

Rancang Bangun Modul *Driver* Dengan PCB *Double Layer* Untuk Kontrol MOSFET Berbasis ESP32

Dimas Pristovani Rinanda^{1*}, Zindhu Maulana Ahmad Putra¹, Ryan Yudha Adhitya¹, dan
Arya Adiansyah Saputra¹

¹ D4-Teknik Kelistrikan Kapal, Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia
Kampus ITS, Kota, 60111, Indonesia

Email: dimaspristovani@ppns.ac.id¹, zindhu@ppns.ac.id¹, ryanjudhaadhitya@ppns.ac.id¹
aryaadiansyahsaputra@gmail.com¹

Abstrak

Inverter merupakan alat penting bagi berbagai sistem seperti sistem tenaga surya, kendaraan listrik, daya cadangan, dan beberapa sistem lainnya. *Driver* pembangkit sinyal SPWM dapat dibuat menggunakan mikrokontroler yang menyediakan fleksibilitas dan presisi dalam pengendalian proses *switching* MOSFET. Pengoptimalan hasil frekuensi agar stabil 50Hz dan tegangan stabil di 220V. Pada penelitian ini tujuan pembuatan *driver* MOSFET perencanaan pembuatan *driver* MOSFET mencakup 2 bagian utama yakni perencanaan PCB (*Printed Circuit Board*) dan blok diagram sistem. *Wiring driver* MOSFET dan perencanaan desain *board* PCB *driver* yang dibuat menggunakan *software eagle*. Hasil dari penelitian yang dilakukan yakni pembuatan PCB *driver* MOSFET. PCB ini dirancang untuk mengendalikan MOSFET menggunakan sinyal PWM yang dihasilkan oleh ESP32. Pengujian hasil *output* pin GPIO ESP32 mendapatkan hasil nilai frekuensi 50Hz, *duty cycle* 50% , *cycle time* 20000ms, dan *Vpp* 3,5V. *Board* PCB *driver* MOSFET menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal pada *output* inverter dengan frekuensi 50Hz dalam satu siklusnya membutuhkan waktu 20ms dengan tegangan 220,4V. Berdasarkan pengujian PCB *driver* MOSFET pada *output* inverter setelah *step up* didapatkan nilai tegangan sebesar 220,4VAC. Berdasarkan pengujian PCB *driver* MOSFET pada *output* inverter sebelum dan setelah *step up* menghasilkan frekuensi yang stabil di 50Hz. Memberikan solusi alternatif untuk *driver* MOSFET dalam sistem inverter yang berbasis ESP32. Meningkatkan fleksibilitas dan kontrol dalam sistem inverter, jika menggunakan PCB *driver* MOSFET seperti penelitian ini.

Kata kunci: *Driver*, MOSFET, PCB

Abstract

Inverters are important tools for various systems such as solar power systems, electric vehicles, backup power, and several other systems. The SPWM signal generator driver can be created using a microcontroller which provides flexibility and precision in controlling the MOSFET switching process. Optimization of frequency results so that it is stable at 50Hz and stable voltage at 220V. In this research, the aim of making a MOSFET driver. Planning for making a MOSFET driver includes 2 main parts, namely PCB (Printed Circuit Board) planning and system block diagram. MOSFET driver wiring and driver PCB board design planning made using eagle software. The results of the research carried out were making a MOSFET driver PCB. This PCB is designed to control the MOSFET using the PWM signal produced by the ESP32. Testing the results of the ESP32 GPIO pin output resulted in a frequency value of 50Hz, duty cycle 50%, cycle time 20000ms, and Vpp 3.5V. Producing a sinusoidal waveform at the inverter output with a frequency of 50Hz in one cycle takes 20ms with a voltage of 220.4V. Based on testing the MOSFET driver PCB at the inverter output after step up, the voltage value is 220.4VAC. Based on PCB testing, the MOSFET driver at the inverter output before and after step up produces a stable frequency at 50Hz. Provides an alternative solution for MOSFET drivers in ESP32-based inverter systems. Increases flexibility and control in inverter systems, if using a MOSFET driver PCB like this research.

Keywords: *Driver*, MOSFET, PCB

1. Pendahuluan

Inverter merupakan alat elektronika yang memiliki fungsi mengubah arus searah DC (*Direct Current*) menjadi arus bolak-balik AC (*Alternating Current*). Inverter merupakan alat penting bagi berbagai sistem seperti sistem tenaga surya,

^{1*} dimaspristovani@ppns.ac.id

kendaraan listrik, daya cadangan, dan beberapa sistem lainnya. Adapun bentuk gelombang *output* yang dihasilkan dari inverter umumnya dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu segi empat (*square wave*), sinyal sinus termodifikasi (*modified sine wave*), dan sinyal sinus murni (*pure sine wave*) (Khairul Azmi et al., 2017). Inverter dengan gelombang sinus murni sangat cocok digunakan untuk beban peralatan elektronik yang sensitif seperti peralatan pada rumah tinggal atau peralatan listrik pada kehidupan sehari-hari. Dikarenakan hasil gelombang sinus murni yang dihasilkan inverter paling mendekati bentuk gelombang dari listrik PLN.

Pembangkitan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) menjadi aspek penting dalam perancangan inverter. Salah satu metode pembangkitan PWM yang umum digunakan ialah SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) yang bertujuan untuk menghasilkan *output* gelombang sinus yang mendekati sempurna. SPWM adalah metode pembangkitan gelombang PWM yang membentuk seolah gelombang sinusoidal, yang memiliki *duty cycle* banyak pada satu sinyal PWM yang dibangkitkan (Ikhwan Romadhoni et al., 2024). Metode perpotongan sinus-segitiga diusulkan pertama oleh Schönung dan Stimmler pada tahun 1964 masih banyak digunakan pada pembangkitan gelombang sinus PWM dengan proses analog yang sangat sederhana (Francisca H.C et al., 2013). Sinyal SPWM digunakan untuk mengendalikan proses *switching* atau pensaklaran pada komponen utama inverter yakni MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*). Proses *switching* akan menghasilkan bentuk gelombang AC yang diharapkan dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat disesuaikan.

Driver pembangkit sinyal SPWM dapat dibuat menggunakan mikrokontroler yang menyediakan fleksibilitas dan presisi dalam pengendalian proses *switching* MOSFET. Mikrokontroler mampu menghasilkan sinyal SPWM dengan resolusi tinggi dan frekuensi yang stabil dikarenakan memiliki peranan penting untuk kinerja inverter agar optimal. Dipasaran telah tersedia pembangkit SPWM seri EGS-002, modul ini beroperasi pada frekuensi 50Hz dan 60Hz sehingga tidak bisa digunakan untuk membangkitkan daya listrik dengan frekuensi daya yang variabel (Mohammad Luqman et al., 2022). Oleh karena itu, pengembangan *driver* pembangkit sinyal SPWM yang fleksibel dan dapat disesuaikan sesuai kebutuhan menjadi sangat penting.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan terkait dengan perancangan *driver* MOSFET untuk inverter salah satunya berjudul “RANCANG BANGUN KENDALI INVERTER BERBASIS ARDUINO DENGAN METODE SPWM” (Ikhwan Romadhoni et al., 2024). Penelitian tersebut berfokus pada pembuatan inverter 1 dan 3 fasa dengan masing-masing jenis inverter memiliki *driver* pembangkitnya sendiri. Inverter 1 fasa menggunakan *driver* MOSFET dengan mikrokontroler arduino uno dengan IC atmega 328. Hasil penelitian tersebut memiliki beberapa kekurangan yang perlu dikembangkan, seperti hasil frekuensi hanya mendekati 50Hz yang dimana harapan penelitian tersebut menghasilkan frekuensi 50Hz. Selain itu, hasil tegangan dari pengujian inverter 1 fasa menggunakan *driver* MOSFET berbasis arduino uno menghasilkan 239VAC yang dimana hasil tersebut tidak sesuai dengan harapan yakni 220VAC. Dari beberapa hasil pada penelitian terdahulu perencanaan dan pengendalian *driver* MOSFET sangat penting untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan harapan yang diinginkan.

Pada penelitian ini tujuan pembuatan *driver* MOSFET sendiri adalah untuk mengoptimalkan kinerja dan meningkatkan efisiensi inverter. *Driver* yang baik mampu mengendalikan proses *switching* dengan cepat dan efisien, mengurangi kerugian daya, dan memastikan hasil konversi daya sesuai dengan yang diharapkan peneliti. Penelitian ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler pembangkit sinyal SPWM dikarenakan menawarkan beberapa kelebihan dibandingkan arduino uno, seperti halnya prosesor yang lebih cepat, memori lebih besar, dan kemampuan konektivitas *Wi-Fi* dan *bluetooth* yang terintegrasi. Selain itu, ESP32 dapat menghasilkan sinyal SPWM dengan resolusi tinggi dan frekuensi yang stabil. Dengan mendesain dan mengimplementasikan *driver* MOSFET berbasis ESP32, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan fleksibilitas dan kontrol dalam sistem inverter yang akan dikembangkan. Hal ini memungkinkan pencapaian performa yang lebih optimal dan efisien dibandingkan dengan penggunaan berbasis arduino uno.

2. Metode Penelitian

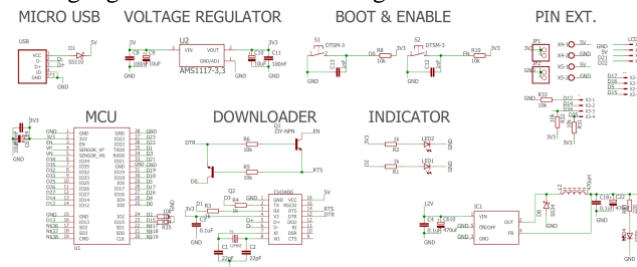
Penelitian ini bertujuan untuk membuat modul *driver* MOSFET menggunakan ESP32 dalam satu *board* PCB guna meningkatkan performa dan fleksibilitas sistem inverter. Penggunaan ESP32 diharapkan dapat juga meningkatkan kecepatan pemrosesan dan efisiensi pengontrolan MOSFET. Penelitian ini mencakup dua bagian utama yakni *software* dan *hardware*. *Software* menjadi salah satu tahapan utama guna melakukan desain *board* PCB yang akan direalisasikan dan pemrograman untuk pembangkitan sinyal PWM pada mikrokontroler yang digunakan. Sedangkan, *hardware* mencakup hasil dari desain PCB yakni *board* PCB *driver* MOSFET yang akan digunakan sebagai penelitian.

Perencanaan Sistem

Perencanaan pembuatan *driver* MOSFET mencakup 2 bagian utama yakni perencanaan PCB (*Printed Circuit Board*) dan blok diagram sistem. Perencanaan PCB merupakan desain PCB yang akan dibuat dengan menentukan komponen, menentukan pin yang akan digunakan, dan menghubungkan setiap pin yang akan digunakan. Blok diagram sendiri berisikan sistem kerja secara umum pada modul *driver* MOSFET yang akan dibuat.

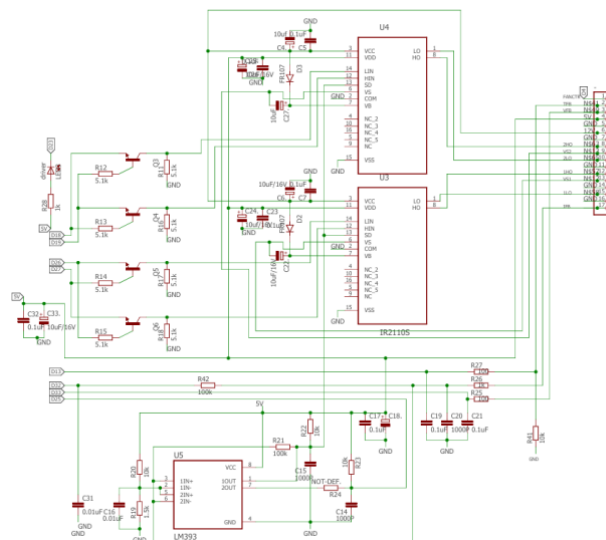
a. Wiring Driver MOSFET

Gambar 1 menunjukkan perencanaan ESP32 sebagai mikrokontroler pembangkit sinyal PWM pada *driver* MOSFET. Perencanaan rangkaian ESP32 ini terbagi dalam beberapa komponen yakni regulator tegangan 3,3V, regulator tegangan 5V, Micro USB, Tombol *boot & Enable/reset*, *downloader*, LED indikator, IC ESP WROOM 32, dan pin tambahan bila diperlukan. Fungsi regulator tegangan 3,3V sebagai *converter* dari tegangan 5V ke 3,3V sebagai suplai tegangan ESP32. Sedangkan, regulator tegangan 5V digunakan bila terdapat sensor pendukung sistem inverter yang membutuhkan tegangan 5V. Perencanaan rangkaian ESP32 ini dibuat menggunakan *software* Eagle.



Gambar 1. Perencanaan Wiring ESP32

Perencanaan rangkaian gambar 1 dibuat berdasarkan *datasheet* ESP32. Perencanaan rangkaian ESP32 akan diintegrasikan dengan rangkaian *driver* MOSFET yang dibuat pada *software* Eagle. Perencanaan rangkaian *driver* MOSFET memiliki sebuah komponen utama yakni IC IR2110 yang berfungsi sebagai pengendali proses *switching* MOSFET. Selain itu, IR2110 juga mampu menghasilkan sinyal PWM untuk mengatur MOSFET yang akan digunakan sebagai inverter. Berikut merupakan perencanaan rangkaian *driver* MOSFET yang akan diintegrasikan dengan ESP32.



Gambar 2. Perencanaan Wiring Driver IR2110

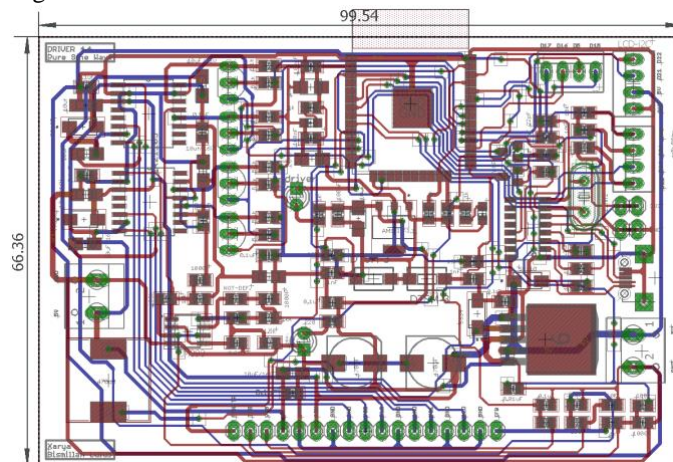
Gambar 2 merupakan hasil perencanaan yang didesain menggunakan *software* Eagle dan sudah diintegrasikan dengan ESP32. Gambar 2 menampilkan 2 buah IC IR2110 yang dimana masing-masing IC membutuhkan 2 pin untuk proses *switching*. Dua buah pin tersebut berperan penting dalam pengendalian MOSFET yakni pin LIN (*Low Input*) dan HIN (*High Input*). Berikut merupakan pin yang akan digunakan oleh ESP32 untuk mengontrol *driver* MOSFET.

Tabel 1. Penggunaan Pin ESP32

Pin ESP32	Fungsi
GPIO 18	Kontrol LIN IR2110 ke-2
GPIO 19	Kontrol HIN IR2110 ke-2
GPIO 26	Kontrol HIN IR2110 ke-1
GPIO 27	Kontrol LIN IR2110 ke-1
GPIO 23	Kontrol LED indikator driver
GPIO 13	Temperature feedback
GPIO 32	Current feedback
GPIO 33	Voltage feedback
GPIO 0	Tombol boot ESP32
GPIO 1	Komunikasi TX ke RX downloader ESP32
GPIO 2	LED indikator ESP32
GPIO 3	Komunikasi RX ke TX downloader ESP32
GPIO 4	Kontrol kipas pendingin sistem inverter

Tabel 1 menentukan fungsi setiap pin yang digunakan sebagai proses *switching* pada *driver* MOSFET. Pencantuman fungsi setiap pin ESP32 bertujuan agar proses perancangan *driver* lebih terstruktur dan lebih baik. Dari beberapa pin yang digunakan pada tabel 1 terdapat 4 pin penting yang digunakan untuk proses *switching* yakni pin 18, 19, 26, dan 27. Selain itu, pin lainnya merupakan pin pendukung yang penting juga untuk proses pembuatan *driver* MOSFET.

Setelah menyelesaikan perencanaan *wiring schematic* menggunakan *software eagle*. Tahapan selanjutnya ialah melakukan desain *board* PCB yang nantinya PCB ini bertanggung jawab menghubungkan MOSFET dengan komponen lainnya. Selain itu desain *board* PCB *driver* ini diharuskan memastikan jalur listrik yang dibuat efisien dan *pad* sesuai dengan spesifikasi. Berikut merupakan perencanaan desain *board* PCB *driver* yang dibuat menggunakan *software eagle*.

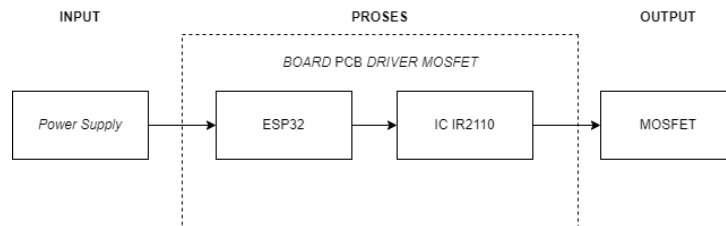


Gambar 3. Perencanaan Desain Board PCB Driver MOSFET

Gambar 3 menunjukkan hasil perencanaan desain PCB *driver* MOSFET. Hasil desain PCB memiliki ukuran yang cukup kecil dan minimalis yakni sebesar 99,54mm x 66,36mm. PCB tersebut didesain menggunakan teknik *double layer* yang dimana jalur warna merah merupakan *top layer* dan jalur berwarna biru merupakan *bottom layer*. Pada PCB yang didesain didominasi komponen SMD (*Surface Mounted Device*) yang bertujuan meminimalkan dimensi PCB.

b. Blok Diagram *Driver* MOSFET

Berikut merupakan blok diagram sistem *driver* MOSFET yang ditampilkan dalam Gambar 3 berikut ini.

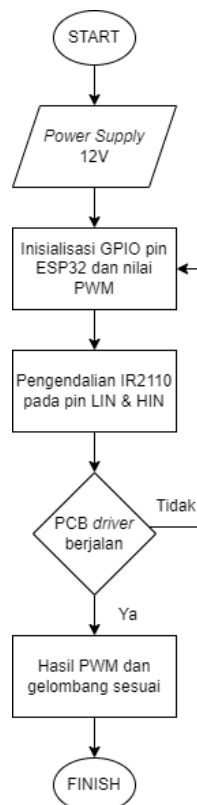


Gambar 4. Blok Diagram Driver MOSFET

Gambar 4 menjelaskan blok diagram terdiri dari 3 bagian *input*, *proses*, dan *output*. Bagian *input* dimulai dengan *power supply* / sumber tegangan listrik yang memiliki nilai 12V. Kemudian, pada *board driver* 12V diparalel menjadi 2 yang pertama masuk ke tegangan *input* IC IR2110 dan yang kedua masuk ke konverter untuk diturunkan menjadi 5V. Sebelum tegangan masuk ke ESP32 nilai tegangan 5V akan diturunkan lagi menjadi 3,3V untuk tegangan *input* ESP32. Bagian *proses*, ESP32 akan melakukan pengaturan sinyal PWM untuk proses *switching* pada IC IR2110 sesuai dengan program yang diinginkan. Bagian *ouput* merupakan rangkaian inverter yang terdiri dari beberapa MOSFET yang akan diatur *switching*-nya menggunakan *board* PCB yang telah dibuat oleh peneliti.

2.1. Flowchart Sistem

Berikut merupakan alur yang akan dilakukan dalam pembuatan *driver* MOSFET menggunakan mikrokontroler ESP32.



Gambar 5. Flowchart Sistem Driver MOSFET

Gambar 5 menggambarkan langkah-langkah untuk membangkitkan sinyal PWM yang digunakan untuk mengendalikan IC IR2110 sebagai *driver* MOSFET. Proses diawali dengan pengaturan *power supply* untuk *board* PCB *driver* MOSFET, tegangan yang dibutuhkan yakni sebesar 12VDC untuk tegangan masukan IR2110 dan akan diturunkan juga menjadi 5VDC dan 3,3VDC. Tegangan 5VDC akan digunakan untuk beberapa sensor atau aktuator jika diperlukan. Sedangkan, tegangan 3,3VDC digunakan untuk operasional dari mikrokontroler ESP32.

Selanjutnya ialah inisialisasi pin GPIO ESP32 yang akan digunakan untuk proses *switching* IR2110 dan melakukan pengaturan nilai PWM atau nilai pendukung lainnya untuk hasil yang diinginkan. Tahapan ini ESP32 dikonfigurasi untuk menghasilkan sinyal PWM dengan frekuensi, *duty cycle*, dan resolusi yang sesuai dengan kebutuhan IR2110. Peneliti

menginginkan frekuensi *carrier* PWM sebesar 20kHz dan frekuensi modulasi sebesar 50Hz untuk memastikan bahwa operasi MOSFET berjalan dengan efisien. Selain frekuensi, tahap inisialisasi ini melibatkan pengaturan *duty cycle* yang bertujuan menentukan persentase waktu dalam satu periode PWM ketika sinyal dalam kondisi *on* atau *high*.

Setelah itu, sinyal PWM yang dihasilkan oleh ESP32 digunakan untuk mengendalikan pin LIN (*Low Input*) dan pin HIN (*High Input*) dari IC IR2110. IR2110 berperan sebagai *driver* MOSFET yang mengendalikan *gate*/gerbang kaki MOSFET. Kontrol dari IR2110 diharapkan dapat menghasilkan gelombang sinusoidal yang diperlukan untuk sistem inverter. Pada tahap ini, diharuskan sinyal PWM yang dihasilkan stabil dan sesuai dengan harapan peneliti.

Tahapan selanjutnya merupakan pemeriksaan dari PCB *driver* yang telah dibuat sudah berfungsi dengan baik atau tidak. Tahapan ini bertujuan sebagai verifikasi bahwa sinyal PWM yang dihasilkan stabil dan IR2110 mengendalikan MOSFET dengan benar sesuai keinginan peneliti. Jika PCB *driver* tidak berfungsi dengan benar, porses akan kembali ke tahap inisialisasi untuk melakukan penyesuaian dan perbaikan yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan.

Jika PCB *driver* berfungsi dengan baik, hasil sinyal PWM dan bentuk gelombang yang dihasilkan akan sesuai dengan harapan peneliti. Hal ini menandakan bahwa sistem telah siap digunakan untuk sistem inverter. Dengan demikian, proses pembangkitan sinyal PWM menggunakan ESP32 dapat diselesaikan dan memastikan bahwa sistem inverter berfungsi dengan optimal. Diagram alir ini menunjukkan siklus yang memastikan semua langkah berjalan dengan baik sebelum PCB *driver* digunakan sepenuhnya pada inverter. Hal ini dapat mengurangi resiko kegagalan dan meningkatkan kinerja keseluruhan sistem inverter.

2.2. Pembangkitan PWM Secara SPWM

Pembangkitan sinyal PWM secara SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) menggunakan ESP32 ialah merubah setengah periode gelombang sinus menjadi beberapa pulsa yang memiliki lebar pulsa beragam. Besarnya sinyal SPWM yang dihasilkan tergantung dari besarnya sinyal referensi dan sinyal *carrier* (Lalu Riza Aliyan et al., 2014). Pembangkitan PWM secara SPWM, sinyal referensi sinusoidal dibandingkan dengan sinyal *carrier* berbentuk gelombang segitiga atau gerigi. Hasil perbandingan ini menentukan lebar pulsa yang dihasilkan oleh ESP32. Ketika nilai sinyal referensi lebih besar dari sinyal *carrier*, ESP32 akan menghasilkan sinyal PWM dalam kondisi *high* dan begitupun sebaliknya.

Formula yang digunakan untuk menghitung *duty cycle* PWM adalah sebagai berikut:

$$\text{Duty Cycle (\%)} = \left(\frac{t_{on}}{T}\right) \times 100\% \quad (1)$$

Dengan t_{on} adalah waktu ketika sinyal PWM dalam kondisi *high* dan T adalah periode total dari sinyal PWM. Selain menghitung nilai *duty cycle*, Nilai frekuensi sinyal PWM dapat dihitung menggunakan formula berikut:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Algoritma yang digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM menggunakan teknik SPWM dapat menggunakan formula berikut:

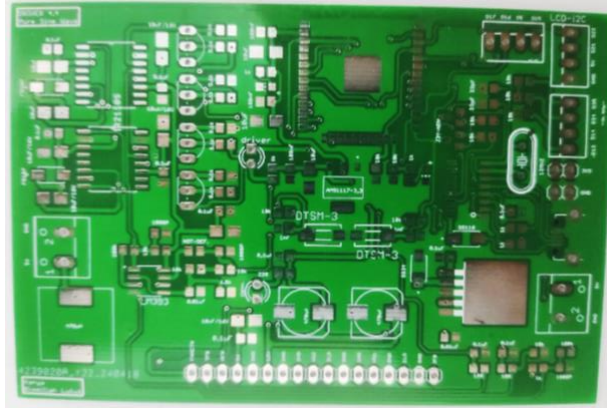
$$V_n = A \times \sin \left(2\pi \left(\frac{F_{Mod}}{F_{Carr}} \right) \times n \right) \quad (3)$$

Dengan V_n adalah nilai sinyal PWM dalam waktu ke- n , A adalah amplitudo sinyal, F_{Mod} adalah frekuensi modulasi (sinyal sinusoidal), dan F_{Carr} adalah frekuensi *carrier* (sinyal PWM). Pada implementasi menggunakan ESP32, sinyal referensi sinusoidal biasanya dihasilkan menggunakan algoritma yang memuat nilai-nilai sinus. Nilai-nilai ini kemudian dibandingkan dengan sinyal *carrier* yang dihasilkan oleh *timer* internal ESP32. Frekuensi sinyal *carrier* biasanya dipilih jauh lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi sinyal referensi untuk memastikan bahwa *output* PWM memiliki resolusi yang cukup tinggi untuk menghasilkan gelombang sinusoidal yang optimal.

Pembangkitan sinyal PWM secara SPWM pada ESP32 dalam sistem inverter memungkinkan pengendalian MOSFET yang lebih efisien dan *output* yang lebih optimal. Hal ini sangat penting dalam sistem inverter yang membutuhkan kualitas gelombang *output* dan efisiensi yang sangat diperhatikan. Menggunakan teknik SPWM, PCB *driver* yang dibuat dapat menghasilkan gelombang sinusoidal yang mendekati sempurna, mengurangi distorsi harmonik, dan meningkatkan kinerja keseluruhan sistem inverter.

3. Hasil dan Diskusi

Pada bab ini menjelaskan hasil dari perencanaan yang telah dilakukan sebelumnya. Perencanaan ini meliputi desain dan implementasi PCB *driver* MOSFET dengan mikrokontroler ESP32 untuk sistem inverter. PCB *driver* ini dibuat bertujuan dapat menghasilkan kontrol yang lebih presisi dan efisien dalam mengendalikan MOSFET.



Gambar 6. Hasil PCB *driver* MOSFET Sebelum Dipasangkan Komponen

Gambar 6 menunjukkan hasil dari desain PCB *driver* yang sudah dicetak dan menghasilkan PCB *driver* MOSFET. Namun dari Gambar 6 belum dipasang komponen-komponen seperti *chip* ESP32, IC IR2110, resistor, kapasitor, induktor, dan komponen lainnya. Setelah ini, tahapan selanjutnya yakni pemasangan komponen pada PCB *driver* dengan menggunakan bantuan solder dan alat pendukung lainnya.

Ketelitian saat penyolderan komponen sangat diperlukan dikarenakan komponennya termasuk kecil dan sangat rawan mengalami *overheat*. Oleh karena itu diperlukan pasta komponen agar komponen tidak mengalami *overheat* pada saat penyolderan. Rangkaian ESP32 sebisa mungkin diselesaikan pemasangannya agar bisa diujicoba fungsinya. Setelah uji coba fungsi ESP32 berhasil, dilanjutkan pemasangan komponen lainnya seperti rangkaian IR2110.



Gambar 7. Hasil PCB *Driver* MOSFET Sesudah Dipasangkan Komponen

Gambar 7 menunjukkan hasil dari penelitian yang dilakukan yakni pembuatan PCB *driver* MOSFET. PCB ini dirancang untuk mengendalikan MOSFET menggunakan sinyal PWM yang dihasilkan oleh ESP32. Selain itu, PCB *driver* ini berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler ESP32 dengan MOSFET pada sistem inverter.

PCB *driver* ini mencakup beberapa komponen penting yang mendukung fungsionalitasnya. Diantaranya adalah ESP32 yang berfungsi sebagai mikrokontroler utama. ESP32 menghasilkan sinyal PWM yang dikonfigurasi melalui pin GPIO untuk mengendalikan IC IR2110. Pengaturan ini memungkinkan pembangkitan sinyal SPWM yang diperlukan untuk menghasilkan gelombang sinusoidal pada *output* inverter.

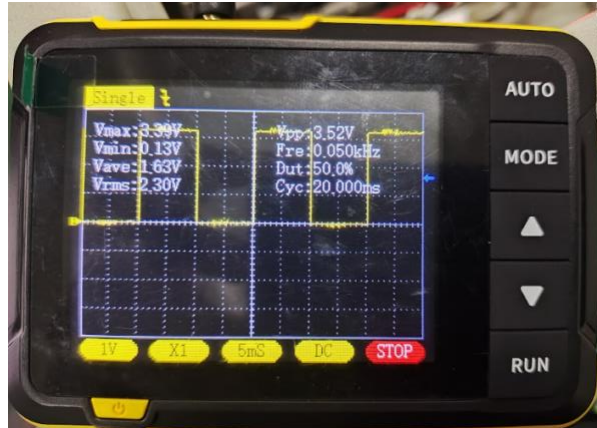
Selain ESP32, PCB ini juga dilengkapi dengan komponen-komponen pendukung lainnya seperti regulator tegangan, rangkaian *boot&enable*, serta pin eksternal untuk konektivitas dengan perangkat lain. Regulator tegangan memastikan bahwa ESP32 dan komponen lainnya mendapatkan suplai daya yang stabil. Sedangkan pin eksternal memungkinkan koneksi dengan perangkat lain seperti sensor dan aktuator sebagai pendukung sistem inverter.

3.1. Pengujian PCB driver MOSFET

Pengujian PCB ini bertujuan melihat fungsi keseluruhan dari PCB driver yang sudah dibuat pada penelitian ini. Untuk mengetahui PCB berfungsi sesuai harapan, maka dilakukan beberapa pengujian berikut ini:

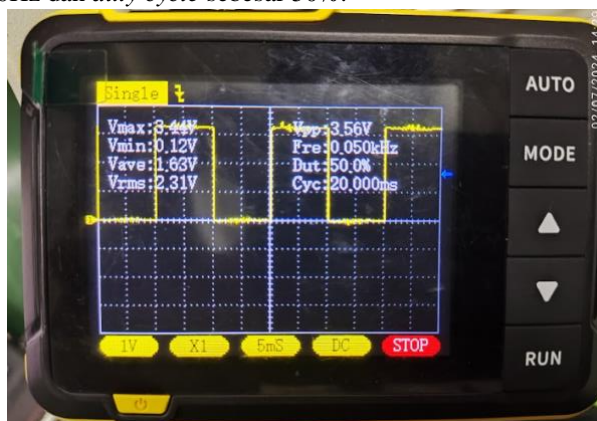
a. Pengujian Output Pin GPIO ESP32

Pengujian hasil output pin GPIO ESP32 bertujuan melihat hasil nilai frekuensi, *duty cycle*, *cycle time*, dan tegangan. Berikut merupakan hasil pengukuran pin GPIO 27 yang tersambung ke pin 1LIN IR2110 pertama.



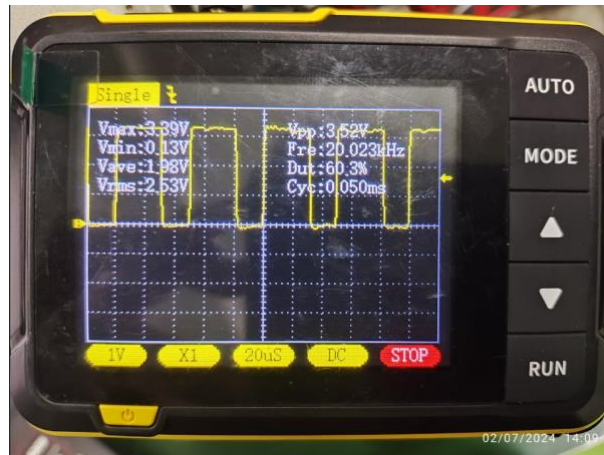
Gambar 8. Output pin GPIO 27 ESP32

Gambar 8 menunjukkan nilai tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) sebesar 3,52V. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal PWM pin GPIO 27 memiliki amplitudo yang sama dengan tegangan kerja ESP32 yakni 3,3V. Selain itu, frekuensi yang dihasilkan sebesar 50Hz dan *duty cycle* sebesar 50%.



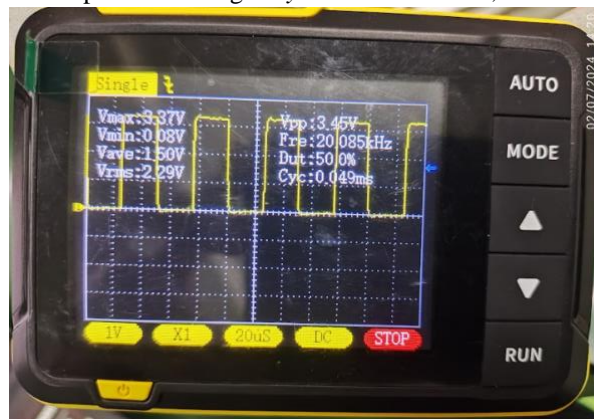
Gambar 9. Output pin GPIO 26 ESP32

Gambar 9 menunjukkan hasil pembacaan sinyal PWM pada pin GPIO 26 ESP32 yang tersambung ke pin 1HIN IR2110 pertama. Nilai tegangan, frekuensi, *duty cycle*, dan *cycle time* menghasilkan nilai yang sama dengan pin GPIO 27 pada Gambar 8. Hasil sinyal PWM stabil di 50% *duty cycle* sehingga hasil sinyal PWM konstan tidak berubah-ubah. Selanjutnya akan menampilkan hasil pengukuran pin GPIO pin 18 ESP32.



Gambar 10. Output pin GPIO 18 ESP32

Gambar 10 menunjukkan hasil pembacaan sinyal PWM pada pin GPIO 18 yang tersambung ke pin 2LIN IR2110 kedua. Tegangan V_{pp} yang dihasilkan sebesar 3,5V yang dimana sinyal PWM tersebut memiliki amplitudo yang sama dengan tegangan operasional ESP32 yakni sekitar 3,3V. Frekuensi yang dihasilkan dari pin GPIO 18 sebesar 20.000kHz yang bertujuan sebagai sinyal carrier untuk proses *switching* nantinya. Untuk nilai *duty cycle* memiliki nilai yang dinamis antara 0% sampai 100% dengan *cycle time* bernilai 0,050ms.

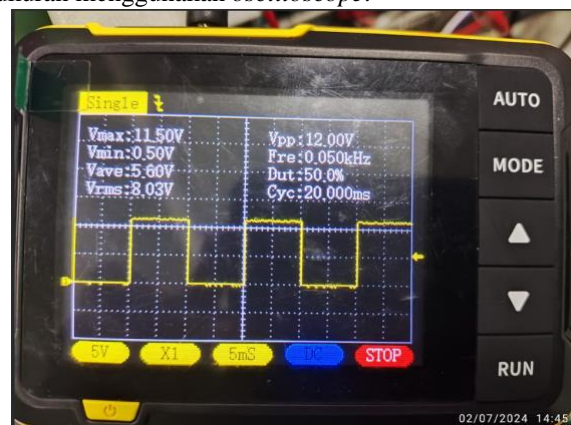


Gambar 11. Output pin GPIO 19 ESP32

Gambar 11 menunjukkan hasil dengan karakteristik yang sama pada Gambar 10. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi yang dilakukan peneliti menghasilkan nilai yang sama sesuai dengan yang diharapkan.

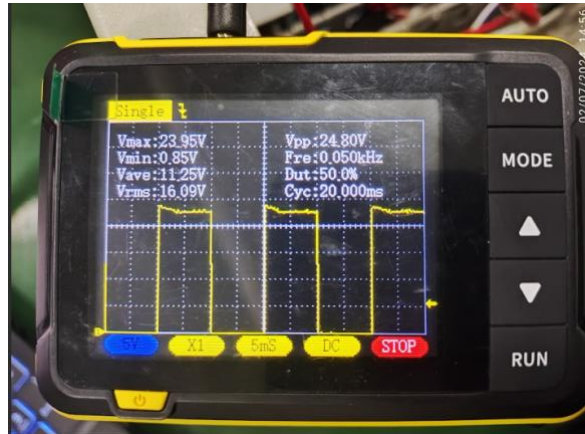
b. Pengujian Output IC IR2110

Pengujian hasil output IC IR2110 bertujuan melihat hasil nilai frekuensi, *duty cycle*, dan tegangan. Berikut ini merupakan hasil dari pengukuran menggunakan *oscilloscope*.



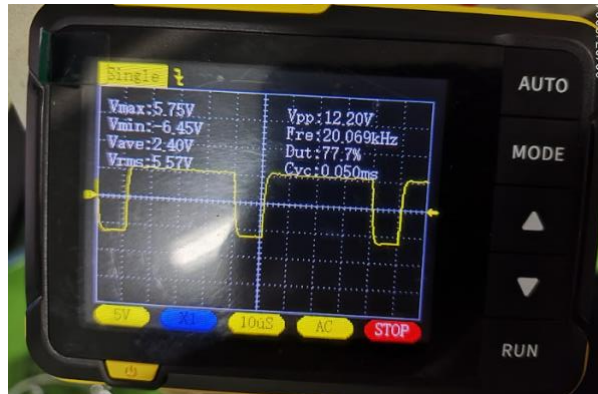
Gambar 12. Output 1LO IR2110

Gambar 12 menunjukkan hasil pembacaan *oscilloscope* pada pin 1LO IC IR2110 pertama. Hasil pembacaan terlihat tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) mencapai 12V, hal ini menunjukkan bahwa sinyal PWM memiliki amplitudo yang sesuai dengan tegangan suplai sistem yakni 12V. Frekuensi menghasilkan nilai 0,050kHz atau sama dengan 50Hz yang mana nilai tersebut sesuai dengan nilai frekuensi modulasi yang dimasukkan kedalam program oleh peneliti.



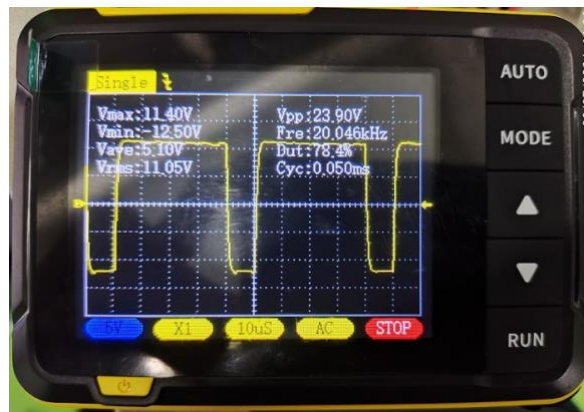
Gambar 13. Output 1HO IR2110

Sedangkan Gambar 13 menunjukkan nilai frekuensi, *duty cycle*, dan *cycle time* yang sama dengan pin 1LO pada IR2110 pertama. Namun nilai tegangan yang dihasilkan berbeda yakni pada tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) sebesar 24V. Perbedaan ini disebabkan karena peran kedua pin berbeda, 1HO berperan sebagai *high side* dan 1LO berperan sebagai *low side*.



Gambar 14. Output 2LO IR2110

Gambar 14 menunjukkan hasil nilai *duty* dan *cycle time* yang berubah-ubah, namun nilai tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) stabil di 12V. Hasil dari *duty cycle* dan *cycle time* yang berubah-ubah menandakan karakteristik dari teknik SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*), yang dimana sinyal PWM dimodulasi untuk meniru bentuk gelombang sinusoidal. Sedangkan nilai tegangan 12V menandakan memiliki amplitudo yang sama dengan tegangan *input*. Pin 2LO IR2110 kedua ini memiliki peran sebagai *low side* pada rangkaian MOSFET yang akan dikontrol.

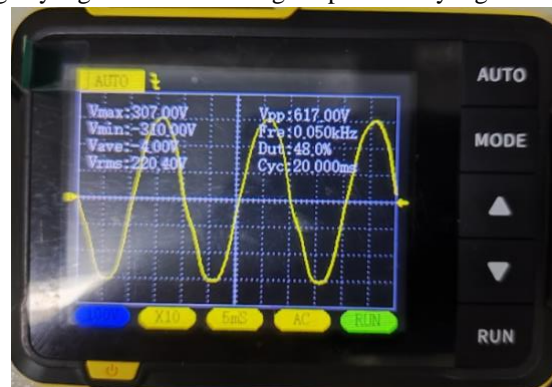


Gambar 15. Output 2HO IR2110

Gambar 15 menunjukkan hasil dari pembacaan pin 2HO pada IR2110 kedua yang memiliki karakteristik sama dengan Gambar 13. Namun memiliki perbedaan pada nilai tegangan yang dihasilkan oleh pin 2HO yakni sebesar 24V untuk tegangan puncak ke puncak (V_{pp}). Perbedaan nilai tegangan ini menunjukkan bahwa pin 2HO digunakan untuk mengontrol MOSFET pada sisi *high side* yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi untuk pengoperasiannya.

c. Pengujian *Output Inverter*

Pada bagian ini, hasil dari perencanaan dan implementasi ke sistem inverter menggunakan PCB *driver* yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja inverter dalam menghasilkan gelombang sinusoidal dengan frekuensi dan tegangan yang stabil sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.



Gambar 16. Hasil *Output Inverter 1 Fasa*

Gambar 16 menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50Hz dalam satu siklusnya membutuhkan waktu 20ms. Pada pengujian nilai frekuensi stabil di 50Hz yang dimana nilai tersebut sesuai harapan peneliti yakni menghasilkan *output* inverter dengan frekuensi 50Hz. Tegangan yang dihasilkan inverter menggunakan PCB *driver* yang telah dibuat bernilai 220VAV. Hasil tegangan tersebut sesuai harapan peneliti dan nilai yang dihasilkan stabil atau konstan.

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan seperti pengujian *output* sinyal PWM pin GPIO ESP32, *output* IC IR2110, dan *output* inverter dapat direpresentasikan kedalam bentuk tabel berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pin GPIO ESP32 PCB *Driver*

Pin	V_{pp} (V)	V_{avg} (V)	V_{rms} (V)	V_{max} (V)	Freq (Hz)	Dut. (%)
27	3,5V	1,6V	2,3V	3,3V	50Hz	50%
26	3,5V	1,6V	2,3V	3,3V	50Hz	50%
18	3,5V	1,6V	2,5V	3,3V	20kHz	60%
19	3,4V	1,5V	2,2V	3,3V	20kHz	50%

Hasil pengujian pin GPIO ESP32 pada PCB *driver* MOSFET bertujuan menunjukkan fungsi dari mikrokontroler ESP32 yang telah dibuat. Pin GPIO 27 dan 26 menunjukkan hasil bahwa pin tersebut mampu menghasilkan sinyal AC yang stabil dan simetris. Hal itu penting untuk memastikan operasi inverter yang efisien.

Selain itu, pin GPIO 18 dan 19 menunjukkan hasil dengan nilai frekuensi dan *duty cycle* yang bervariasi. Hal ini sangat penting untuk kontrol PWM dalam sistem inverter. Oleh karena itu, ESP32 dapat mengatur *switching* MOSFET secara efisien dan memastikan konversi daya yang optimal terhadap perubahan beban.

Tabel 3. Hasil Pengujian PCB Pada *Output* IR2110

Pin	Vpp (V)	Vavg (V)	Vrms (V)	Vmax (V)	Freq (Hz)	Dut. (%)
1LO	12	5,6	8,03	11,5	50	50
1HO	24	11	16	24	50	50
2LO	12,2	2,4	5,5	5,7	20kHz	77
2HO	23,9	5,1	11	11,4	20kHz	78

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik tegangan dan frekuensi dari *output* IR2110, yang merupakan *driver* MOSFET dalam sistem inverter. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan yang signifikan antara *output low side* (LO) dan *high side* (HO) dari IR2110 pada berbagai pin.

Untuk pin 1LO, tegangan puncak ke puncak (Vpp) tercatat sebesar 12V, tegangan rata-rata (Vavg) sebesar 5,6V, dan tegangan RMS (Vrms) sebesar 8,03V, serta tegangan maksimum (Vmax) menghasilkan sebesar 11,5V. Frekuensi sinyal yang dihasilkan adalah 50Hz dengan *duty cycle* sebesar 50%. Ini menunjukkan bahwa *output low side* ini menghasilkan sinyal AC yang stabil dan simetris pada frekuensi standar.

Pada pin 1HO, hasil pengujian menunjukkan Vpp sebesar 24V dengan Vavg sebesar 11V, Vrms sebesar 16V, dan Vmax sebesar 24V. Frekuensi sinyal pada pin juga 50Hz dengan *duty cycle* sebesar 50%. *Output high side* ini memiliki tegangan yang lebih tinggi dibandingkan *low side*, yang diperlukan untuk mengendalikan MOSFET pada sisi *high side* dalam konfigurasi *half bridge* atau *full bridge* inverter.

Pada pin 2LO, Vpp tercatat sebesar 12,2V, Vavg sebesar 2,4V, Vrms sebesar 5,5V, dan Vmax sebesar 5,7V. Frekuensi sinyal pada pin ini adalah 20kHz dengan *duty cycle* sebesar 77%. Sinyal dengan frekuensi tinggi dan *duty cycle* yang lebih besar pada *low side* ini menunjukkan kemampuan IR2110 untuk menghasilkan sinyal PWM yang efisien untuk mengontrol *switching* MOSFET pada aplikasi dengan kebutuhan frekuensi tinggi.

Sementara itu, pin 2HO menghasilkan Vpp sebesar 23,9V, Vavg sebesar 5,1V, Vrms sebesar 11V, dan Vmax sebesar 11,4V. Frekuensi sinyal pada pin ini juga 20kHz dengan *duty cycle* sebesar 78%. *Output high side* ini menunjukkan tegangan yang lebih tinggi dengan frekuensi tinggi dan *duty cycle* yang lebih besar, hal ini menunjukkan kemampuan IR2110 dalam mengontrol MOSFET pada sisi *high side* untuk aplikasi yang memerlukan pengendalian yang presisi.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa IR2110 dapat menghasilkan sinyal *output* yang stabil dan efisien pada kedua sisi *low side* dan *high side* dengan kemampuan untuk beroperasi pada frekuensi rendah dan tinggi serta berbagai *duty cycle* sesuai kebutuhan sistem inverter.

Tabel 4. Pengujian PCB Pada *Output* Inverter

Out.	Vpp (V)	Vavg (V)	Vrms (V)	Vmax (V)	Freq (Hz)	Dut. (%)
220V	617	-4	220,4	307	50	48

Hasil pengujian PCB *driver* MOSFET untuk kontrol *output* inverter menunjukkan karakteristik yang relevan untuk tegangan dan frekuensi dari *output* inverter. Tegangan puncak ke puncak (Vpp) tercatat 617V yang menunjukkan amplitudo besar dari sinyal AC yang dihasilkan oleh inverter. Tegangan rata-rata (Vavg) sebesar -4V mendekati nol (0) yang diharapkan untuk menghasilkan sinyal AC simetris dengan periode positif dan negatif yang hampir sama. Tegangan RMS (Vrms) sebesar 220,4V menunjukkan bahwa tegangan efektif yang diberikan adalah 220. Hasil tersebut sesuai dengan tegangan nominal untuk peralatan listrik rumah tangga standar. Tegangan maksimum (Vmax) yang tercatat adalah 307V yang merupakan tegangan puncak positif dari sinyal AC. Hal ini memberikan indikasi tentang potensi tegangan tertinggi yang mungkin dialami oleh komponen dalam sistem inverter.

Frekuensi sinyal *output* adalah 50Hz, frekuensi standar untuk jaringan listrik dibanyak negara. Hal ini untuk memastikan kompatibilitas dengan peralatan listrik yang dirancang untuk frekuensi ini. *Duty cycle* dari sinyal *output* adalah 48%, yang mencerminkan bahwa sinyal AC dihasilkan dapat dikatakan merupakan gelombang sinus ideal. Hal ini penting untuk efisiensi dan kualitas daya yang dihasilkan inverter. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa PCB *driver* MOSFET berfungsi dengan baik dalam menghasilkan tegangan AC yang stabil dan sesuai untuk aplikasi daya rumah tangga standar, dengan tegangan RMS yang mendekati 220V dan frekuensi 50Hz. Hal ini memastikan daya yang stabil dan andal untuk peralatan umum seperti pada rumah tinggal atau industri.

4. Kesimpulan

Luaran dari penelitian ini menunjukkan bahwa PCB *driver* MOSFET berbasis ESP32 memiliki potensi untuk digunakan dalam sistem inverter yang nyata. Kemampuannya untuk menghasilkan tegangan *output* yang stabil dan frekuensi 50Hz dengan gelombang sinus murni membuatnya cocok untuk mengoperasikan berbagai peralatan elektronik. Selain itu, dalam penelitian “Rancang Bangun Modul *Driver* Dengan PCB *Double Layer* Untuk Kontrol MOSFET Berbasis ESP32 ” mendapatkan beberapa kesimpulan.

Berdasarkan pengujian PCB *driver* MOSFET pada *output* inverter setelah *step up* menggunakan trafo toroid, mendapatkan hasil dengan nilai tegangan sebesar 220,4VAC. Selain itu, frekuensi yang dihasilkan sebelum dan sesudah dilakukan *step up* menggunakan trafo toroid mendapatkan hasil stabil dengan nilai 50Hz. Hal ini dapat memberikan solusi alternatif untuk *driver* MOSFET dalam sistem inverter yang berbasis ESP32. Serta, dapat meningkatkan fleksibilitas dan kontrol dalam sistem inverter jika menggunakan PCB *driver* MOSFET seperti penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Francisca H.C, Hari Sutiksno, & Setya Ardhi. (2013). TEKNIK PEMBANGKITAN GELOMBANG SINUS PWM UNTUK INVERTER DAYA TIGA FASE. Peningkatan Mutu Pendidikan Kejuruan Mengacu Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI), 175–183.
- Ikhwan Romadhoni, Awan Uji Krismanto, & Abraham Lomi. (2024). RANCANG BANGUN KENDALI INVERTER BERBASIS ARDUINO DENGAN METODE SPWM. *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*, 8(Vol. 8 No. 1 (2024): *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*), 433–440.
- Khairul Azmi, Ira Devi Sara, & Syahrizal. (2017). DESAIN DAN ANALISIS INVERTER SATU FASA DENGAN MENGGUNAKAN METODE SPWM BERBASIS ARDUINO. *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro* , 2, 36–44.
- Lalu Riza Aliyan, Rini Nur Hasanah, & M. Aziz MuslimE. (2014). Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM. *Jurnal EECCIS*, 8(1), 79–84.
- Mohammad Luqman, Achmad Komarudin, & Sidik Nurcahyo. (2022). PEMBANGKIT SINUSOIDA PULSE WIDTH MODULATION BERBASIS ARDUINO UNTUK INVERTER . *Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, 3, 42–46.

