

PERANCANGAN DESAIN MINI INVERTER SATU FASA MENGUNAKAN N-CHANNEL MOSFET IRF 840 PADA BEBAN KECIL UNTUK LAMPU PENERANGAN

Ramadyan Maulana¹, Fikra Titan Syifa*², Herryawan Pujiharsono³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro
Institut Teknologi Telkom Purwokerto
*e-mail: fikra@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Energi listrik dibutuhkan pada beberapa sektor seperti rumah tangga, industri, bisnis, sosial, Gedung, kantor pemerintah dan penerangan, kebutuhan listrik terus meningkat seiring perkembangan teknologi dan peradapan manusia, Tujuan penelitian ini Merancang Inverter dengan menggunakan Metode Sinusoidal Pulse Width Modulation. Implementasi inverter terhadap beban daya peralatan listrik penerangan. Menganalisis efisiensi inverter terhadap peralatan listrik berupa penerangan? Penelitian ini membahas penggunaan inverter dengan rangkaian H-bridge MOSFET yang mengadopsi prinsip kerja 4 saklar yang bekerja secara menyilang. Hasil dari output rangkaian H-Bridge kemudian ditingkatkan tegangannya oleh transformator step up dari 12 VDC menjadi 220 VAC. Namun, ketika transformator step up dilengkapi dengan filter kapasitor 220 VAC 3.3 μ F untuk menyuplai beban lampu penerangan, transformator step up mengalami drop tegangan yang signifikan sehingga menyebabkan lampu tidak menyala. Namun, ketika transformator step up tidak menggunakan filter, drop tegangan tidak terlalu signifikan dan beban lampu menyala dengan baik. Selain itu, penggunaan metode SPWM pada rangkaian H-Bridge terbukti efektif dalam mengendalikan tegangan output transformator step up. Efisiensi inverter berpengaruh terhadap beban yang dipakai, pada saat inverter menggunakan filter tegangan efisiensinya hanya 6% dan ketika inverter tanpa menggunakan filter tegangan efisiensinya sebesar 51,33% pada beban 5 watt dan daya maksimal inverter ini dapat menyalakan beban lampu LED sebesar 10 watt.

Kata kunci: Inverter satu fasa; SPWM; mosfet; H-Bridge.

Abstract

Electrical energy is needed in several sectors such as households, industry, business, social, buildings, government offices and lighting, the need for electricity continues to increase along with technological developments and human civilization. The purpose of this research is to design an inverter using the Sinusoidal Pulse Width Modulation Method. Analyzing the implementation of inverters to the power load of lighting electrical equipment. Analyze the efficiency of the inverter for electrical equipment in the form of lighting? This study discusses the use of an inverter with a MOSFET H-bridge circuit which adopts the working principle of 4 switches that work in a crosswise manner. The output of the H-bridge circuit is then increased in voltage by a step up transformer from 12 VDC to 220 VAC. However, when the step-up transformer is equipped with a 220 VAC 3.3 μ F filter capacitor to supply the lighting load, the step-up transformer experiences a significant voltage drop causing the lamp not to light up. However, when the step-up transformer does not use a filter, the voltage drop is not too significant and the load lights up properly. In addition, the use of the SPWM method in the H-bridge circuit has proven effective in controlling the output voltage of a step up transformer. The efficiency of the inverter affects the load used, when the inverter uses a voltage filter the efficiency is only 6% and when the inverter does not use a voltage filter the efficiency is 51.33% at a load of 5 watts and the maximum power of this inverter can turn on a load of 10 watts of LED lights.

Keywords: Single Phase inverter; SPWM; mosfet; H-Bridge.

1. PENDAHULUAN

Mengatasi pemadaman listrik selain menggunakan genset dan lampu darurat yaitu menggunakan accu atau baterai yang mana memiliki kapasitas 12 sampai 24 VDC [1] . Accu atau baterai memiliki beberapa unggulan dari genset yaitu tidak menggunakan bahan bakar fosil sehingga tidak menimbulkan polusi udara . Secara dimensi, ukuran accu atau baterai relatif kecil daripada genset sehingga lebih fleksibel dimana harganya juga lebih relatif lebih murah daripada genset [2]. Baterai memiliki keunggulan lain dari baterai yang dipakai oleh lampu emergency kapasitas besar dapat menyuplai listrik lebih dari satu lampu [3].

Penggunaan instalasi listrik DC untuk memanfaatkan sumber energi dari baterai memiliki beberapa faktor yang menyebabkan kurangnya efektif dalam penggunaan instalasi listrik DC untuk lampu penerangan antara lain penurunan tegangan seiring jarak yang ditempuh pada instalasi kabel, biaya instalasi

yang cukup mahal dan instalasi rumah untuk penerangan menggunakan instalasi listrik AC [4]. Inverter dapat mengubah tegangan DC (*direct current*) menjadi tegangan AC (*alternating current*) sehingga inverter dapat mengubah listrik DC dari baterai menjadi listrik AC untuk menyuplai peralatan rumah berupa lampu penerangan. Inverter memiliki beberapa keunggulan diantaranya harganya yang murah dan bentuknya yang kecil [5].

Pada jurnal artikel penelitian sebelumnya difokuskan menggunakan metode PID dan *driver* SPWM tipe EGS002 yang memiliki variable durasi delay atau tunda [6]. Hal tersebut dimaksudkan supaya nilai tegangan output dapat tetap stabil 220 V_{AC} meskipun nilai input tegangan kurang dari 100 V_{DC}. PWM merupakan teknik untuk mengatur lebar pulsa gelombang kotak dan untuk pengendalian beban. Sinyal gelombang kotak PWM memiliki rentang frekuensi yang telah ditetapkan (*fixed*) pada saat pengoperasiannya. Sedangkan SPWM merupakan metode untuk menghasilkan sinyal sinusoidal. Keberadaan sinyal sinusoidal dapat dihasilkan atau diatur menggunakan register pada arduino. Peneliti menemukan persoalan pada saat beban atau *load* diaktifkan secara bersamaan karena belum stabil. Tegangan yang tidak stabil akan mengakibatkan drop tegangan pada sumber.

Berikutnya, peneliti yang fokus pada terminal output inverter menggunakan filter berupa kapasitor tidak perlu menambahkan trafo [7]. Hal ini memiliki tujuan yaitu trafo juga dapat difungsikan untuk menaikkan tegangan. Sedangkan trafo juga bersifat induktif yang mana dapat sebagai filter. Oleh karena itu, trafo tidak perlu dipasang pada terminal output inverternya. Rangkaian inverter 1 (satu) fasa dapat difungsikan untuk proses *switching*. Sinyal PWM digunakan dengan cara berbeda dengan SPWM.

Peneliti menggunakan SPWM untuk mengendalikan rangkaian inverter [8]. Pada SPWM terdapat dua sinyal untuk melakukan pengaturan lebar pulsa. Pertama yaitu sinyal referensi (sinyal sinusoidal) dan yang kedua adalah sinyal carrier (bentuk segitiga). Hasilnya akan didapatkan lebar pulsa yang bervariasi dan harmonisa bias diminimalisir atau hilang. Oleh karena itu, SPWM adalah suatu cara untuk memanipulasi lebar pulsa dengan cara membandingkan dua buah sinyal tersebut (sinyal sinusoidal dan sinyal segitiga).

Selanjutnya, jurnal penelitian yang memodifikasi masukan atau input sinyal *square wave* dan SPWM fokus pada topologi pensaklaran transistor mosfet untuk *push pull* dengan mengubah nilai tegangan pada input pin terminal inverter agar nilai output atau keluaran tegangan pada inverter tetap stabil [9].

Artikel peneliti berikutnya *concern* pada perancangan inverter satu fasa tetapi tidak menggunakan sistem minimum (mikrokontroler) sebagai sistem kendali [10]. Namun, pada perancangan dan pembuatan inverter tersebut fokus pada rangkaian IC CD4047 serta menggunakan *Push and Pull*. Kemudian, pemasangan mosfet menggunakan IRFZ44 tipe P dan tipe N.

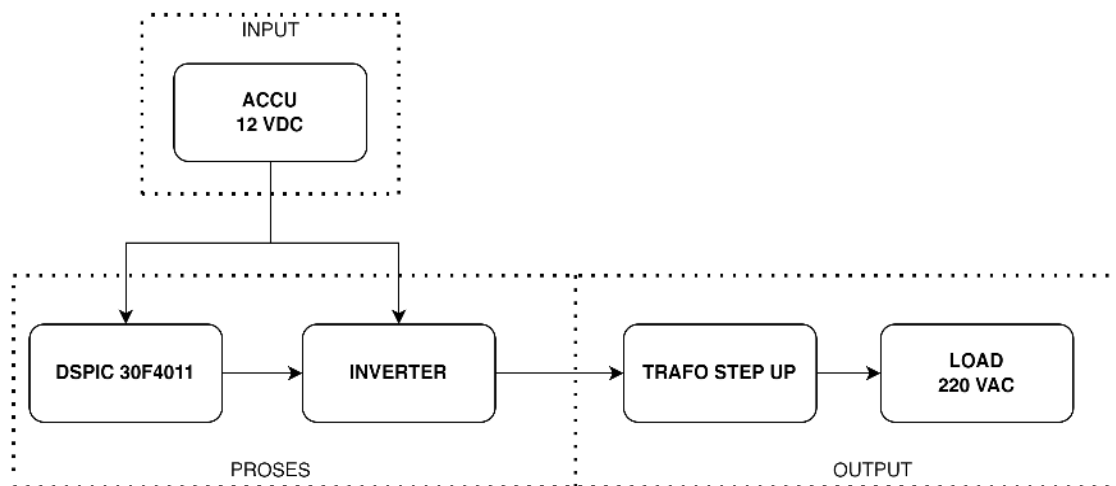
2. METODE PERANCANGAN

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan untuk membuat sebuah *inverter* 1 fasa untuk beban penerangan. Terdapat beberapa metode pada proses perancangan dan istilah teknis yang dapat diketahui. Sinyal SPWM berbeda dengan sinyal PWM. Pada penelitian ini metode perancangan termasuk hal yang perlu untuk diketahui. PWM adalah teknik untuk memanipulasi sinyal menggunakan *square wave*. Sedangkan untuk membuat inverter dibutuhkan SPWM untuk menghasilkan *pure sine wave*. Perlu juga untuk menentukan berapa nilai frekuensi yang digunakan untuk mengatur lebar pulsa yang optimal.

Berikut ini merupakan daftar tabel alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1. Alat dan bahan yang digunakan.

No.	Alat dan Bahan	Spesifikasi
1.	Mikrokontroller dsPIC30F4011	Tegangan input : 9-24 VDC Tegangan output / operasi pinout : 5 VDC, Pin PWM : 4 pin
2.	Mosfet (IRF 840)	Tegangan Input : 55 VDC Arus Input : 8A
3.	IR 2110	Tegangan Input : 10-20 VDC Tegangan output / operasi pinout : 5 VDC Arus I/O : 2-2,5A
4.	Dioda	Zener diode
5.	Resistor	100 ohm
6.	Capacitor Elco	16 V, 22 μ F
7.	Capacitor Polyester	100 μ F
8.	MCB	6 Ampere
9.	Baterai/aki	12 V, 3 Ah

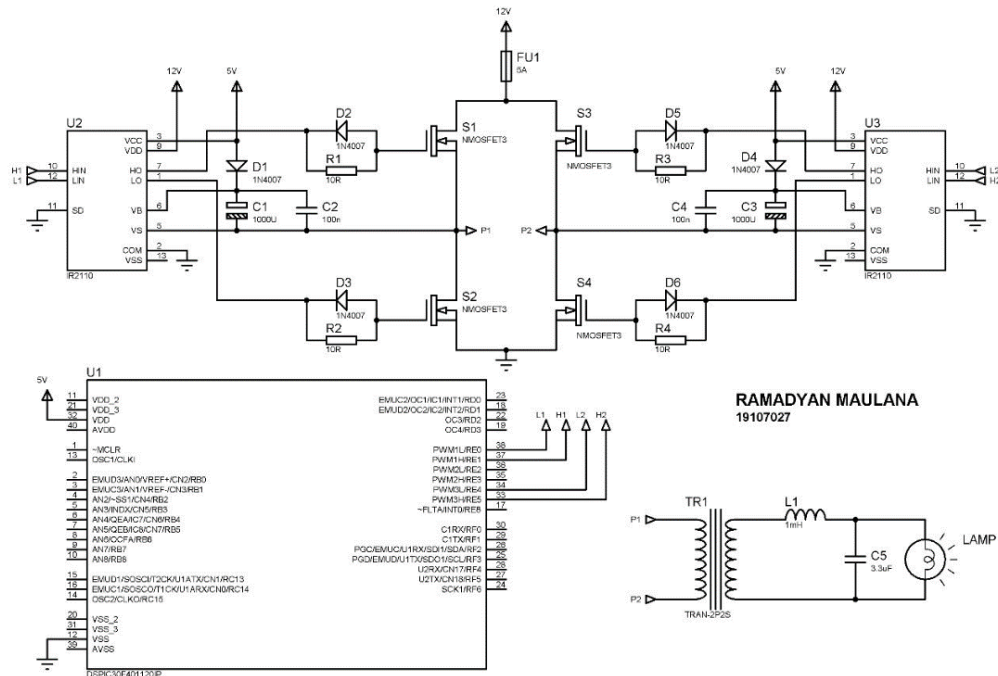


Gambar 1. Blok Diagram dsPIC30F4011 *minimum system*

Baterai 12 VDC digunakan sebagai sumber daya utama untuk *inverter* dan mikrokontroler dcPIC 30F4011 [11]. Kemudian mikrokontroler dsPIC30F4011 akan menjadi pengontrol rangkaian inverter dan menghasilkan tegangan *output* yang nantinya tegangan *output inverter* akan dinaikan oleh transformator *step up* [4]. Tegangan *output* dari transformator *step up* akan menjadi sumber daya untuk beban.

2.1 PERANGKAT KERAS

Pada perancangan perangkat keras (*hardware*) ini merupakan desain pada PCB, komponen elektronika, dan driver sistem kendali dsPIC30F4011 untuk chip mikrokontroller [12] .



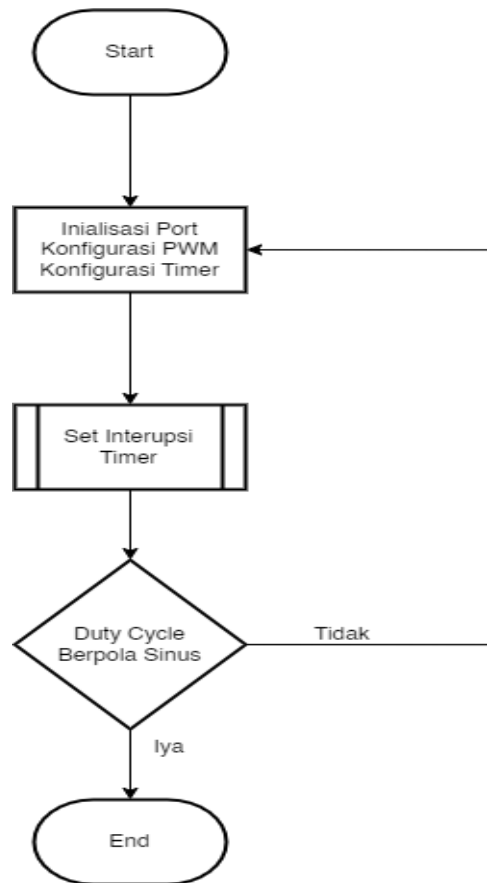
Gambar 2. Skematik Rangkaian

Mikrokontroler akan memberikan sinyal SPWM sesuai pin yang digunakan yaitu PWM *High* 1 (pin RE1) dan PWM *Low* 1 (pin RE0), PWM *High* 3 (pin RE 5) dan PWM *Low* 3 (pin RE 4) maka driver IC IR 2110 akan menerima sinyal SPWM dari mikrokontroler. driver IC IR 2110 akan menggerakkan MOSFET untuk *switching*. S1 dan S4 akan *on* maka S2 dan S3 akan *off*. Begitu juga sebaliknya agar tidak terjadi hubung singkat pada tegangan DC saat *switching* [13]. Kapasitor berfungsi untuk filter dalam rangkaian inverter dan dioda berfungsi sebagai pengaman rangkaian dari arus bolak balik. Output yang dihasilkan tegangan AC oleh rangkaian inverter akan dinaikan oleh transformator *step up* sehingga tegangan output dapat menyuplai beban yang menggunakan tegangan AC pada output transformator *step up* diberi komponen kapasitor dan induktor untuk menstabilkan tegangan keluaran dari transformator step up untuk menyuplai beban berupa penerangan. Pengaman rangkaian ini menggunakan Fuse 5 A. Fungsi sekering yaitu jika arus melebihi 5 A atau terjadi *short circuit* pada rangkaian maka kawat pada fuse akan putus.

2.2 PERANGKAT LUNAK MPLAB X IDE MICROCHIP

Perancangan *software* dibuat menggunakan MPLAB X IDE. Sedangkan pada Gambar 3 berikut ini tampilan *flowchart* mengenai perancangan *software*.

Pada *flowchart* perancangan *software* Gambar 3 terdapat beberapa part atau bagian detail mengenai *duty cycle*, interupsi timer, dan PWM [14]. Proses inialisasi port ini menginisialisasi PDC 1 sebagai channel dari Pin PWM *High* 1 dan pin PWM *Low* 1. PDC 3 sebagai channel dari Pin PWM *High* 3 dan pin PWM *Low* 3. Proses konfigurasi PWM untuk memanggil *register-register* PWM yang akan digunakan pada program dan proses konfigurasi *Timer* digunakan untuk memanggil *register-register* *Timer* yang akan digunakan pada program [13]. *Predefine* proses berfungsi sebagai memanggil dan menyimpan algoritma pembentukan pola sinus pada *duty cycle*. Kemudian pada *decision duty cycle* memberikan 2 kemungkinan yaitu ketika *duty cycle* tidak berbentuk pola sinus maka akan kembali ke proses inialisasi port, konfigurasi PWM dan konfigurasi *timer*, apabila *duty cycle* sudah berbentuk sinusoidal maka program selesai.



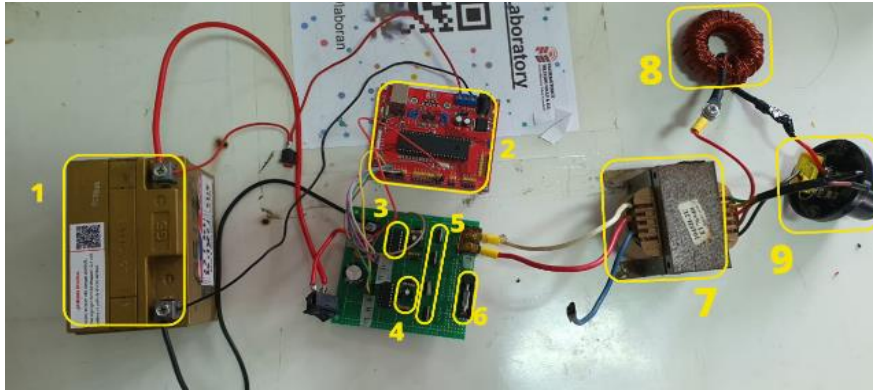
Gambar 3. Flowchart perancangan software

3. HASIL PENELITIAN

Sinyal output dari pin digital berjumlah 4 (empat). Data sinyal pin tersebut diambil dengan mengamati sinyal SPWM. Parameter data berupa frekuensi, sinyal output dari mikrokontroler dsPIC 30F4011 serta sinyal masukan pada mosfet IRF 840 [15]. Kemudian bentuk gelombang dari output *inverter* dapat dilakukan pengamatan tanpa beban dan menggunakan beban lampu bohlam, lampu LED 5 watt dan 10 watt.

Pada pengujian kedua ini dilakukan pengujian tegangan menggunakan beban. Terdapat beberapa beban yang digunakan yaitu lampu *bohlam* dan lampu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan akhir yang keluar ketika diberi beban dan dilakukan pengujian berupa gelombang keluaran akhir pada rangkaian *inverter* apakah gelombang keluaran ini berbentuk *sinusoidal* atau mengalami perubahan, hasil dari pengujian ini dilihat dengan menggunakan alat osiloskop.

Berikutnya merupakan data yang diambil adalah sinyal output dari dsPIC30F4011. Sinyal input dari IRF840 serta pengujian gelombang sinyal akhir *inverter*. Pengujian berikutnya adalah tegangan output *inverter*. Rangkaian *inverter* ini dirangkai untuk mengakomodasi input dari baterai sebesar 12 V_{DC} 3 Ah serta transformator *step up* untuk menaikkan tegangan .



Gambar 4. Rangkaian Hardware *Inverter*

Keterangan gambar :

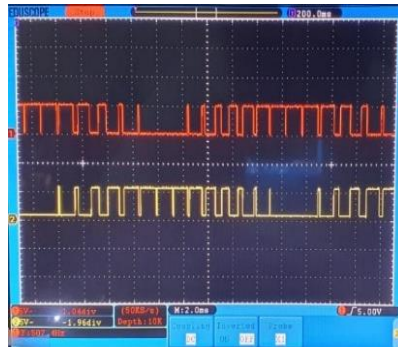
1. Baterai (aki)
2. dsPIC30F4011
3. IR2110
4. Resistor, Dioda, Capacitor Elco, Kapasitor *Non Polar*
5. Rangkaian *H-bridge*
6. Fuse / Sekring
7. Tranformator Step Up
8. *Induktor*
9. *Filter*, Beban Lampu

Hasil dari rancangan sistem dari skematik rangkaian. Baterai yang digunakan berkapasitas 12 V_{DC} 3Ah. Dikarenakan baterai merupakan listrik searah atau DC kemudian tegangan DC dari baterai diubah ke tegangan AC melalui rangkaian *H-bridge* dengan sinyal SPWM sebagai pengontrol pensaklaran MOSFET, sinyal SPWM dikontrol oleh dsPIC 30F4011. Tranformator *step up* digunakan untuk menaikkan tegangan 12 V_{AC} yang telah diubah dari rangkaian *H-bridge* menjadi 220 V_{AC} kemudian rangkaian *filter* dan *induktor* digunakan untuk menstabilkan tegangan *output*.

4. PENGUJIAN SPWM MIKROKONTROLLER dsPIC30F4011

Pengujian sinyal SPWM output dari mikrokontroler dsPIC30F4011, digunakan untuk memberikan logic signal ke MOSFET dengan perantara IR 2110 untuk melakukan *inverting* tegangan DC to AC. Pengujian ini dilakukan pengamatan menggunakan osiloskop digital.

Sinyal SPWM dibentuk oleh mikrokontroler dsPIC30F4011 dengan menyetting register register, interupsi *timer* dan algoritma untuk menghasilkan SPWM, diantaranya ada register PTPER, PTER digunakan untuk membangkitkan PWM dan menentukan periode perhitungan, kemudian menggunakan register Dead Time digunakan untuk memberikan waktu jeda sinyal antara pin PWM *High* dan pin PWM *Low* agar tidak aktif secara bersamaan, frekuensi SPWM didapatkan dari register *timer* dan interupsi *timer* dipanggil setiap 20 ms untuk menghasilkan set point frekuensi 50 Hz, untuk menghasilkan 1 gelombang sinusoidal dibutuhkan 1 sampai 100 *duty cycle* yang bervariasi lebarnya.

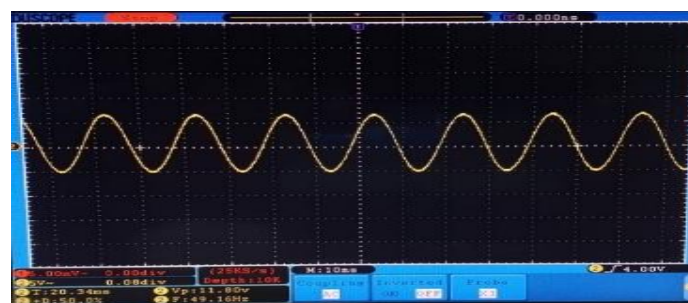


Gambar 5. Duty cycle SPWM PDC 1

Gambar 5 adalah hasil gelombang output dari mikrokontroler dsPIC30F4011 yang telah diregangkan time / div nya sehingga dapat diamati bentuk *duty cycle* yang berpola sinus dengan variasi lebar *duty cycle* yang berbeda-beda, gelombang PWM *High* dan PWM *Low* berbeda fasa 180 ° atau bertolak belakang. Sedangkan gelombang berwarna merah merupakan (PWM *High* 1) dan gelombang berwarna kuning merupakan (PWM *Low* 1).

Sinyal SPWM dibentuk oleh mikrokontroler dsPIC30F4011 dengan menyetting register register, interupsi *timer* dan algoritma untuk menghasilkan SPWM, diantaranya ada register PTPER. Berikutnya, mengenai *Dead Time* atau istilah untuk sebuah kondisi dimana semua PIN SPWM berlogika *low*. Hal tersebut digunakan untuk memberikan waktu jeda sinyal antara pin PWM *High* dan pin PWM *Low* agar tidak aktif secara bersamaan, frekuensi SPWM didapatkan dari register *timer* dan interupsi *timer* dipanggil setiap 20 ms untuk menghasilkan set point frekuensi 50 Hz, untuk menghasilkan 1 gelombang sinusoidal dibutuhkan 1 sampai 100 *duty cycle* yang bervariasi lebarnya.

Pengujian sinyal SPWM gelombang output *inverter* ini dilakukan pada output transformator yang sudah diberi kapasitor untuk mengurangi *noise* atau derau dengan filter pada output tegangan. Pengujian ini dilakukan untuk mengamati apakah output *inverter* sudah *pure sine* atau tidak. Pengujian ini dilakukan pengamatan menggunakan osiloskop digital tanpa beban. Kemudian parameter beban yaitu berupa lampu LED 5 watt, lampu LED 10 watt dan lampu bohlam 5 watt.



Gambar 6. Gelombang Output Tanpa Beban

Gambar 6 adalah hasil gelombang output *inverter* tanpa beban menghasilkan frekuensi sebesar 49,16 Hz dan nilai atau value periode sebesar 20.34 ms, dan tegangan *peak to peak* 11.80. Frekuensi yang telah diatur dengan frekuensi tegangan AC yaitu frekuensi 50 Hz Hasil frekuensi yang diatur masih dibawah dari 50 Hz.

Pengujian tegangan ini dilakukan menggunakan multimeter digital untuk mengukur pada tegangan input accu dan tegangan output transformator step up yang sudah diberi kapasitor 220 V_{AC} 3.3 μ F sebagai filter. Penguin ini terdiri dari tanpa beban pada output, beban lampu LED 5 Watt pada output, beban lampu LED 10 watt pada output dan beban lampu bohlam 5 watt pada output. Tegangan ini merupakan hasil dari inverting yang berasal dari sinyal SPWM dari rangkaian H-*bridge*.

Tabel 1. Pengujian Tegangan Tanpa Beban

No	V _{DC}	V _{AC}
1	11.82	33
2	11.82	33
3	11.82	33
4	11.82	33
5	11.82	33

Pengujian dari tabel tegangan menggunakan filter *inverter* tanpa beban didapatkan hasil perhitungan menggunakan multimeter digital pada tegangan input accu menghasilkan rata-rata 11.82 V_{DC} dan hasil pengukuran pada output transformator step up didapatkan hasil rata rata 33 V_{AC}.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data pengujian beban berupa lampu maka *inverter* dengan rangkaian konfigurasi H-*bridge* MOSFET dan metode SPWM frekuensi 50 Hz didapatkan keluaran gelombang *duty cycle* berpola sinusoidal, dengan sumber tegangan baterai 12 V_{DC} 3 Ah dapat digunakan untuk menyalakan beban.

Selanjutnya, nilai atau value tegangan output *inverter* pada berbagai beban dengan input tegangan baterai 12 V_{DC} 3 Ah sebesar 268 V_{AC} tanpa beban. Berikutnya, pada beban lampu LED 5 watt dan 10 watt menghasilkan value sebesar 234 V_{AC}. Pengamatan terakhir yang menarik yaitu value tegangan output *inverter* drop saat menggunakan beban lampu bohlam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Sinus, "Jurnal Ilmiah Setrum TEMPLATE," vol. 8, no. 2, pp. 253–259, 2019.
- [2] B. Y. Dewantara, "Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya," *Cyclotron*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2019, doi: 10.30651/cl.v2i1.2530.
- [3] H. Matalata and R. Dewi, "Desain Rangkaian Gate Driver Analog untuk Dual Mosfet Drivers," *J. Ilm. Univ. Batanghari Jambi*, vol. 21, no. 2, p. 714, 2021, doi: 10.33087/jiubj.v21i2.1534.
- [4] D. Nugraha and K. Krismadinata, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Dengan Dengan Modulasi Lebar Pulsa PWM Menggunakan Antarmuka Komputer," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 1, p. 340, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.108035.
- [5] D. Setiawan, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Berbasis Arduino Menggunakan Metode SPWM," *J. Tek.*, vol. 13, no. 2, pp. 128–135, 2019, doi: 10.31849/teknik.v13i2.3491.
- [6] J. Ismiyadinata, H. Yuliansyah, M. R. K. Aziz, and A. S. Rohman, "Desain dan Implementasi Inverter Satu Fasa 400 Watt dengan Metode Switching High Frequency," *J. Sci. Appl. Technol.*, vol. 3, no. 1, p. 9, 2019, doi: 10.35472/jsat.v3i1.121.
- [7] Prasetya and Sofian, "Implementasi Inverter Pure Sine Wave Untuk Pemanfaatan Energi Surya," *Theta Omega J. Electr. Eng. Comput. Inf. Technol.*, 2021.
- [8] H. Maghfiroh, ST., M.Eng., A. Sujono, M. I. Zidny, and T. Widyastama, "Design and Prototyping Single-Phase Inverter with Arduino Nano," *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 3, no. 2, p. 49, 2021, doi: 10.20961/jeeict.3.2.54316.
- [9] R. D. Rachwanto, S. Saidah, and A. Amirullah, "Implementasi Inverter Berbasis Square Wave dan Sinusoidal PWM Menggunakan Arduino Uno," *Rekayasa*, vol. 15, no. 2, pp. 182–191, 2022, doi: 10.21107/rekayasa.v15i2.13454.
- [10] R. Mundus, K. H. Khwee, and A. Hiendro, "Rancang Bangun Inverter Dengan Menggunakan Sumber Baterai DC 12V," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, pp. 227–233, 2019.
- [11] Y. C. Agustin, S. Riyadi, D. Leonardus, and H. Pratomo, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Lima Tingkat Menggunakan DSPIC30F4012," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2020, pp. 57–62, 2020.
- [12] S. Abdussamad, "Rancang Bangun Inverter Mini 1.5 Vdc to 220 Vac Untuk Lampu Darurat," *J. Tek.*, vol. 18, no. 1, pp. 7–16, 2020, doi: 10.37031/jt.v18i1.65.
- [13] P. Summary, "IR2110(- 1 - 2)(S)PbF/IR2113(- 1 - 2)(S)PbF HIGH AND LOW SIDE DRIVER," vol. 2110, pp. 1–18.
- [14] Microchip, *dsPIC30F4011 16-Bit Digital Signal Controllers*. 2009.
- [15] "IRF840.PDF."