

RANCANG BANGUN DAN PROTEKSI *INVERTER PURE SINE WAVE SPWM 500 WATT* BERBASIS MIKROKONTROLER MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC*

Wafiq Safaroz

¹ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya; Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur;

Riwayat artikel:

Received: 3 Juli 2023

Accepted: 30 Juli 2023

Published: 1 Agustus 2023

Keywords:

Inverter; Pure Sine Wave; SPWM; Esp32; Fuzzy Logic.

Correspondent Email:

wafiksafaros@gmail.com

Abstrak. Pengaplikasian elektronika daya semakin berkembang seperti pada sistem DC to AC converter atau sering disebut (*Inverter*). Sistem *inverter* memanfaatkan sumber tegangan DC yang dihasilkan oleh baterai, *power supply* atau sumber tegangan DC lainnya, yang nantinya akan dikonversi menjadi tegangan AC oleh *inverter*. Seiring berkembangnya penggunaan mikrokontrol sebagai driver penghasil sinyal PWM pada *inverter* mendorong kita untuk terus melakukan pengembangan. Salah satu pengembangan dari mikrokontroler yaitu ESP32. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah inverter satu fasa dengan gelombang *output pure sine wave* menggunakan driver ESP32 sebagai pembangkit sinyal SPWM. Selain itu untuk memaksimalkan kinerja dari *inverter* perlunya penambahan sistem proteksi agar dapat mengurangi resiko kerusakan pada *inverter* ataupun beban. Penggunaan metode *fuzzy* digunakan untuk menstabilkan tegangan.

Abstract. *The application of power electronics is growing as in the DC to AC converter system or often called (Inverter). The inverter system utilizes a DC voltage source generated by a battery, power supply or other DC voltage source, which will later be converted to AC voltage by the inverter. As the development of the use of microcontrollers as a driver for generating PWM signals on inverters encourages us to continue to develop. One of the developments of the microcontroller is ESP32. This study aims to produce a single-phase inverter with a pure sine wave output using the ESP32 driver as the SPWM signal generator. Besides that, to maximize the performance of the inverter, it is necessary to add a protection system in order to reduce the risk of damage to the inverter or the load. The use of the fuzzy method is used to stabilize the voltage.*

1. PENDAHULUAN

Secara umum, elektronik daya atau *power elektronik* adalah proses menggunakan perangkat *switching* semikonduktor untuk mengontrol dan mengubah aliran daya listrik dari satu bentuk ke bentuk lain untuk memenuhi kebutuhan tertentu. Dengan kata lain, elektronika daya memungkinkan kontrol aliran daya serta bentuknya ac atau dc dan besarnya arus dan tegangan. Pengaplikasian sistem elektronik daya atau *power electronic* di bidang kelistrikan diantaranya ada sistem AC to AC

controller, AC to DC Converter, DC to DC Converter, dan DC to AC Converter atau sering disebut dengan istilah (*Inverter*).

Power Inverter merupakan suatu perangkat elektronik yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Pengaturan tegangan di dalam *inverter* dikenal sebagai Modulasi Lebar Pulsa (*Pulse Width Modulation*, PWM) *Output* suatu *inverter* dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang kotak (*square wave*) dan sinus

modifikasi (*sine wave modified*), sinus (*Pure Sine Wave*). Jenis gelombang *Pure Sine Wave* merupakan tipe *inverter* yang menghasilkan *Output* gelombang sinus murni.

Metode pensaklaran atau switching frekuensi ada 2 yaitu metode PWM (*Pulse Wide Modulation*) yang biasa digunakan dan ada yang menggunakan metode SPWM (*Sinusoidal Pulse Wide Modulation*) adalah teknik modulasi baru pengembangan dari PWM yang akhir-akhir ini sering digunakan untuk mengontrol komponen semikonduktor pada *inverter*. SPWM ini diperoleh dengan cara membandingkan gelombang sinusoidal dengan gelombang *carrier* yang berupa gelombang segitiga. Metode pensaklaran terus mengalami pengembangan salah satunya yaitu menggunakan mikrokontroler sebagai pembangkit sinyal pada driver *inverter*. Mikrokontroler juga terus mengalami pengembangan salah satunya yaitu ESP32.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan judul “Pembangkit Sinyal SPWM Berbasis Arduino” [1]. pada penelitian ini dapat diketahui bahwa *Output* berupa gelombang SPWM, di dapatkan dari *output* frekuensi arduino uno yang diatur menjadi 10 KHz lalu terdapat IRF9540 dan IRF540 berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC kecil 12 VAC kemudian terdapat trafo *Step Up* berfungsi untuk menaikkan tegangan 220 VAC. Telah berhasil dirancang sebuah *inverter full bridge* 1 fasa dengan *input* 12 VDC dan *output* 107VAC tanpa beban, dan ketika ada beban *output* tegangan menjadi 81VAC. Kekurangan dari penelitian ini yaitu optocoupler pc817 tidak dapat menerima frekuensi PWM lebih dari 1KHz, sehingga tidak dapat menampilkan gelombang sinus pada *osilloscope* selain itu belum adanya sistem proteksi dan rangkaian *feedback*.

2.2. PWM

PWM (*Pulse Widht Modulation*) adalah sebuah metode/teknik memanipulasi lebar sinyal pulsa (*duty cylce*) dengan nilai amplitudo(A) dan frekuensi(f) yang tetap

dalam suatu periode, agar mendapatkan rata-rata tegangan yang berbeda-beda. [2]

2.3. SPWM

SPWM (*Sinusoidal Pulse Wide Modulation*) adalah teknik modulasi yang paling umum digunakan untuk mengontrol komponen semikonduktor pada *inverter*. SPWM ini diperoleh dengan cara membandingkan gelombang sinusoid dengan gelombang *carrier* yang berupa gelombang segitiga [3].

2.4. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang bisa mengubah tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*) [4]. *Inverter* biasa digunakan pada pembangkit listrik ataupun pada sistem UPS. *Input* pada *inverter* berupa tegangan DC biasanya berupa baterai aki, *photovoltaic*, generator dc dan sumber dc lainnya.

2.5. Full Bridge Inverter

Full bridge inverter adalah rangkaian dasar untuk mengubah dari DC ke AC dengan output gelombang penuh [5]

2.6. ESP32

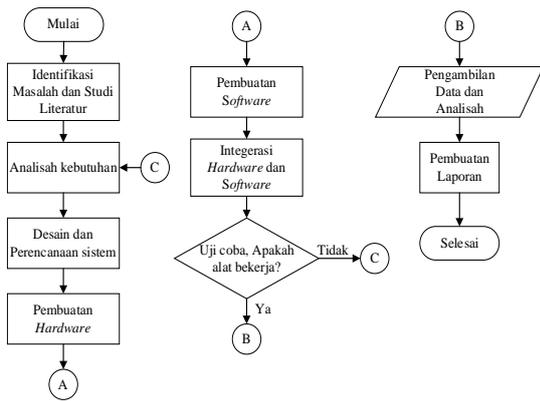
ESP32 adalah suatu sistem dengan biaya yang rendah dan mengkonsumsi daya yang relatif rendah pada seri chip (SoC) dengan Wi-Fi & kemampuan Bluetooth dua mode. Pada intinya, terdapat mikroprosesor Tensilica Xtensa LX6 dualcore atau single-core dengan clock rate hingga 240 MHz. ESP32 sudah terintegrasi dengan built-in antenna switches, RF balun, power amplifier, low-noise receive amplifier, filters, and power management modules[6]

3. METODE PENELITIAN

Tahap kerja penyusunan penelitian ini dilakukan dengan terencana yang disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*)

3.1. Flowchart Penelitian

Berikut merupakan *flowchart* penelitian yang dilakukan secara sistematis.



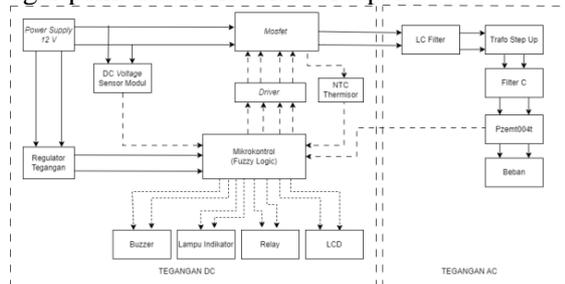
Gambar 1 Flowchart penelitian

Pada gambar 1 atau *flowchart* diatas menunjukkan bahwa pembuatan dan perancangan alat untuk Penelitian memerlukan alur penelitian yang terstruktur. Proses pertama yaitu pengidentifikasian masalah Setelah masalah tersebut teridentifikasi tahap selanjutnya yaitu studi literatur. Studi literatur berfungsi untuk mencari solusi dan memahami permasalahan-permasalahan lebih mendalam tentang topik penelitian. Setelah memahami cara untuk menyelesaikan masalah langkah selanjutnya yaitu desain dan perancangan sitem. Pada tahap desain dan perancangan sistem inilah penentuan komponen-komponen yang dibutuhkan dan penerapan metode yang tepat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ini merupakan diagram yang mewakili gambaran umum sistem yang akan dibuat. Sehingga dalam diagram blok tersebut menjadi acuan dan pedoman bagi penulis untuk menyelesaikan penelitiannya. pada gambar 3.2 merupakan gambar diagram blok yang akan diimplementasikan langsung agar pembuatan alat bisa tercapai.



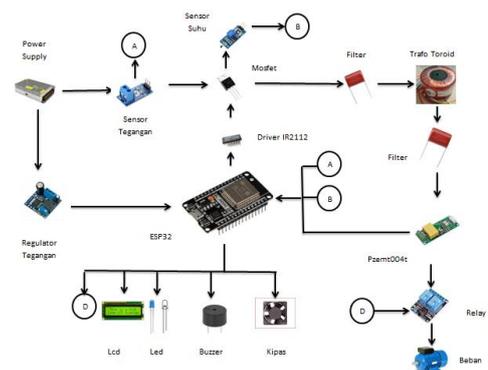
Gambar 3 Diagram blok sistem

Proses sistem kerja alat yaitu *power supply* 12 vdc diturunkan tegangan nya kemudian

digunakan untuk menyuplai ESP32 sebagai penghasil sinyal unipolar SPWM dengan metode fuzzy. Sinyal spwm unipolar digunakan untuk melakukan proses switching pada mosfet *inverter* dengan *feedback* yang dibaca oleh sensor tegangan. Output dari *inverter* berupa tegangan rms 7.8v Pada 7.8 vrms akan dinaikkan menjadi 220 vac menggunakan trafo *Step Up* menjadi 220 vac sehingga mampu menyuplai beban ac 220 v.

4.2. Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* dibuat dengan tujuan untuk menunjang kinerja sistem yang akan dibuat, perancangan *hardware* pada penelitian ini dibuat berdasarkan diagram blok sistem.



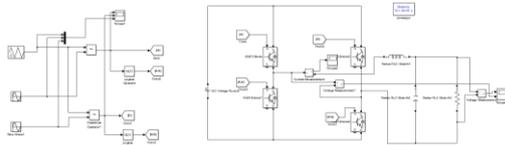
Gambar 2 Perancangan hardware

Perancangan hardware Prinsip kerjanya yaitu *input* berupa *power supply* 12 vdc kemudian dibaca oleh sensor tegangan untuk mengetahui nilai tegangan dari *power supply* 12vdc akan mengalir menuju regulator tegangan. *Output* dari regulator tegangan akan menyuplai ESP32. *Output* dari ESP32 berupa sinyal spwm kemudian sinyal spwm tersebut digunakan untuk mengatur mosfet. Suhu pada MOSFET akan dibaca oleh sensor suhu sebagai proteksi ketika terjadi panas maka akan mengirimkan sinyal ke ESP32. *Output* dari MOSFET berupa tegangan 7.8vrms kemudian akan di filter menggunakan *low pass filter* sehingga keluaran gelombang menjadi lebih stabil. Keluaran gelombang dari *low pass filter* akan dinaikkan menjadi ac 220 v menggunakan trafo *Step Up* toroid. Setelah dinaikkan akan difilter kembali

dengan rangkaian *low pass filter* setelah itu *output* akan dibaca oleh sensor tegangan dan arus kemudian akan diteruskan menuju ESP32 sebagai *feedback* untuk menentukan nilai *duty cycle*. Ketika terjadi trouble maka sistem proteksi akan aktif dan akan menghidupkan indikator led dan buzzer. Untuk nilai tegangan, arus dan daya akan ditampilkan ke LCD.

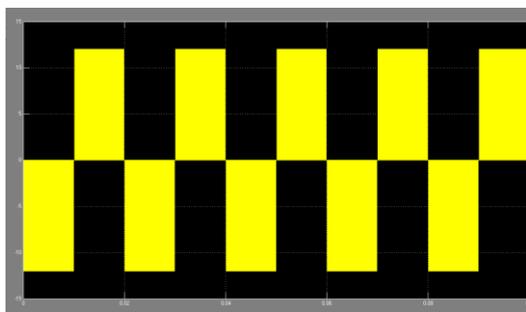
4.3. Simulasi Rangkaian Inverter

Simulasi matlab bertujuan untuk mengetahui hasil output dari inverter full bridge unipolar spwm. Frekuensi carrier yang digunakan yaitu sebesar 20 khz sedangkan frekuensi refrensi sebesar 50 hz. Di bawah ini merupakan gambar rangkain simulasi.



Gambar 4 Rangkaian simulasi full bridge

Hasil dari simulasi rangkaian diatas yaitu sebagai berikut.



Gambar 5 Rangkaian *output* simulasi

Gambar merupakan keluaran dari simulasi matlab fulbridge spwm unipolar. V_{peak} sebesar 12 V dengan frekuensi 50 HZ.

4.4. Simulasi Rangkaian Inverter

Proses Pembangkitan SPWM menggunakan ESP32 digunakan untuk mengetahui cara membangkitkan sinyal SPWM pada ESP32. Langkah-langkah pembangkitan spwm menggunakan esp32 yaitu sebagai berikut.

- Menentukan frekuensi dan perioda dari gelombang refrensi (sinus) yang

diinginkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$T = 1/f \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana :

T = Perioda

f = frekuensi gelombang sinus

- Menentukan perioda untuk setiap pulsa SPWM. Perioda setiap pulsa SPWM erat kaitannya dengan frekuensi carrier, maka dari itu perlu ditentukan frekuensi carrier yang dipakai. Pada tugas akhir ini frekuensi carrier yang digunakan yaitu sebesar 20 khz.
- Menentukan jumlah pulsa SPWM yang dihasilkan dengan cara membandingkan perioda sinyal refrensi dan sinyal carrier.
- Menentukan duty cycle per pulsa PWM . Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut ;

$$y = A \sin (\theta) \dots\dots\dots(4.2)$$

dimana :

y = lebar duty cycle per pulsa PWM

A = amplitude gelombang pulsa[7]

4.5. Pengujian Rangkaian Full Bridge

Pengujian rangkaian full bridge yaitu untuk melihat dan menganalisa hasil tegangan dan gelombang pada output rangkaian full bridge apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan. Dibawah ini merupakan hasil pengujian menggunakan osiloskop.



Gambar 6 Output mosfet

Gambar diatas merupakan hasil output rangkaian full bridge dimana tegangan output yang diharapkan yaitu sebesar 10.8Vrms pada hasil pengujian menggunakan osiloskop hasil dari output full brigde yaitu 7.85 Vrms.

Tabel. 1. Hasil output rangkaian full bridge

Vp-p	Voutput	Frekuensi
24.05Vp-p	7.85VAC	50Hz

Dari table diatas Voutput pada rangkaian full bridge yaitu sebesar 7.85 Vrms dimana tegangan output yang diharapkan yaitu sebesar 10.8 Vrms. Dimana perhitungan 10.8 Vrms didapat dari perhitungan :

$$V_o(rms) = \left[\frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_s^2 \cdot dt \right]^{1/2} \dots \dots \dots (4.3)$$

Dari persamaan 4.1 dapat dikembangkan menggunakan bentuk fourier :

$$V_o = \sum_{m=1,2,3,}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n\omega t \dots \dots \dots (4.4)$$

$$V_o = \frac{4V_s}{\sqrt{2}\pi} = 0,90 \times V_s \dots \dots \dots (4.5)$$

Dari persamaan 4.3 diketahui rumus menghitung tegangan keluaran rms yaitu :

$$V_o = 0,90 \cdot V_s \dots \dots \dots (4.6)$$

Dimana :

V_o = Tegangan output rms

V_s = Tegangan sumber (input)

Diketahui :

Tegangan input = 12 V

Maka Vrms atau V_o = 0,90 x 12
= 10.8 Vrms

Hasil pengujian diatas mengalami drop tegangan sebesar 2.95. Tegangan keluaran inverter dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sinyal frekuensi pembawa dan arus yang mengalir pada sistem selain itu kurangnya input tegangan pada driver IR2110 juga dapat berpengaruh pada output rangkaian full bridge.

4.6. Pengujian Rangkaian Output Inverter Setelah Filter LC

Pengujian filter *low pass filter* bertujuan untuk mengetahui output inverter setelah diberikan filter. Filter LPF yang digunakan yaitu filter LC .Penentuan nilai filter yaitu berdasarkan datasheet dari EGS002 dimana nilai inductor sebesar 3.3 mH sedangkan nilai kapasitor sebesar 2.2uF. Di bawah ini merupakan hasil output inverter setelah diberikan filter LC.



Gambar 7 Output setelah filter LPF

Dari gambar 21 Output gelombang inverter setelah melalui filter LC berbentuk gelombang *pure sine wave*. Output gelombang *pure sine wave* kemudian akan dihubungkan menuju trafo toroid agar bisa menjadi tegangan Ac 220 V. Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian output inverter dengan menggunakan filter LC.

Tabel. 2. Hasil output filter LC

No	V max (v)	Vp-p (v)	Vrms (v)	Frekuensi (Hz)
1.	10.45	20.50	7.25	50

Dari tabel diatas output yang di hasilkan sebesar 7,25 Vrms dengan frekuensi 50 hz. Dimana output vrms yang diharapkan sebesar 8.5 vrms

4.7. Simulasi Rangkaian Inverter

Pengujian pembebanan tanpa metode menggunakan lampu sebagai beban . Langkahnya yaitu dengan menghubungkan keluaran trafo menuju beban-beban secara bergantian . Pada pengujian pembebanan tanpa metode sistem proteksi dimatikan terlebih dahulu dikarenakan tegangan akan langsung mengalami drop ketika diberikan beban. Pengujian karakteristik metode fuzzy menggunakan beban utama lampu. Pada gambar 8 merupakan hasil pengujian dengan beban lampu 10 watt.



Gambar 8 Output inverter beban 10 watt



Gambar 8 Output inverter beban 300 watt

Tabel. 3. Pengujian output trafo sebelum diberikan metode fuzzy

No	Beban	Tegangan(V)	Frekuensi (Hz)
1.	Lampu 10 watt	211	50
2.	Lampu 25 watt	200	50
3.	Lampu 50 watt	185	50
4.	Lampu 100 watt	175	50
5.	Lampu 200 watt	138	50
6.	Lampu 300 watt	103	50

Dari table diatas tegangan output mengalami drop sebesar 9 v ketika dibebani lampu 10 watt. Pada pembebanan lampu 25 watt inverter mengalami drop sebesar 20 V. Tegangan akan semakin drop seiring penambahan beban

5. KESIMPULAN

1. Pembuatan driver inverter menggunakan esp32 memiliki kelemahan yaitu output

pwm dari esp32 pada pengukuran secara real sebesar 3.0 v sedangkan kebutuhan minimum dari driver IR2110 pada inverter yaitu sebesar 3.3 v sehingga menyebabkan output dari inverter mengalami drop tegangan. Untuk pengembangan selanjutnya yaitu pembuatan rangkaian driver menggunakan optocoupler atau penggabungan antara optocoupler dengan IR2110.

2. Setelah penambahan filter LPF output inverter menjadi sinus murni dengan frekuensi sebesar 50 Hz.
3. Pada saat pembebanan tegangan output inverter akan mengalami drop tegangan. Semakin banyak nilai pembebanan maka output tegangan inverter juga mengalami drop tegangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dinasti, S., Luqman, M., & Pracoyo, A. (2022). Pembangkit Sinyal SPWM Berbasis Arduino Uno. 9(9).
- [2] Maa'amun, F. (2022). No Title. Desain Dan Implementasi Inverter DC-AC Satu Fasa. <https://eprints.umm.ac.id/89628/>
- [3] Amrullah, R. A., Herwandi, H., & Pracoyo, A. (2021). Perancangan Dan Pembuatan Inverter Pure Sine Wave 150WATT Dengan Feedback AC 220/50Hz Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*,8(2),96.<https://doi.org/10.33795/elk.v8i2.280>
- [4] Iskandar, M., & Minto, B. (2021). RANCANG Bangun Inverter Pure Sine Wave. 13.
- [5] Denny.Alfani. (2018). Rancang Bangun Voltage Source Inverter Full-Bridge Satu Fasa 50 Hz. <https://repository.its.ac.id/55344/>
- [6] FAUZY, F., 2021. Rancang Bangun Alat Telemetri Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis IoT (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- [7] Umar, R.A., Adam, K.B. and Aprillia, B.S., 2021. Perancangan inverter tenaga surya on grid satu fasa. *eProceedings of Engineering*, 8(3).