

Desain dan Implementasi Inverter Satu Fasa Dengan Output Sinusoidal Menggunakan Metode Modulasi SPWM

Effendi¹, Intan Nurul Fajri²

¹ Program Studi Teknologi Elektronika Politeknik Aceh

² UPTD BLK Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi Kabupaten Bireuen

¹ Jl. Politeknik Aceh, Pango Raya, Banda Aceh 23119

² Jl. Bireuen - Takengon KM. 10 Desa Beunyt Kec. Juli Kab. Bireuen 24250

¹ effendi@politeknikaceh.ac.id ² 84intan@gmail.com

ABSTRACT

Single-phase inverter with sinusoidal output in this research was arranged by using Arduino Uno utilized as the pulse wave generator, where the ON and OFF pulse times were obtained by using the SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) modulation method. This modulation compare a sinusoidal reference wave that has frequency 50 Hz with a carrier wave in form of triangular with a frequency of 2 KHz. To get the time of each pulse, formerly a simulation is carried out using a computer (PSIM Program), furthermore by using the programming language on Arduino this pulse wave is used to trigger the H-Bridge circuit which is composed of components in the form of MOSFETs by using with help four TLP 250 circuits. The output wave from the H-Bridge circuit futhermore connected to a filter circuit that consist of inductor and capacitor components to get the output in the form of a sinusoidal wave at a resistive load of 44 Ohms.

Keywords: *Arduino Uno, SPWM, H-Bridge, TLP 250, and Filter*

ABSTRAK

Inverter satu fasa dengan output sinusoidal pada penelitian ini disusun dengan menggunakan Arduino Uno yang difungsikan sebagai pembangkit gelombang pulsa dimana waktu pulsa pada saat ON dan OFF diperoleh dengan menggunakan metode modulasi SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*). Modulasi ini membandingkan gelombang referensi berupa sinusoidal yang memiliki frekuensi 50 Hz dengan gelombang *carrier* berbentuk segitiga dengan frekuensi 2 KHz, untuk mendapatkan waktu masing-masing pulsa tersebut terlebih dahulu dilakukan simulasi dengan menggunakan komputer (program PSIM), selanjutnya dengan menggunakan bahasa pemrograman pada Arduino gelombang pulsa ini digunakan untuk mentrigger rangkaian *H-Bridge* yang disusun dari komponen berupa MOSFET dengan menggunakan bantuan rangkaian TLP 250 sebanyak empat buah. Gelombang output dari rangkaian *H-Bridge* selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian filter yang disusun dari komponen inductor dan kapasitor untuk mendapatkan hasil output dalam bentuk gelombang sinusoidal pada beban yang bersifat resistif sebesar 44 Ohm.

Kata Kunci : *Arduino Uno, SPWM, H-Bridge, TLP 250, dan Filter.*

I. PENDAHULUAN

Inverter merupakan salah satu sistem yang dapat mengkonverisikan teganan arus searah (DC) menjadi tegangan arus bolak-balik atau (AC)[1][2]. Sumber input yang digunakan untuk inverter dapat berasal dari beberapa sumber seperti baterai, sel surya, hingga rangkaian penyearah. Penggunaan saklar (*switch*) pada sebuah inverter dipilih berdasarkan untuk aplikasi apa sistem ini akan digunakan serta keandalan seperti apa yang diinginkan. Untuk aplikasi-apalikasi daya tinggi pada umumnya menggunakan IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), Thyristor dapat juga digunakan sebagai saklar. Untuk aplikasi daya rendah dapat menggunakan komponen elektronika berupa MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), komponen ini lebih disukai dari pada saklar yang lain

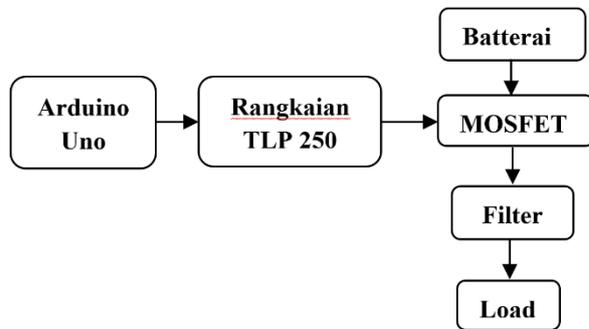
dikarenakan memiliki penguatan tegangan yang tinggi, dibutuhkan daya yang rendah dan memiliki kecepatan operational yang tinggi [1][2]. Pada penelitian ini saklar yang digunakan berupa MOSFET dengan tipe IRF 540 N dimana gelombang pulsanya diatur dengan menggunakan mikrokontroler berupa Arduino Uno.

Pulse width modulation (PWM) merupakan suatu metode yang digunakan untuk membawa informasi dalam bentuk sekumpulan pulsa-pulsa dengan cara mengatur lebar pulsanya[3]. PWM Sinusoidal berbasis *carrier* banyak digunakan pada inverter, yang bertujuan untuk menghasilkan sederet pulsa yang digunakan untuk menggerakkan saklar yang mempunyai tegangan rata-rata sebagaimana bentuk gelombang referensi sinusoidal, pulsa ini dihasilkan dari perpotongan antara gelombang referensi dan gelombang *carrier* yang berbentuk segitiga [4].

Teknik pen-switchingan SPWM banyak digunakan pada aplikasi industri dan pada aplikasi mobil listrik dengan sumber sel surya. Teknik SPWM memiliki karakteristik dimana amplitudo pulsanya konstan dan memiliki *duty cycle* yang berbeda untuk setiap periodenya, lebar dari setiap pulsa dimodulasi untuk mengontrol tegangan output inverter dan mengurangi harmonik [5].

II. METODE PENELITIAN

Inverter satu fasa dengan output sinusoidal pada penelitian ini secara blok diagram dapat dilihat pada Gambar 1, dimana Arduino berfungsi sebagai pembangkit gelombang pulsa yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan rangkaian TLP 250, rangkaian ini didesain untuk mentrigger gate MOSFET yang disusun secara *H-Bridge* untuk menghasilkan bentuk arus bolak-balik dari sumber searah berupa baterai. Output dari rangkaian *H-Bridge* selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian filter induktor dan kapasitor untuk menghasilkan bentuk gelombang output yang mendekati gelombang sinusoidal, adapun beban yang digunakan pada penelitian ini bersifat resistif sebesar 44 Ohm.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

1. Arduino Uno

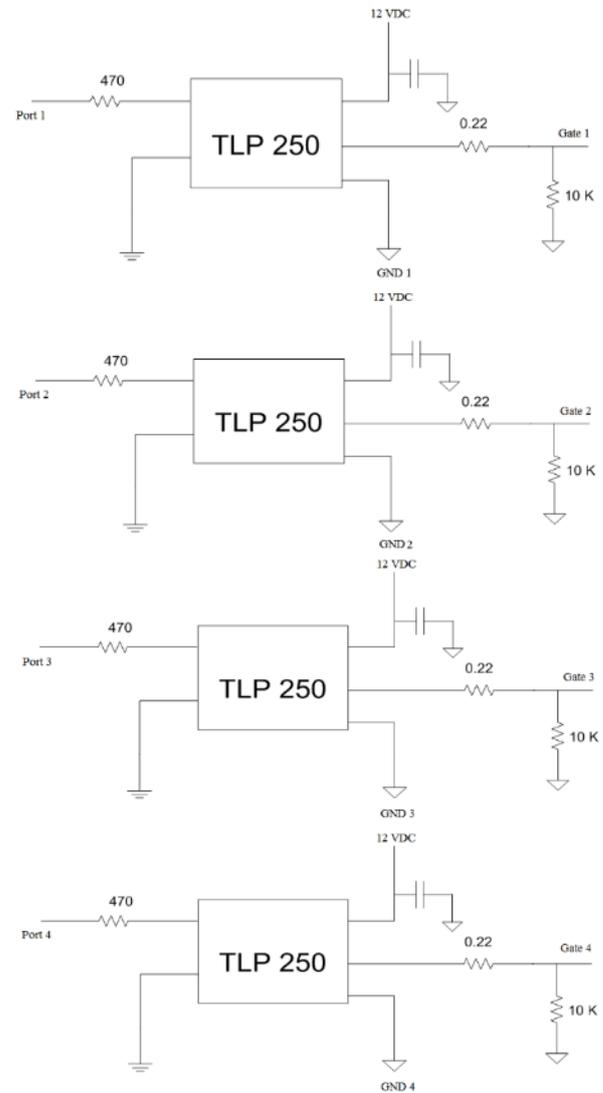
Arduino Uno merupakan *board* mikrokontroler yang menggunakan ATmega328 seperti pada Gambar 2 [6] sebagai processornya, pada penelitian ini Arduino Uno digunakan untuk menghasilkan gelombang pulsa yang dapat mentrigger *gate* MOSFET sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.



Gambar 2. Bentuk Fisik Arduino Uno

2. Rangkaian TLP 250

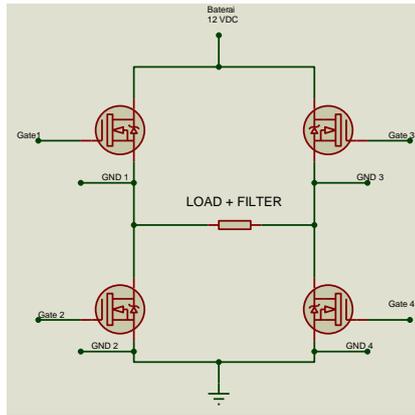
Rangkaian TLP 250 seperti pada Gambar 3 berfungsi sebagai jembatan antara Arduino Uno dengan daya yang menggunakan saklar berupa MOSFET yang disulut dengan menggunakan sumber catuan yang terpisah dengan catuan yang digunakan untuk menggerakkan Arduino. Luaran dari masing-masing TLP 250 ini dihubungkan dengan *gate 1*, *gate 2*, *gate 3*, dan *gate 4* dari masing-masing MOSFET sesuai dengan gelombang pulsa yang diberikan dari Arduino.



Gambar 3. Rangkaian TLP 250 [7]

3. Rangkaian MOSFET

Rangkaian MOSFET pada penelitian ini disusun secara *H-Bridge* seperti pada Gambar 4, hal ini dimaksudkan agar terciptanya arus bolak balik pada sisi beban dimana masing-masing MOSFET bekerja mengikuti aturan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Rangkaian MOSFET H-Bridge

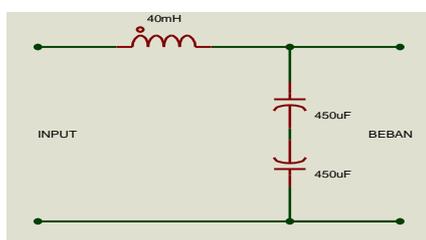
Pada waktu yang bersamaan MOSFET 1 dan 2 tidak boleh aktif secara bersamaan begitu juga dengan MOSFET 3 dan 4, hal ini akan menyebabkan rangkaian terhubung singkat [1][2].

Tabel 1. Pensaklaran MOSFET

No	Gate 1	Gate 2	Gate 3	Gate 4	Keterangan
1	1	0	0	1	Arus dari kiri ke kanan
2	0	1	1	0	Arus dari kanan ke kiri
3	1	1	0	0	Hubung singkat
4	0	0	1	1	Hubung singkat

4. Rangkaian Filter

Rangkaian filter yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari induktor dengan nilai sebesar 40 mH dan dua buah elektrolit kapasitor dengan kapasitas 450 uF yang disusun secara seri seperti di tunjukkan pada Gambar 5 dimana polaritas negatif kapasitor satu terhubung dengan polaritas negatif kapasitor yang kedua, susunan ini bertujuan untuk mendapatkan kapasitor non polar.

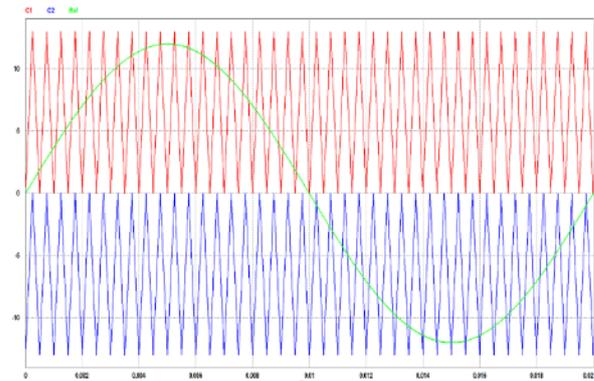


Gambar 5. Rangkaian Filter

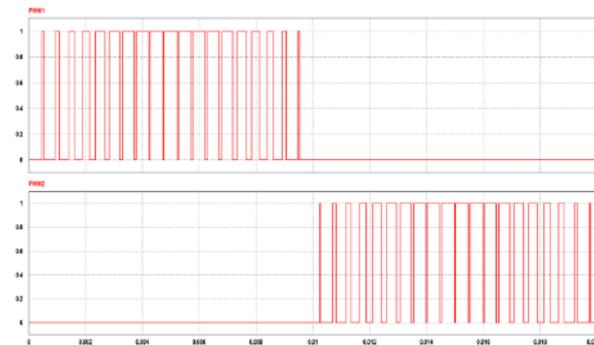
5. Topologi Strategi Modulasi SPWM

Modulasi SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) pada penelitian ini dihasilkan dengan membandingkan gelombang referensi berupa gelombang sinusoidal yang memiliki frekuensi 50 Hz dengan dua buah gelombang carrier (C1 dan C2) yang berbentuk segitiga dengan frekuensi 2 KHz seperti pada Gambar 6, pulsa yang di hasil dari komparasi antara gelombang C1 dengan gelombang referensi (PWM 1) akan digunakan untuk menggerakkan gate 1 (setengah siklus positif) sementara gate 3 akan digerakkan oleh pulsa (PWM 2) dari hasil komparasi antara C2 dengan gelombang referensi (setengah siklus negatif), adapun

bentuk pulsa-pulsa yang dihasilkan seperti pada Gambar 7.

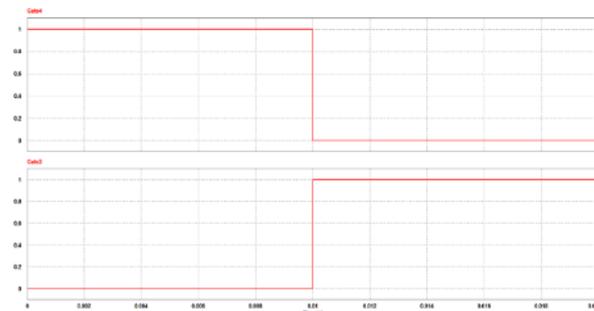


Gambar 6. Gelombang Refrensi dan Carrier [8]



Gambar 7. Gelombang PWM 1 dan PWM 2

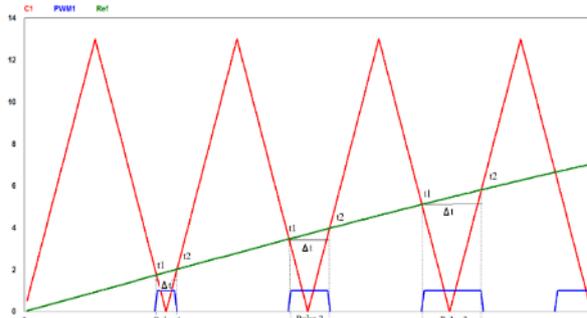
Sementara untuk *gate 2* dan *4* bentuk gelombang pulsanya tidak menggunakan pulsa PWM 1 dan 2, *gate 4* akan selalu diaktifkan selama setengah siklus positif dan *gate 2* akan aktif selama setengah siklus negatif berikutnya, bentuk gelombang ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Gelombang Pulsa Gate 4 dan Gate 2

Gelombang pulsa yang dihasilkan pada PWM 1 dan 2 memiliki rentang waktu yang berbeda antara satu pulsa dengan pulsa berikutnya hal ini dikarenakan waktu perpotongan antara gelombang referensi dan gelombang *carrier* berbeda untuk setiap tahapannya seperti ditunjukkan pada Gambar 8, nilai t_1 dan t_2 dapat diketahui dengan menggunakan program simulasi PSIM, dengan demikian selisih antara t_2 dengan t_1 menjadi waktu yang digunakan untuk setiap pulsanya. Adapun waktu untuk setiap pulsa pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3, dengan menggunakan

Arduino pulsa ini dapat dihasilkan dengan cara mengatur *delay* pada kondisi output HIGH dan LOW dimana waktunya disesuaikan dengan Tabel 2.



Gambar 8. Perpotongan Gelombang Ref dan C1

Tabel 2. Alokasi Waktu Untuk Pulsa PWM1

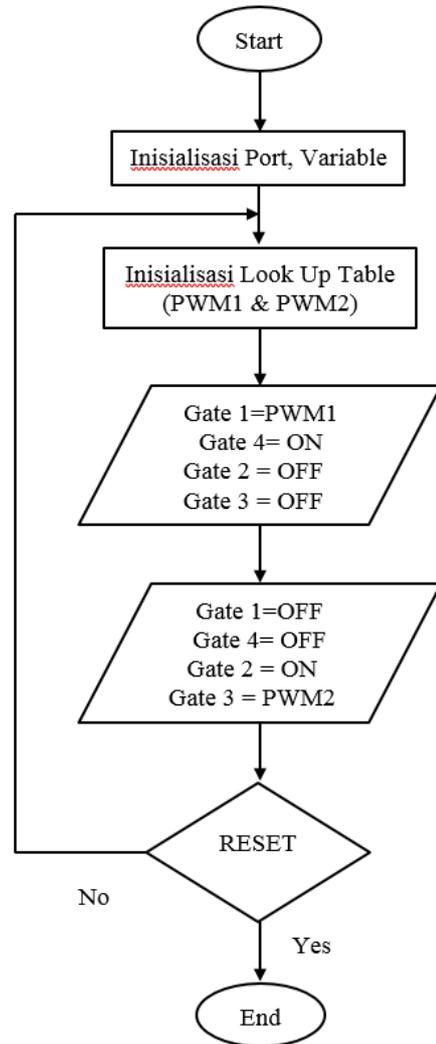
No	PWM 1	Time (uS)	No	PWM 1	Time (uS)
1	0	450	21	0	30
2	1	60	22	1	440
3	0	390	23	0	40
4	1	130	24	1	430
5	0	320	25	0	60
6	1	200	26	1	400
7	0	250	27	0	100
8	1	260	28	1	360
9	0	190	29	0	140
10	1	320	30	1	320
11	0	140	31	0	190
12	1	360	32	1	260
13	0	100	33	0	250
14	1	400	34	1	200
15	0	60	35	0	320
16	1	430	36	1	130
17	0	40	37	0	390
18	1	440	38	1	60
19	0	30	39	0	460
20	1	460			

Tabel 3. Alokasi Waktu Untuk Pulsa PWM2

No	PWM 2	Time (uS)	No	PWM 2	Time (uS)
1	0	220	21	0	20
2	1	20	22	1	450
3	0	420	23	0	40
4	1	100	24	1	440
5	0	350	25	0	50
6	1	170	26	1	410
7	0	280	27	0	80
8	1	230	28	1	380
9	0	220	29	0	120
10	1	290	30	1	340
11	0	170	31	0	170
12	1	340	32	1	290
13	0	120	33	0	220
14	1	380	34	1	230
15	0	80	35	0	280
16	1	410	36	1	170
17	0	50	37	0	350
18	1	440	38	1	100
19	0	40	39	0	420
20	1	450			

6. Algoritma Program

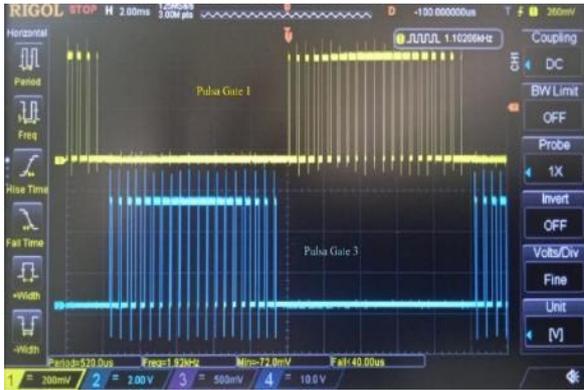
Algoritma program pada penelitian ini dibuat mengikuti *flow chart* seperti pada gambar 9, dimana inisialisasi *Look up tabel* bertujuan untuk memetakan waktu pulsa nol dan satu untuk masing-masing PWM sesuai dengan tabel 2, untuk PWM 1 akan mengaktifkan *gate 1* dan PWM 2 akan mengaktifkan *gate 3*.



Gambar 9. Flow Chart Algoritma Pemrograman

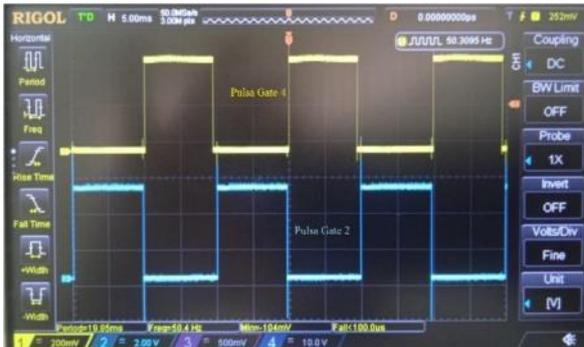
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran gelombang pulsa SPWM yang dihasilkan dari Arduino Uno dengan menggunakan *delay* sesuai dengan tabel 2 dapat dilihat pada gambar 10, dimana pulsa ini tidak saling tumpang tindih dan digunakan untuk menggerakkan *gate 1* dan *gate 3* MOSFET.



Gambar 10. Gelombang pulsa Gate 1 dan Gate 3

Pada gate 2 dan gate 4 gelombang pulsa yang diberikan dalam bentuk pulsa kotak, adapun hasil pengukuran output dari Arduino untuk gelombang pulsa gate 4 dan gate 2 seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Gelombang pulsa Gate 4 dan Gate 2

Bentuk gelombang output pada beban resistif setelah melewati H-Bridge ditunjukkan pada gambar 12, dimana bentuk gelombangnya sudah dalam bentuk arus bolak balik namun tidak dalam bentuk sinusoidal dan memiliki spikes.



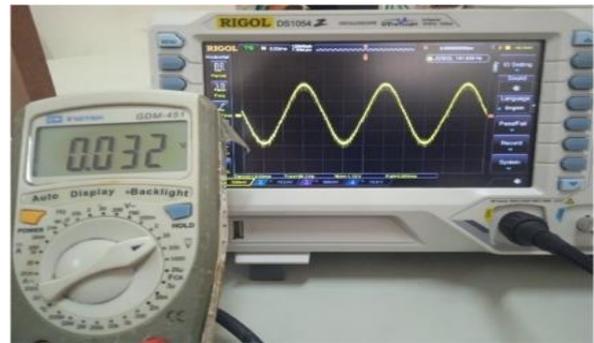
Gambar 12. Output Setelah Melewati H-Bridge

Gelombang output pada Gambar 11 selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian induktor yang difungsikan sebagai filter dan menghasilkan bentuk gelombang yang lebih bagus seperti pada Gambar 13.



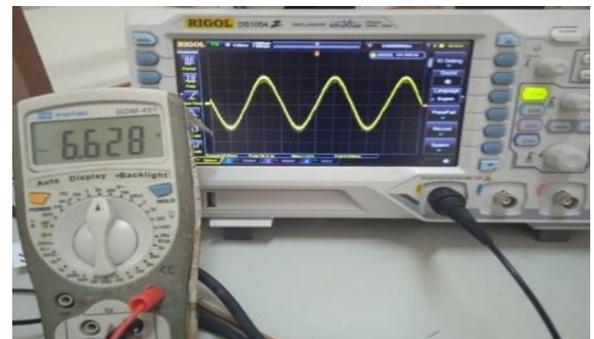
Gambar 13. Output Setelah Melewati H-Bridge dan Induktor

Penambahan kapasitor secara parallel pada beban akan menghasilkan gelombang berbentuk sinusoidal seperti pada Gambar 14 dimana gelombang output pada penelitian ini masih memiliki tegangan DC sebesar 0,032 Volt.



Gambar 14. Gelombang Output Dengan Pengukuran DC

Besar tegangan AC yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 6,628 Volt dan memiliki frekuensi 50,2 Hz seperti ditunjukkan pada gambar 15 dimana tegangan sumber DC yang digunakan sebesar 12 Volt.



Gambar 15. Gelombang Output Tegangan AC Pada Beban

Pengujian secara keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 16, dimana sumber tegangan untuk penggerak rangkaian TLP 250 terdiri dari empat buah power supply dimana masing-masing ground saling terpisah. Satu buah power supply digunakan sebagai pengganti baterai serta menggunakan Arduino Uno untuk menghasilkan gelombang pulsa SPWM.



Gambar 16. Pengujian Rangkaian Sistem Secara Keseluruhan

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Disain dan implementasi SPWM inverter pada penelitian ini mampu menghasilkan gelombang output AC berbentuk sinusoidal dengan kandungan DC sebesar 0.032 Volt dan memiliki frekuensi 50,2 Hz dengan cara menambahkan rangkaian filter pada sisi beban yang bersifat resistif.

Untuk pengembangan sistem pada penelitian ini penulis menyarankan sebaiknya diperlukan rangkaian *feedback* untuk kontrol sistem sehingga perubahan beban tidak mempengaruhi bentuk gelombang output.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H Rashid, “*Power Electronics circuits, devices, and applications*”, 3th Ed, New Jersey, Person Prentice Hall, 2004.
- [2] Mohan, Undeland, Robbins, “*Power Electronics Converters, Application and Designs*” Second Edition.
- [3] H. Shore, N. J. Elizabeth, and J. N. Whitaker. “*Picutre Reproducing Apparatus*”, U.S. Patent 2 083 245, Aug. 22, 1931, filed.
- [4] L. Zicheng, Z. Zedong, S. D. Sudhoff, G. Chunyang, & L. Yongdong, “*Reduction of Common Mode Voltage in Multiphase Two-Level Inverters Using SPWM with Phase-shifted Carriers*”, IEEE Transactions on Power Electronics, November 2, 2015.
- [5] S. M. Mohaiminul Islam, G. M. Sharif, “*Microcontroller Based Sinusoidal PWM Inverter for Photovoltaic Application*”, 1st International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), Dec, 2009.
- [6] Arduino Uno, Diakses, 20 Juni 2022, dari <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- [7] TLP 250 Diakses 20 Juni 2022 dari <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/32418/TOSHIBA/TLP250.html>.
- [8] H. Natchpong, N. Surasak, P. Jirayut, “*Two-Triangle Carrier SPWM Modulation For a Five-Level Diode-Clamped PWM Inverter*”, IEEEJ Journal of Industry Applications, Vol, 4 No.3 pp.244-252, June 23, 2014.