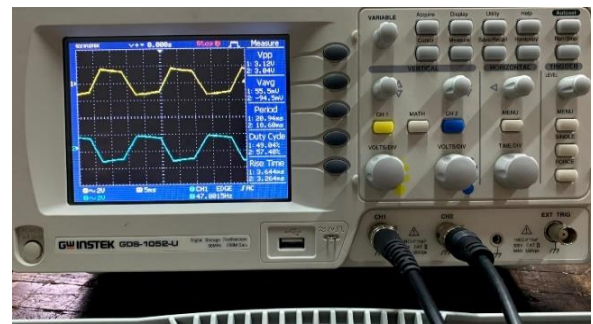
Gambar 15. Hasil Pengujian Modul Pengubah Trapezium Sinyal Negative Segitiga Yang Dipotong

Pada gambar 16 merupakan hasil dari modul penguat trapezium yang keluarannya sinyal trapezium positif. Dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian telah terbukti pada chanel 2 sinyal trapezium positive yang memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 3,04V dan memiliki frekuensi sebesar 47,80Hz.



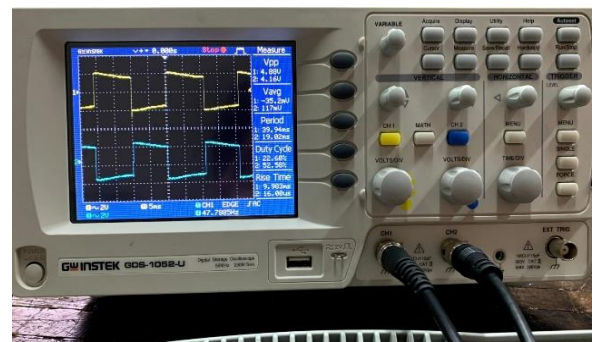
Gambar 16. Hasil Pengujian Modul Penguat Sinyal Trapezium positive

Pada gambar 17 merupakan hasil dari modul penguat trapezium yang keluarannya sinyal trapezium negative. Dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian telah terbukti pada chanel 2 sinyal trapezium negative yang memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 3,12V dan memiliki frekuensi sebesar 47,80Hz.



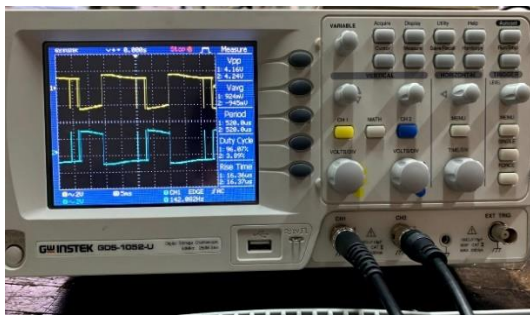
Gambar 17. Hasil Pengujian Modul Penguat Sinyal Trapezium Negative

Pada gambar 18 merupakan hasil dari modul komparator yang keluarannya sinyal kotak atau sinyal pulsa positif dan negatif. Dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian telah terbukti sinyal kotak positive pada chanel 2 memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 4,16V dan sinyal kotak negative pada chanel 1 memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 4,88V dan memiliki frekuensi sebesar 47,78Hz.



Gambar 18. Hasil Pengujian Modul Komparator Sinyal Pulsa Positif dan Negatif

Pada gambar 19 merupakan hasil dari modul komparator yang keluarannya sinyal kotak atau sinyal pulsa positif dan negatif. Dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian telah terbukti pada chanel 1 sinyal kotak positive memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 4,16V dan pada chanel 2 sinyal kotak negative memiliki tegangan  $V_{pp}$  sebesar 4,24V dan memiliki frekuensi sebesar 142,002Hz.



Gambar 19. Hasil Pengujian Modul Komparator Sinyal Pulsa Positif dan Negatif

Pada gambar 20 merupakan hasil dari modul isolator yang keluarannya sinyal kotak unipolar yang mempunyai level tegangan positif terlebih dahulu atau negatif dahulu. Dan dapat dijelaskan pula bahwa hasil pengujian telah terbukti pada chanel 1 sinyal kotak unipolar memiliki tegangan Vpp sebesar 13,9 V dan pada chanel 2 sinyal kotak unipolar memiliki tegangan Vpp sebesar 13,8V.



Gambar 20. Hasil Pengujian Modul Isolator

Pada gambar 21 merupakan hasil dari modul *full-bridge* yang keluarannya berupa tegangan rms 220VAC. Dan tegangan pada DC Chopper 486VDC.



Gambar 21. Hasil Pengujian Output pada modul full-bridge

Tabel 1 Hasil Pengujian Modul Penguat Trapezium

No	Variabel	Tegangan	Frekuensi
1	Tegangan Input	2,56V	47,8Hz
2	Tegangan Output	3,12Vpp	47, 8Hz

Pada gambar 16 hasil pengujian modul penguat trapezium positive ini yang diukur pada terminal output 1 didapat tegangan output sebesar 3,12Vpp dan untuk pengukuran tegangan input pada terminal input 1 sebesar 2,56Vpp yang berasal dari rangkaian pemotong sinyal carriers atau sinyal segitiga dan memiliki frekuensi 47,8Hz.

Tabel 2 Hasil Pengujian Modul Komparator

No	Variabel	Tegangan	Frekuensi
1	Tegangan Input Sinyal Trapezium	3,12Vpp	50Hz
2	Tegangan Input Sinyal Segitiga	5Vpp	300Hz
3	Tegangan Output	5Vpp	142Hz

Pada gambar 19 hasil pengujian modul komparator ini yang diukur pada terminal output 1 didapat tegangan output sebesar 5Vpp dan untuk pengukuran tegangan input pada terminal input 1 tegangan input sinyal trapezium sebesar 3,12Vpp yang berasal dari rangkaian penguat trapezium dan untuk pengukuran tegangan input pada terminal input 2 tegangan input segitiga sebesar 5Vpp, frekuensi pada output sebesar 142Hz yang diukur pada terminal output 1.

Tabel 3 Hasil Pengujian Gelombang Pada Modul Optocoupler

No	Variabel	Tegangan	Frekuensi
1	Tegangan Input Optocoupler	5Vpp	142Hz
2	Tegangan Output Optocoupler	13,8Vpp	1,34kHz

Pada gambar 20 hasil pengujian gelombang pada modul optocoupler yang diukur pada terminal output 1 didapat tegangan output sebesar 13,8Vpp dan untuk pengukuran tegangan input pada terminal input 1 tegangan input sebesar 5Vpp yang berasal dari rangkaian komparator, lalu frekuensi pada output sebesar 1,34Hz yang diukur pada terminal output 1.

Tabel 4 Hasil Pengujian Pada Modul *Full-Bridge*

No	Variabel	Tegangan
1	Tegangan Input	486VDC
2	Tegangan Output	220VAC

Pada gambar 21 hasil pengujian pada modul *full-bridge* ini yang diukur pada terminal output didapat tegangan output sebesar 220VAC dan untuk pengukuran tegangan input pada terminal input *DC Chopper* tegangan input sebesar 486VDC.

Tabel 5 Hasil Pengujian Beban

No	Menggunakan Beban [kΩ]	Hasil Uji Arus
1	5,6	14,64mA
2	11,2	14,45mA
3	16,8	13,63mA
4	22,4	13,15mA
5	28	05,08mA

Dari hasil pengujian beban bilamana dipasang 1 buah beban resistor 5watt5,6kohm maka arus akan terbaca pada alat ukur ampermeter sebesar 14,64mA dan bilamana beban dipasang beban resistor 10watt11,2kohm maka arus akan

terbaca pada alat ukur ampermeter sebesar 14,45mA. Begitupun apabila dipasang beban resistor 25watt28kohm maka arus yang terbaca pada alat ukur ampermeter sebesar 05,08mA.

Tabel 6 Hasil Pengujian THD Tegangan

No	Menggunakan Beban [kΩ]	Hasil uji THD
1	5,6	93,7%
2	11,2	91,2%
3	16,8	60,8%
4	22,4	64,7%
5	28	63%

Dari hasil pengujian THD tegangan dapat dilihat pada tabel diatas yaitu bilamana dipasang beban resistor 5watt5,6kohm maka THD akan terbaca pada alat ukur metrel sebesar 93,7% dan bilamana dipasang beban resistor 10watt11,2kohm maka THD akan terbaca pada alat ukur metrel sebesar 91,2%. Begitupun apabila dipasang beban resistor 25watt28kohm maka THD yang terbaca pada alat ukur metrel sebesar 63%. Pada pengujian THD inverter ini belum terpasang filter maka dari itu hasil pengujian THD masih besar dari yang diinginkan.

## V. KESIMPULAN

Inverter satu fasa ini menghasilkan tegangan sebesar 220VAC, dengan arus 14,64mA, THD 63%. Agar nilai THD kecil maka disarankan menggunakan filter pada penelitian selanjutnya

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan tugas akhir nomor B/209/PL1/HK.02.00/2022

## REFERENSI

- [1] S. N. Hutagalung and M. Panjaitan, "Prototype Rangkaian Inverter Dc Ke AC 900 Watt," *J. Pelita Inform.*, vol. 6, no. 1, p. 64, 2017.
- [2] H. H. Pradana, J. T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrid," 2018.
- [3] A. H. Rachman *et al.*, "Rancang bangun modul pembangkit listrik tenaga bayu," no. September, pp. 152–157, 2021.
- [4] I. F. Muhamad, D. Septiyanto, and N. Mulyono, "Rancang Bangun Modul Trapesium Pulse Width Modulation (TPWM)," *Pros. SEMNASTERA (Seminar Nas. Teknol. dan Ris. Ter.)*, pp. 128–137, 2021.
- [5] Karyadi and Suryono, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan IC SG 3525," *Edu Elektr. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 25–29, 2021.
- [6] Eka Maulana, "Basic Theory of Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors," *Maulana.Lecture.Ub.Ac.Id*, pp. 1–34, 2014.
- [7] L. E. Nuryanto, "Penerapan Dari Op-Amp ( Operational Amplifier)," *Orbith*, vol. 13, no. 1, pp. 43–50, 2017.