

Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Berbasis *Bipolar Trapezium Pulse Width Modulation* (TPWM)

Bela Ulima Ambarsani, Nanang Mulyono, Dwi Septiyanto

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Bandung, Indonesia
Bela.ulima.tlis19@polban.ac.id

Abstrak

Ketersediaan energi listrik secara terus menerus sangat dibutuhkan beban elektrik terutama pada beban yang bersifat emergensi. Energi tersebut dapat berupa tegangan dalam bentuk AC (arus bolak - balik). Disisi lain, energi listrik dapat disimpan dalam bentuk tegangan DC (arus searah). Inverter merupakan suatu alat untuk mengubah tegangan DC ke AC. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan inverter satu fasa dengan tegangan 220 VAC frekuensi 50Hz yang dimulai dari proses perancangan sampai dengan implementasi. Metode switching yang digunakan pada penelitian ini yaitu bipolar TPWM (*Trapezium Pulse Width Modulation*). Bipolar TPWM diperoleh dari hasil pengolahan sinyal secara analog yaitu segitiga 300Hz sebagai sinyal *carrier*, dan segitiga 50Hz diolah menjadi sinyal trapezium yang digunakan sebagai sinyal referensi. Kedua sinyal tersebut (referensi dan *carrier*) dibandingkan dan dipisahkan polaritasnya. Hasil proses tersebut digunakan untuk switching mosfet yang dikonfigurasi *full - bridge*. Hasil yang didapat yaitu inverter satu fasa 230VAC dengan regulasi tegangan 0,86%, frekuensi 50Hz, dan nilai THD 62,8%.

Kata Kunci : *inverter, DC, AC, frekuensi*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik sering digunakan untuk peralatan rumah tangga juga industri, peralatan elektronik yang digunakan umumnya menggunakan sumber tegangan AC (*Alternating Current*), namun ketersediaan tegangan AC masi diperlukan banyak sedangkan energi yang tersimpan masih dalam bentuk DC, oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat inverter untuk mengonversi sumber DC (*Direct Current*) menjadi sumber AC. Inverter juga diperlukan dalam pengaplikasian seperti pengatur kecepatan motor induksi, UPS (*uninterruptible power supplies*) dan masih banyak lagi. Pembuatan inverter dapat dilakukan dengan PWM (*Pulse Width Modulation*). PWM tersebut terdapat beberapa metode seperti DPWM (*Discontinue Pulse Width Modulation*), TPWM (*Trapezium Pulse Width Modulation*), dan SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*).

Referensi [1] dari penelitian Indra Muhamad Faizal dan Dwi Septiyanto dengan judul “Rancang

Bangun Modul *Trapezium Pulse Width Modulation* (TPWM)”. Penelitian ini mengkonversi gelombang sinusoidal menjadi gelombang trapezium. Gelombang sinusoidal tersebut disambungkan pada modul penggeser fasa yang nantinya menghasilkan gelombang sinusoidal 3 fasa dan berbeda fasa 120°. Keluaran dari penggeser fasa disambungkan ke zero crossing yang nantinya mempunyai keluaran gelombang kotak 3 fasa. Keluaran modul converter 3 fasa disambungkan ke modul pengatur amplitude untuk menghasilkan gelombang trapezium 3 fasa. Keluaran modul komparator disambungkan ke pembeda polaritas untuk menghasilkan gelombang pwm berbeda polaritas. Berdasarkan penelitian tersebut modul yang dibuat oleh Indra memiliki frekuensi 204,734Hz pada saat polaritas positif, dan frekuensi 209,720Hz pada saat polaritas negative, dan amplitudo 4,196V dengan frekuensinya 209,720 Hz.

Referensi [2] dari penelitian Fitrah Hidayat dan Krismadinata, yang berjudul “Rancang Bangun VVVF Inverter 3 Fasa untuk Operasi Motor Induksi Tiga Fasa dengan Antarmuka Komputer” penelitian

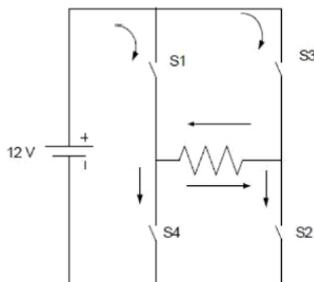
ini membuat sebuah rangkaian dan prototipe inverter tiga fasa yang sudah dirancang dan diuji pada sebuah motor induksi tiga fasa. Hasil pada pengujian yaitu perubahan dari frekuensi pada keluaran inverter, berdasarkan dari penyempitan atau pelebaran dari nilai-nilai duty cycle pada lookup table.

Referensi [5] dari penelitian Aan Maulana yang berjudul “Rancang Bangun Inverter DC ke AC Satu Fasa Mode Push Pull Berbasis Arduino”. Dalam penelitian ini membuat inverter yang dilengkapi rangkaian Filter Band Pass untuk menyaring frekuensi noise. Agar frekuensi yang dihasilkan jauh lebih optimal inverter ini menggunakan type push pull. Arduino disini digunakan sebagai pembangkit sinyal frekuensi 50Hz dan transformator CT untuk menaikkan tegangannya. Berdasarkan penelitian yang dibuat oleh Aan Maulana tersebut didapatkan frekuensi 50Hz dan tegangan saat tanpa beban 220V.

Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat sebuah alat inverter satu fasa dengan gelombang pulsa trapezium yang bipolar, dan frekuensi gelombang yang didapat 50Hz, tegangan sekitar 230VAC, regulasi tegangan 0,86%, dan THD 62,8%. Tegangan AC yang dihasilkan dari mosfet dinaikkan menggunakan DC Chopper.

A. Inverter Satu Fasa

Inverter sama halnya dengan rangkaian elektronika digunakan untuk merubah tegangan pada arus VDC menjadi tegangan pada arus VAC, inverter ini mempunyai rangkaian *switch* yang terdiri dari transistor atau mosfet, yang nilai tegangan dan frekuensinya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Teknik modulasi lebar pulsa digunakan untuk mengatur tegangan output inverter.

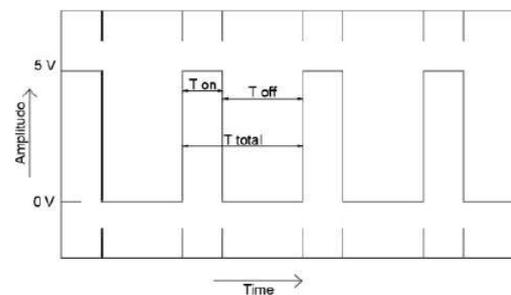


Gambar 1. Cara kerja inverter satu fasa

Cara kerja inverter dengan menggunakan empat sakelar, yaitu jika sakelar S1 dan S2 tertutup maka arus DC mengalir menuju beba Ri dari arah kiri ke kanan, jika sakelar S3 dan S4 menutup maka arus akan mengalir ke beban Ri dari arah kanan ke kiri.

B. Pulse Width Modulation (PWM)

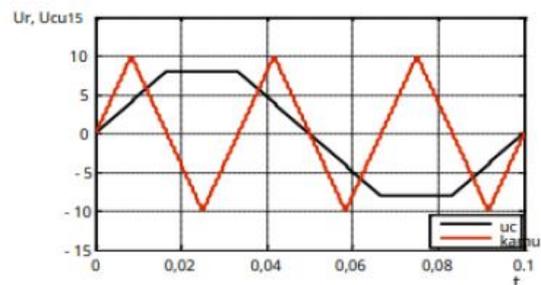
Modulasi lebar pulsa atau pwm yang menghasilkan sinyal atau gelombang sinusoidal dengan memakai frekuensi tinggi dari gelombang persegi beserta siklus kerja yang berbeda antara *high* and *low*. *Duty cycle* yaitu presentase waktu sinyal *high* dan sinyal *low*, presentase tersebut nantinya berbanding lurus dari tegangan RMS yang diperoleh. Modulasi lebar pulsa diperoleh dari gelombang kotak dimana *duty cycle* gelombangnya dapat diubah agar menghasilkan *output* yang bervariasi atau nilai rata - rata gelombang tersebut [3].



Gambar 2. Bentuk gelombang pulsa

C. Modulasi Trapezium PWM

Modulasi trapezium ini digunakan untuk menghasilkan sinyal kontrol perangkat daya semikonduktor. Pada tegangan kontrol dianggap trapesium sama kaki saat interval waktunya sama. Sinyal perintah transistor berada di cabang inverter, maka sinyal perintah pada transistor pada cabang inverter diperoleh saat melakukan perbandingan antara sinyal perintah trapezium dan sinyal *reference* trianguler, yang frekuensinya jauh lebih tinggi dari frekuensi yang diperintahkan.



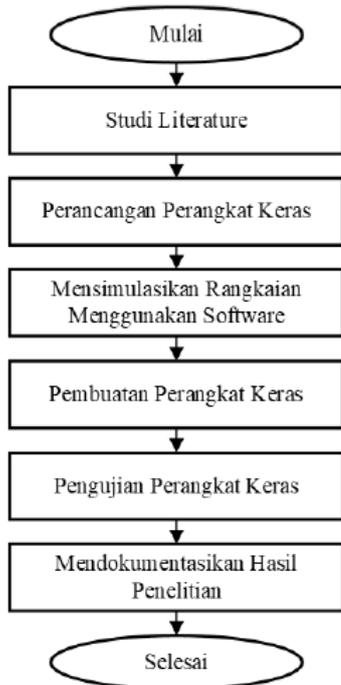
Gambar 3. Prinsip utama modulasi tpwm

II. METODE PENELITIAN

Metode pada penelitian ini dilakukan dari perancangan hingga dilakukannya pengujian.

Gambar diagram alir berikut merupakan langkah penelitian yang dimulai dari:

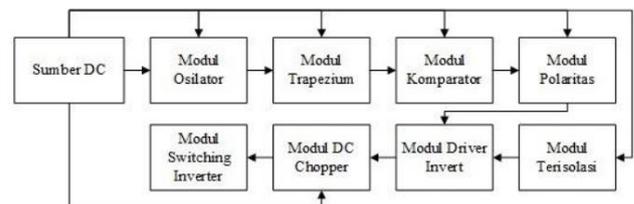
1. Studi literatur dilakukan dengan mencari jurnal-jurnal sebagai acuan yang terdapat hubungan dengan alat yang akan dirancang dan dibuat.
2. Perancangan perangkat keras dilakukan dengan menentukan perhitungan rangkaian, pemilihan komponen, dan pembuatan pcb.
3. Simulasi rangkaian menggunakan software dilakukan untuk meminimalisir kesalahan yang akan terjadi, simulasi software menggunakan aplikasi proteus.
4. Pembuatan perangkat keras dilakukan setelah simulasi software berjalan dengan lancar dan pemilihan komponen sudah sesuai. Sehingga dapat dilakukan integrasi perangkat keras.
5. Pengujian perangkat keras dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope* untuk menguji apakah alat berhasil sesuai yang diharapkan atau tidak. Apabila alat tidak sesuai, maka proses perancangan kembali lagi ke tahap perancangan perangkat keras hingga ke tahap-tahap selanjutnya.
6. Dokumentasi hasil penelitian dilakukan setelah pengujian berjalan sesuai harapan dan semua data telah terkumpul.



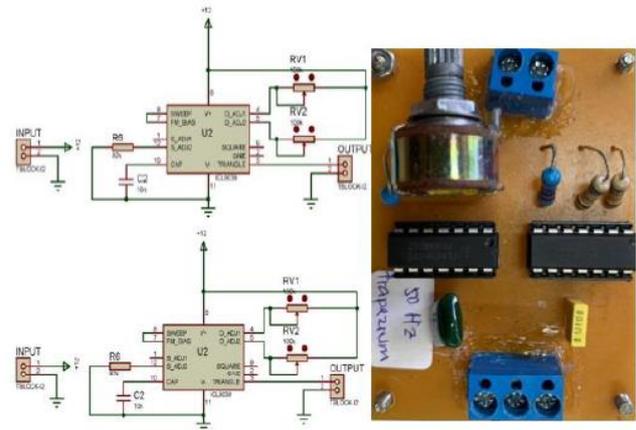
Gambar 4. Langkah – langkah penelitian

Diagram blok menjelaskan proses alur pengolahan modul bipolar *trapezium pulse width modulation* dimana sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa dan sinyal referensinya trapezium. Untuk menghasilkan sinyal trapesium yaitu dengan menggunakan modul pembangkit sinyal segitiga dengan Frekuensi tetap sebesar 50Hz yang diubah dengan rangkaian trapesium op-amp dan diode untuk memotong sinyal agar menghasilkan sinyal yang positif dan negatif. Setelah mendapatkan sinyal trapesium, sinyal tersebut diteruskan ke modul komparator sehingga sinyal keluarannya menjadi kotak, kemudian sinyal kotak tersebut dimasukkan ke modul beda polaritas yang dibedakan polaritasnya agar dapat bekerja pada saat positif dan negatif.

Setelah modul polaritas ini terdapat modul mosfet yang berfungsi sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC dengan menggunakan sistem switching. Modul DC Chopper berfungsi untuk menaikkan tegangan DC.



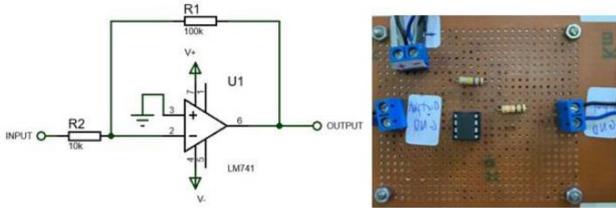
Gambar 5. Diagram blok perancangan system



Gambar 6. Rangkaian dan realisasi modul osilator

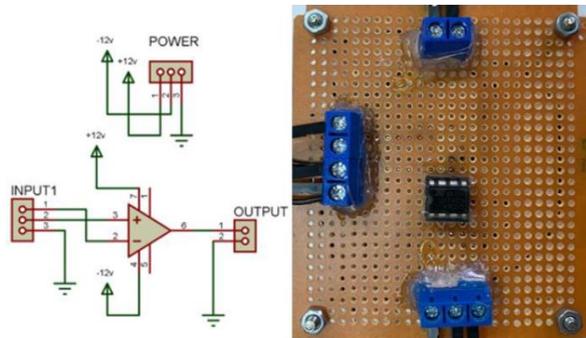
Pada Gambar 6 modul osilator ini digunakan sebagai sinyal carrier yang akan diteruskan ke modul komparator dan juga trapezium, osilator ini menggunakan IC L8038 yang akan membangkitkan sinyal sinus dan segitiga, osilator ini akan dibentuk frekuensinya hingga menjadi 50Hz dan 300Hz, 50Hz dijadikan sebagai input modul trapesium dan untuk 300Hz dijadikan sebagai input modul

komparator. Modul ini menggunakan resistor 68KΩ dan kapasitor 100nF, frekuensi yang didapatkan pada perhitungan yaitu 50Hz, untuk memudahkan pengaturan frekuensi maka digunakan potensiometer stereo 100KΩ pada modul osilator ini. Setiap output sinyal osilator ini dicek menggunakan oscilloscope.



Gambar 7. Rangkaian dan realisasi modul trapezium

Pada Gambar 7 modul ini menggunakan IC LM741 dan *Input* pada modul trapesium ini yaitu sinyal segitiga yang nantinya akan dipotong sehingga keluaran sinyal outputnya menjadi segitiga yang dipotong pada siklus positif dan negatif yaitu trapezium, dan untuk output sinyalnya dicek menggunakan *oscilloscope*.

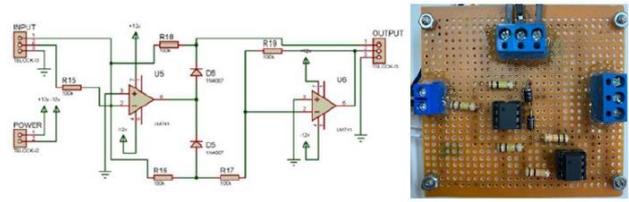


Gambar 8. Rangkaian dan realisasi modul komparator

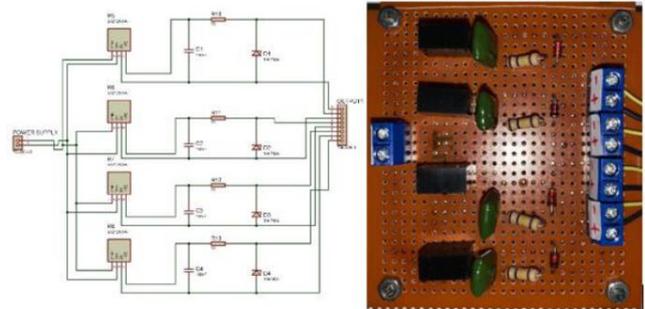
Pada Gambar 8 modul komparator menggunakan *input* sinyal segitiga dari osilator Frekuensi 300hz dan output dari modul trapesium yaitu sinyal trapesium. lalu melakukan perbandingan antara sinyal trapesium dan sinyal segitiga, sehingga sinyal keluaran modul komparator yaitu sinyal kotak atau sinyal pulsa, modul ini menggunakan IC OPAMP LM741 untuk perbandingan. Setiap output sinyalnya dicek menggunakan *oscilloscope*.

Pada gambar 9 rangkaian ini terdapat IC OPAMP LM741, diode, IN4007, dan resistor 47Ω pada modul komparator yang output sinyalnya berupa sinyal kotak dijadikan sebagai *input* sinyal pada modul polaritas, sehingga nantinya sinyal kotak tersebut akan dibeda polaritaskan menjadi dua bagian yaitu bagian positif dan negatif, dan

untuk setiap output sinyalnya dicek menggunakan *oscilloscope*.

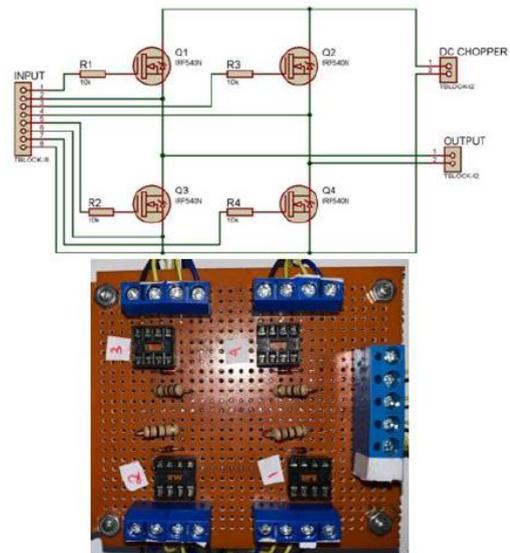


Gambar 9. Realisasi modul polaritas



Gambar 10. Realisasi modul isolasi

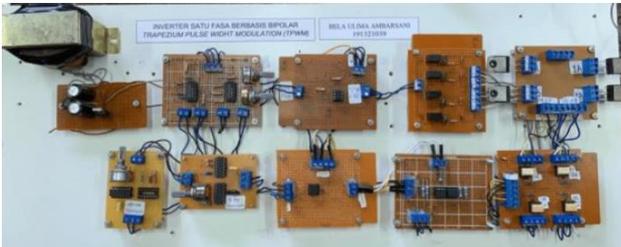
Pada Gambar 10 modul ini sebagai kotak/sinyal pulsa yang masuk ke rangkaian switching inverter yang berfungsi untuk *switching* mosfet. Selain itu juga disaat terjadi *trouble* pada rangkaian daya maka rangkaian kontrol tidak akan terkena dampaknya dan begitupun sebaliknya, Ketika terjadi *trouble* pada rangkaian kontrol maka rangkaian daya akan aman. Rangkaian ini menggunakan TLP351, B1212S-1W berfungsi sebagai isolasi. Catu daya *input* yang masuk ke mosfet antara sinyal positif dan negatif tidak masuk bersamaan



Gambar 11. Rangkaian dan realisasi modul mosfet

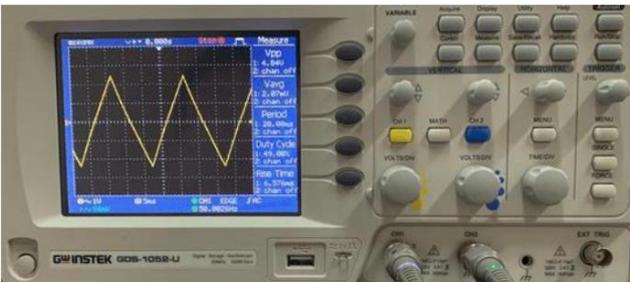
Pada Gambar 11 modul ini sebagai switching mosfet agar tidak bekerja secara bersamaan, mosfet K2611 digunakan untuk mengontrol tegangan dan arus, dan untuk setiap output sinyalnya dan tegangannya dicek menggunakan *oscilloscope*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



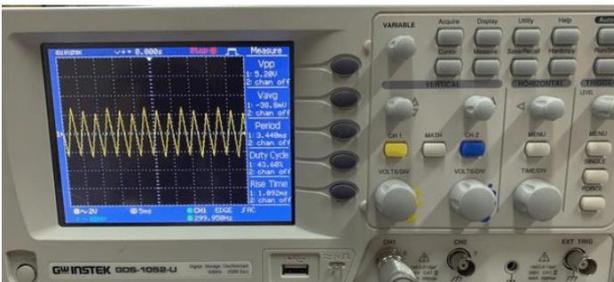
Gambar 12. Realisasi keseluruhan inverter trapezium pulse width modulation

Gambar 12 merupakan hasil dari realisasi sistem inverter trapezium pulse width modulation. Pengujian ini dilakukan dengan mengecek keluaran gelombang setiap modulnya menggunakan *oscilloscope* dengan fitur 2 channel.



Gambar 13. Output sinyal osilator frekuensi 50Hz

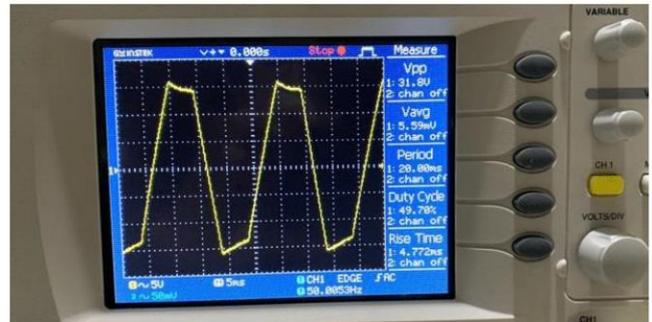
Pada Gambar 13 merupakan hasil dari gelombang modul osilator segitiga pada terminal pin 1 dalam gambar 6 dengan frekuensi 50Hz, dan nilai puncak ke puncaknya 4,84 Vp-p. output ini digunakan sebagai *input* modul trapezium.



Gambar 14. Output sinyal osilator frekuensi 300Hz

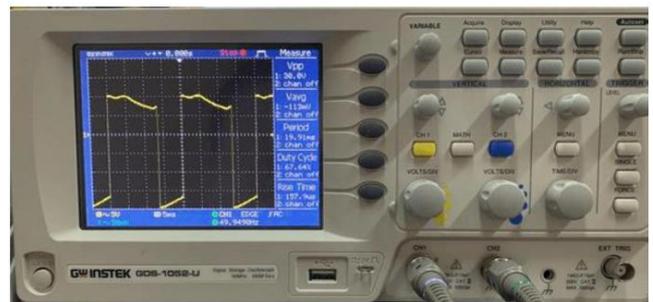
Pada Gambar 14 merupakan gelombang yang dihasilkan dari modul osilator segitiga dengan

frekuensi yang diatur yaitu 300Hz, dan nilai puncak ke puncaknya 5 Vp-p. output ini digunakan sebagai *input* modul komparator.



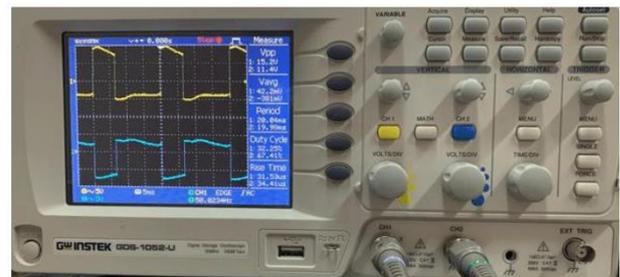
Gambar 15. Output sinyal trapezium

Gambar 15 merupakan gelombang trapezium yang dihasilkan dari modul trapezium dengan frekuensi 50Hz dan nilai puncak ke puncaknya 31,8 Vp-p.



Gambar 16. Output sinyal komparator

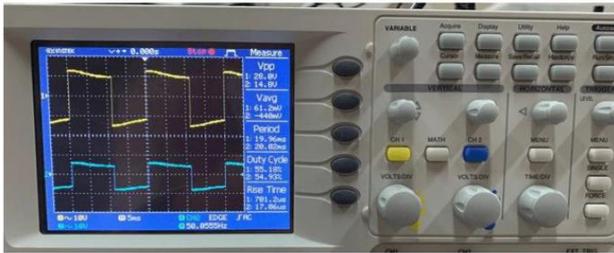
Pada Gambar 16 merupakan hasil keluaran dari modul komparator, komparator mengubah sinyal *input* trapezium menjadi sinyal kotak. Sinyal kotak berasal dari sinyal reference yaitu segitiga dan sinyal trapezium. Sinyal kotak memiliki nilai puncak ke puncak 30 Vp-p dan frekuensi 49,94Hz.



Gambar 17. Output sinyal beda polaritas

Pada Gambar 17 merupakan hasil dari keluaran modul beda polaritas, terdapat suatu kondisi dimana sinyal ini memiliki 2 sinyal yang berlawanan polaritasnya, output modul ini dimasukan ke modul

inverting sehingga mosfet tidak akan beroperasi bersamaan. Siklus positif ditunjukkan pada channel 1, dan siklus negatif ditunjukkan pada channel 2.



Gambar 18. Output sinyal Optocoupler

Pada gambar 18 menunjukkan output dari Gs dan Vs modul optocoupler 3 positif dan optocoupler 4 positif, pengukuran menggunakan *oscilloscope* ini menggunakan skala Volt/DIV 10V.



Gambar 19. Pengujian inverter satu fasa

Pada gambar 19 mosfet terhubung pada beban resistif yang divariasikan, kemudian DC Chopper dinaikkan tegangannya menjadi 220 VDC pada rangkaian inverter seperti yang terlihat pada gambar 19, pada pengujian ini digunakan sumber 12 VDC.

Berikut merupakan tabel dari hasil pengujian sinyal TPWM:

Tabel 1 Hasil Pengujian Sinyal TPWM

No	Variable	Nilai
1	Frekuensi Gelombang Output Segitiga	50Hz & 300Hz
2	Frekuensi Gelombang Output Trapezium	50Hz
3	Tegangan Input TPWM satu fasa	12 V
4	Tegangan Output TPWM satu fasa	31Vpp
5	Frekuensi TPWM satu fasa	50Hz

Input TPWM satu fasa dibangkitkan dengan tegangan 12 VDC. Kemudian menghasilkan Frekuensi sebesar 31 Vp-p. Sinyal gelombang TPWM satu fasa menggunakan sinyal *carrier* dan reference yang mempunyai output segitiga sebesar 50Hz dan 300Hz, output trapezium sebesar 50Hz yang menghasilkan frekuensi TPWM satu fasa 50Hz.

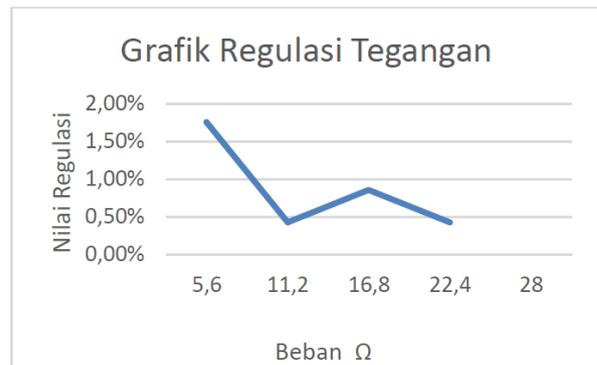
Tabel 2 Pengujian Beban

Tegangan (V)	Beban [Ω]	Arus (mA)	Regulasi Tegangan
227	5,6	0,39	1,76%
230	11,2	0,2	0,43%
229	16,8	0,13	0,86%
230	22,4	0,1	0,43%

Tegangan tidak berbeban yang terukur yaitu 231V, dari keempat beban yang divariatifkan maka regulasi tegangan dihitung dengan persamaan 1 dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 20.

$$\text{Regulasi tegangan} = \frac{V_a - V_b}{V_a} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan V_a yaitu tegangan tanpa beban dan V_b yaitu tegangan berbeban.



Gambar 20. Grafik regulasi tegangan

Pengujian inverter satu fasa menggunakan beban resistor yang bertahap, tegangan yang diperoleh tidak konstan antara 227V, 230V, 229V, 230V, 231V, ditambah beban resistif maka arus yang terukur semakin kecil. Tegangan berbeban 227V dengan selisih regulasi tegangan sebesar 1,76%, tegangan berbeban 230V dengan selisih regulasi tegangan sebesar 0,43%, tegangan 229V dengan selisih regulasi tegangan sebesar 0,86%.



Gambar 21. Pengukuran THD

Terukur nilai THD pada inverter ini menunjukkan nilai 62,8% Ketika inverter dibebani beban resistif sebesar 28 watt.

IV. KESIMPULAN

Inverter satu fasa yang dibuat menghasilkan tegangan sekitar 230VAC, dengan regulasi tegangan sebesar 0,86%, frekuensi 50Hz, dan THD 62,8%. Supaya nilai THDnya lebih kecil dari 62,8%, disarankan untuk menggunakan filter aktif atau pasif 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] I. M. Faizal, D. Septiyanto and N. Mulyono, "Rancang Bangun Modul Trapezium Pulse Widht Modulation (TPWM)," Prosiding Semnastera, vol. III, pp. 274-281, 23 Oktober 2021.
- [2] F. Hidayat and Krismadinata, "Rancang Bangun VVVF Inverter 3 Fasa untuk Operasi Motor Induksi Tiga dengan Antarmuka Komputer," Invotek, vol. 19, pp. 47-51, 2019.
- [3] S. Y. Panggabean, F. A. Setyawan and F. A. Setyawan, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM (Pulse Widht Modulation)," Electrician – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, vol. 11, no. 2, pp. 72-80, mei 2017.
- [4] Fathoni, "Rancang Bangun Perangkat Pembangkit Pwm Bipolar," Jurnal Eltek, vol. 1, 2018.
- [5] A. M. Iksan, "Rancang Bangun Inverter DC ke AC Satu fasa Mode Push Pull Berbasis Arduino," Repository Universitas 17 agustus 1945 surabaya, 2020.
- [6] Y. A. Sinaga, A. S. Samosir and A. Haris, "Rancang Bangun Inverter 1 Phasa dengan Kontrol Pembangkit Pulse Widht Modulation (PWM)," Electrician - Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, vol. 11, 2 Mei 2017.
- [7] N. Azhar, "Rancang Bangun Sistem Penyedia 220 VAC Berbasis Photovoltaik 1000 Wp dengan Kendali Logika Fuzzy," universitas jember, 2019.
- [8] R. B. P. Simanjuntak, M. S. and F. A. , "Rancang Bangun Inverter Mengubah Arus Listrik DC ke AC Berbasis Arduino Uno," Journal of Computer System and Informatics (JoSYC), vol. 2, no. 4, pp. 295-299, agustus 2021.
- [9] B. Maharmi, "Perancangan Iverter Satu Fasa Lima Level Modifikasi Pulse Widht Modulation," Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana, vol. 8, no. 1, pp. 24-31, 1 Januari 2017.
- [10] I. A. Mitran, A. Biotoleanu and M. Linca, "Energetical Analysis of Induction Motor and Voltage Inverter With Sinusoidal and Trapezoidal Pwm Control," buletinul AGIR, pp. 379-384.