

Rancang Bangun *Multivoltage Input Output* pada *Inverter* Skala Kecil (Studi Kasus: Panel Surya dan Baterai VRLA)

Miftah Nur Hafidz*, Indah Sulistiyowati

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstrak: Dewasa ini, sangat banyak jenis peralatan elektronik skala kecil rumah tangga dengan berbagai macam fungsinya. Sebagian kecil peralatan elektronik tersebut sudah mengadopsi teknologi multi tegangan input dari 100V – 240VAC. Pengaplikasian teknologi multi tegangan input digunakan karena lebih fleksibelnya *power supply* dari produk tersebut untuk masuk ke suatu negara baik dengan standar input tegangan AC 100V, 110V, 220V, maupun standar lainnya sesuai rentang tegangan yang tersedia. Dibalik kelebihan teknologi multi tegangan input yang tertanam pada peralatan elektronik terdapat biaya tambahan untuk rangkaian pengkondisi tegangan yang akan menambah jumlah komponen, ruang, dan biaya desain *power supply* pada peralatan elektronik. Pada titik ini ditemukan ketidakefisienan teknologi multi tegangan input yang tertanam pada rangkaian *power supply* peralatan elektronik. Oleh sebab itu, dirancang *inverter* yakni sebuah rangkaian pengubah tegangan listrik searah (DC) ke tegangan bolak-balik (AC) yang dapat mengadopsi multi tegangan input dari sumber tegangan DC sekaligus dapat diatur untuk rentang tegangan keluaran AC sesuai dengan kebutuhan. Secara keseluruhan sistim pada *inverter* diatur oleh sebuah *mikrokontroler* yang menjadi pusat kendali proses *inverting* sinyal DC. *Inverter* ini dirancang untuk dapat mengubah sinyal DC fluktuatif dari baterai VRLA dengan rentang 10-13VDC dan dari solar panel 50WP dengan rentang 13-18VDC menjadi sinyal AC dengan rentang 80-250VAC.

Kata Kunci: *Inverter, AC, DC, Mikrokontroler, Solar Panel*

DOI:

<https://doi.org/10.47134/innovative.v2i4.94>

*Correspondence: Indah Sulistiyowati

Email:

indah_sulistiyowati@umsida.ac.id

Received: 01-10-2023

Accepted: 15-11-2023

Published: 31-12-2023



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: These recent days there are so many home scale electronics devices with various of functionality. Lots of them adopt multi voltage input topology that starts from 100V – 240V AC. The application of multi voltage input topology are mean to be used of its flexibility when some product tend to be sell in some country with various voltage input regulation standard such as AC 100V, 110V, 220V, etc. Behind the advantage of multi voltage input topology in electronics device there is some additional voltage conditioning circuit cost exist to raise the electronic power supply design cost value investment. At this rate inefficient point of embedded multi voltage input topology was found. Based on that case this inverter is designed to be able to handling multiple DC range input and controllable AC output range regarding the necessity. This DC signal conversion to AC is usually called as inverter. Overall inverter sistim controlled by microcontroller. This Inverter is designed to convert fluctuate DC signal of VRLA battery with voltage range starts from 10-13VDC and 50WP solar panel with voltage range starts form 13-18VDC to generate AC signal with range starts from 80-250VAC.

Keywords: *Inverter, AC, DC, Microcontroller, VRLA, Solar Panel*

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Pertumbuhan penduduk dan ekonomi di negara ini sangat bergantung pada banyak faktor, seperti pembangunan infrastruktur yang adil di setiap pulau yang mencakup penyediaan listrik. Sayangnya, meskipun rasio elektrifikasi sudah cukup baik, masih ada banyak pulau di Indonesia yang belum memiliki pasokan listrik yang seharusnya disediakan oleh perusahaan milik negara PLN. Pembangunan listrik di Indonesia mengadopsi standar tegangan yang didistribusikan kepada penduduk dengan tegangan 220V 50Hz. Berdasarkan standar ini, setiap perangkat elektronik yang masuk ke Indonesia harus mengikuti standar tegangan masukan yang sudah diatur oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia (ESDM) dalam dokumen Standar Nasional Indonesia (SNI).

Saat ini, terdapat banyak jenis perangkat elektronik, terutama yang digunakan di rumah tangga, yang memiliki berbagai fungsi tanpa mempertimbangkan asal usul perangkat elektronik tersebut. Banyak perangkat elektronik telah mengadopsi teknologi masukan multi-tegangan yang rentangnya berkisar antara 100V-240V (Lin, 2024; Huang, 2023; Rodriguez-Estrada, 2023; Sulistiyowati & Muhyiddin, 2021). Penerapan teknologi masukan multi-tegangan ini diadaptasi karena lebih fleksibel bagi produk untuk menggunakan pasokan daya yang sesuai dengan standar masukan tegangan di setiap negara yang berbeda, seperti 100V, 220V, atau standar lainnya, sesuai dengan rentang tegangan yang tersedia. Namun, di balik keuntungan teknologi masukan multi-tegangan yang tertanam di dalam perangkat elektronik, terdapat biaya tambahan untuk rangkaian kondisi tegangan, yang secara tidak langsung meningkatkan nilai investasi untuk pasokan daya, sehingga mempengaruhi harga perangkat elektronik itu sendiri. Selain itu, adaptasi masukan multi-tegangan pada perangkat elektronik akan mempengaruhi karakteristik kerja perangkat tersebut. Selanjutnya, keberadaan kepulauan di Indonesia membuat mahal untuk mendistribusikan infrastruktur listrik secara merata, dan oleh karena itu sumber daya listrik portabel yang mudah dipelihara dan dikendalikan menjadi sangat penting. Namun, UPS (*Uninterruptible Power Supply*) (Wei, 2023; Kumar, 2022; Sulistiyowati et al., 2022; Mu, 2021) yang tersedia di pasaran biasanya sudah terpasang, sehingga sulit untuk mengganti suku cadang seperti baterai secara teratur atau dengan tipe yang berbeda dari yang asli.

Arduino adalah sebuah papan sirkuit pengendali mikro yang bersifat *open-source*, dirancang untuk memudahkan pemanfaatan penggunaan perangkat elektronik dalam berbagai bidang (Guo, 2021; Pan, 2020; Wan, 2020; Xu, 2020; Corporation, 2015). Arduino dilengkapi dengan prosesor Atmel AVR serta perangkat lunak berupa *software* yang memiliki sintaks bahasa pemrograman sendiri. Arduino memiliki sebuah *Software Open Source IDE* yang digunakan untuk melakukan antarmuka *programming mikrokontroler* berbasis platform arduino. Papan sirkuit *mikrokontroler* ini dikembangkan dengan arsitektur *mikrokontroler* AVR 8 bit dan ARM 32 bit (Allam et al., 2022). Berikut beberapa kelebihan arduino, antara lain:

1. Mudah dalam pemrograman *mikrokontroler*
2. Memiliki modul yang siap pakai (*shield*) yang banyak beredar di pasaran
3. Tidak perlu perangkat *chip programmer* khusus karena di dalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari komputer secara langsung ke perangkat arduino.
4. Sudah memiliki sarana komunikasi USB, sehingga memudahkan pengguna laptop/PC yang tidak memiliki port serial/RS323 (Ali et al., 2021) untuk bisa menggunakannya.



Gambar 1. Arduino Uno

A. Sensor

Sensor adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mendeteksi dan berfungsi untuk mengkonversi besaran tertentu ke dalam besaran elektrik yang dapat dibaca dan diolah dalam bentuk data. Sensor adalah jenis transduser yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Pada saat ini sensor telah banyak dibuat dengan ukuran sangat kecil sampai orde nanometer (Dongari & Ganesh, 2016). Ukuran yang sangat kecil ini memudahkan pengguna dan menghemat energi. Sensor memegang peranan penting dalam pengendalian proses fabrikasi modern. Sensor memberikan nilai yang ekuivalen dengan mata, pendengaran, penciuman, perasa lidah dan menjadi masukan berupa referensi tegangan ke mikroprosesor. Pada penelitian ini sensor yang digunakan untuk mendapatkan data berupa tegangan dan arus pada proses konversi sinyal dari DC ke AC. Untuk mengukur tegangan secara umum digunakan rangkaian pembagi tegangan dan untuk mengukur arus digunakan sensor yang memiliki konsep pengubah medan magnet ke dalam satuan arus (Nugraha et al., 2022).

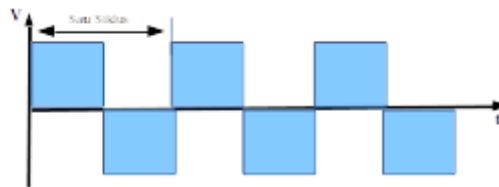
B. DC-DC Converter

DC-DC Converter menggunakan konsep rangkaian *boost* tegangan yang berbasis dengan pemanfaatan induksi balik medan magnet pada induktor (*back EMF*). Induksi balik ini akan didapat dari pensakelaran arus yang masuk ke dalam induktor yang akan meningkat seiring dengan *duty cycle* yang dikeluarkan. Dengan rangkaian ini maka dapat dilakukan peningkatan tegangan sesuai dengan besar induktansi dan perbandingan lilitan induktor yang mengalami pensakelaran (Sodiq et al., 2021).

C. Inverter Terkendali PWM

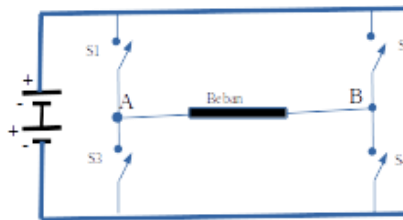
Inverter merupakan rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Pada umumnya di pasaran tegangan DC yang dipergunakan adalah tegangan DC 12V

yang berasal dari baterai konvensional, sedangkan tegangan AC yang dihasilkan sebesar 220V dengan frekuensi 50Hz (Ashari & Faisol, 2020). Sesuai dengan standar tegangan jala-jala di Indonesia. Tegangan AC tersebut biasanya berbentuk kotak dan ada juga yang berbentuk sinusoidal. Tegangan AC yang berbentuk kotak hanya dapat digunakan pada peralatan tertentu saja sedangkan tegangan AC yang berbentuk sinusoidal dapat digunakan pada semua jenis peralatan atau dengan kata lain tegangan AC sinusoidal tersebut sama dengan tegangan jala-jala dari PLN (Suwenda et al., 2021).



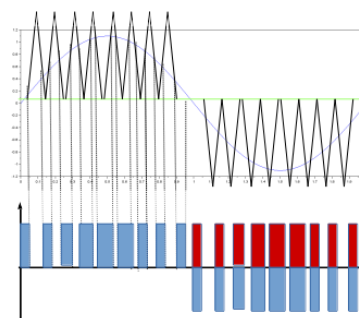
Gambar 2. Tegangan AC berbentuk kotak

Tegangan AC yang berbentuk kotak diperlihatkan pada Gambar 2 ada beberapa teknik untuk menghasilkan tegangan sinusoidal dengan teknik *Sine Wave Pulse Width Modulation* (SPWM) (Sulistiyowati et al., 2022). Sebelum membahas teknik tersebut maka yang perlu diperhatikan terlebih dahulu adalah prinsip kerja dari *inverter*.



Gambar 3. Ilustrasi Prinsip Kerja *Inverter*

Gambar 3 memperlihatkan prinsip kerja dari *inverter*. Pada setengah periode pertama, *switch* S1 dan *switch* S4 menutup sementara S2 dan *switch* S3 membuka. Pada kondisi ini arus mengalir dari titik A menuju titik B. Setengah periode berikutnya *Switch* S1 dan *switch* S4 membuka sementara S2 dan *switch* S3 menutup. Sehingga arus mengalir dari titik B ke titik A (Fachrudin et al., 2021). Selanjutnya untuk membentuk sinyal sinusoidal menggunakan teknik *Sine Pulse Width Modulation* (SPWM) digunakan teknik dengan membandingkan sinyal sinus dengan sinyal segitiga. Pada Gambar 4 setiap setengah siklus sinyal sinus dibandingkan dengan 8 (delapan) unit sinyal segitiga. Berdasarkan pengalaman penulis jika diaplikasikan kepada motor-motor listrik maka diperlukan 7 atau 9 unit sinyal segitiga pada setiap setengah siklus sinyal sinus. Apabila jumlah sinyal segitiga diperbanyak menjadi lebih dari 9 unit pada setiap setengah siklus



maka tidak ada pengaruhnya terhadap bentuk sinyal sinusoidal atau Total Harmonik Distorsi tidak berubah.

Gambar 4. Ilustrasi sinyal PWM

Dari Gambar 4 menunjukkan bentuk tegangan AC yang berbentuk kotak dipotong dengan lebar yang tidak sama mengikuti perbandingan sinyal sinus dengan segitiga. Warna merah pada gambar 4 adalah siklus negatif dari grafik warna biru yang berharga negatif. Karena untuk men-*trigger* semua *switch* (S1 s/d S4) pada gambar 4 menggunakan *mikrokontroller* maka siklus negatif (grafik warna biru) dibalik menjadi berharga positif (grafik warna merah) sedangkan untuk pengaplikasiannya menggunakan transformator dengan CT (Fachrudin et al., 2021).

Metode

A. Studi Kepustakaan

Dalam penelitian ini akan diterapkan beberapa langkah kerja/metode penelitian untuk memperoleh hasil yang maksimal untuk itu pada tahap ini mempelajari mengenai konsep serta kemungkinan permasalahan yang ada melalui referensi dari buku, *website*, serta jurnal ilmiah, tentang implementasi sistim PID, karakteristik sensor tegangan dan arus, *mikrokontroler* Arduino uno, rangkaian *DC-DC converter*, rangkaian *inverter* terkendali, pemrograman dan materi lainnya.

B. Analisa Permasalahan

Melakukan analisa kualitatif terhadap data pengujian yang di data baik pada setiap komponen rangkaian maupun terhadap pengontrol terkendali pada *inverter* untuk menentukan fungsi yang dapat dijadikan *setting point output* dari sistim sesuai dengan input yang berubah-ubah nilainya agar didapat penyesuaian output yang sesuai.

C. Analisa Sistim

Pada proses *troubleshooting* sistem akan diambil data-data mulai dari data input dari tegangan DC sebelum masuk ke rangkaian *DC-DC converter*, kemudian data *output DC-DC converter* untuk menentukan respon dan kestabilan rangkaian *DC-DC converter* itu sendiri. Selanjutnya pengambilan data output dari inverter yang akan dijadikan sebagai output sekaligus umpan balik untuk sistem agar diperoleh kestabilan sistim sesuai dengan *setting point* yang diterima oleh *mikrokontroler*. Setelah parsial data tiap blok rangkaian diperoleh, maka langkah terakhir yang dilakukan adalah analisis data secara kuantitatif dari keseluruhan sistim.

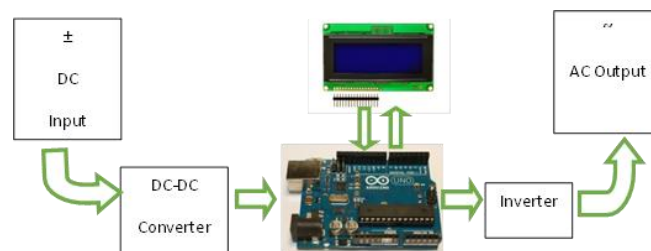
Hasil dan Pembahasan

Perancangan Hardware

Perancangan sistim ini akan membahas tentang diagram blok sistim kerja alat, perancangan perangkat lunak, perancangan perangkat keras serta integrasi alat secara keseluruhan. Masukan pertama berupa sumber tegangan DC dari baterai, solar panel maupun power suplai. Masukan DC yang bersifat fluktuatif/multi tegangan selanjutnya akan diproses oleh rangkaian *DC-DC converter* untuk memperoleh tegangan kerja yang

stabil dalam rentang 12V DC untuk kebutuhan suplai ke rangkaian *inverter*. Pada rangkaian *inverter mikrokontroler* arduino melakukan pensakelaran dengan memanfaatkan *timer* internal untuk dapat menghasilkan sinyal SPWM untuk *men-trigger driver* MOSFET. Sinyal DC 12V yang dilakukan pensakelaran oleh MOSFET selanjutnya difilter L-C dan dimasukkan ke trafo step-up ke tegangan 220V AC. (Lin et al., 2021)

Tegangan keluaran dari *inverter* akan dibaca oleh sensor tegangan dan arus yang terhubung dengan pin ADC *mikrokontroler* arduino uno dalam bentuk nilai tegangan, setelah itu nilai tegangan ini akan dikonversi oleh *mikrokontroler* menjadi rentang nilai digital yaitu 0 – 1023, sehingga apabila tegangan yang diinginkan tidak sama dengan tegangan aktual pembacaan sensor, maka *mikrokontroler* akan mengolah perintah untuk kontrol PWM pada *inverter*, rangkaian ini yang akan mengatur kerja dari *driver* MOSFET (Dash & Das, 2022). Dengan demikian tegangan keluaran sistim ini akan menyesuaikan dengan *setting point* pada tampilan LCD.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem

Perancangan Software

Pada perancangan sistim ini menggunakan software program editor dan *compiler* untuk arduino uno yaitu software Arduino IDE sebagai *compiler* program bahasa C++ ke *mikrokontroler* pada papan sirkuit arduino uno. Bagian utama dari program sistim ini adalah pada menu perintah memasukkan nilai tegangan AC *set point* dari potensiometer yang akan dijadikan referensi untuk target keluaran sistim ini. Setelah memasukkan *set point* ke dalam *inverter*, proses sistem berjalan dengan *mikrokontroler* mengeluarkan output SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) pada *driver* MOSFET (Zhou et al., 2018). Selanjutnya *driver* MOSFET akan melakukan pensakelaran pada MOSFET rangkaian *inverter* untuk menghasilkan tegangan AC setelah filter L-C. Tampilan LCD akan menampilkan besarnya nilai *set point*, error, tegangan input dan tegangan output yang akan terus dilakukan *update* selama proses konversi. Apabila nilai tegangan AC keluaran tidak sesuai dengan *set point* maka sistem secara otomatis akan melakukan konversi PWM dan melakukan penyesuaian program untuk nilai tegangan output sistim.

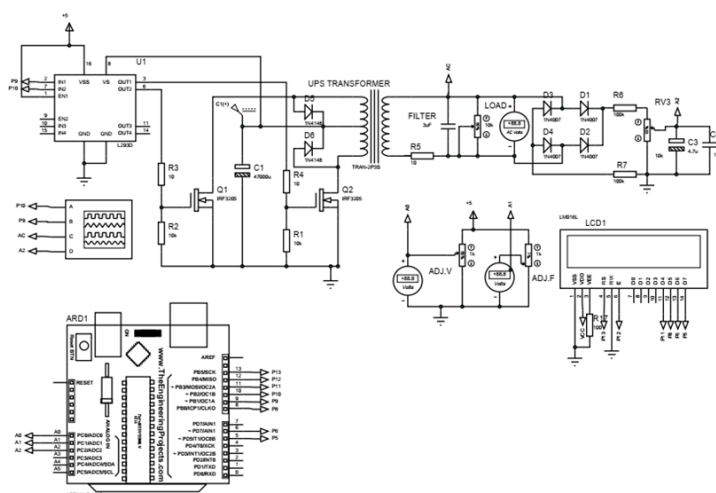


Gambar 6. Tampilan Software Aduino IDE

Bagian utama dari program sistim ini adalah pada menu perintah memasukkan nilai tegangan AC set point dari potensio yang akan dijadikan referensi untuk target keluaran sistim ini. Setelah memasukkan *set point* ke dalam *inverter*, proses sistem berjalan dengan *mikrokontroler* mengeluarkan output SPWM (*Sinusoidal Pulse Widht Modulation*) pada *driver* MOSFET. Selanjutnya *driver* MOSFET akan melakukan pensakelaran pada MOSFET rangkaian *inverter* untuk menghasilkan tegangan AC setelah filter L-C (Qanbari & Tousi, 2021). Tampilan LCD akan menampilkan besarnya nilai *set point*, eror, tegangan input dan tegangan output yang akan terus dilakukan update selama proses konversi. Apabila nilai tegangan AC keluaran tidak sesuai dengan *set point* maka sistim secara otomatis akan melakukan konversi PWM dan melakukan penyesuaian program untuk nilai tegangan output sistim

D. Skematik Sistim

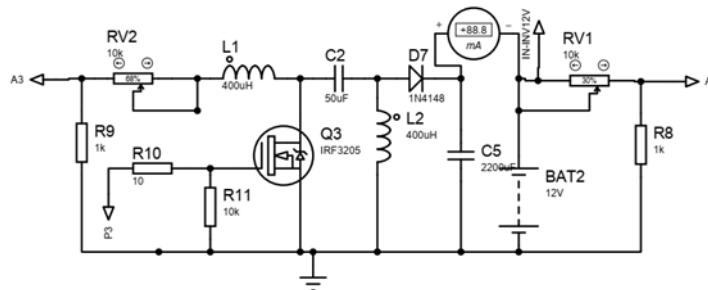
Rangkaian ini menggunakan *mikrokontroler* arduino uno, yang berfungsi sebagai otak dan pusat pengolahan data serta mengatur jalannya rangkaian secara keseluruhan secara sekuensial. Perancangan sistim dalam penelitian ini membutuhkan suplai tegangan yang diambil dari input DC yang bervariasi baik dari solar panel, baterai maupun power suplai. Secara umum tegangan yang akan dipakai untuk suplai sistim akan diset pada 12V dan untuk pengembangan tiap blok rangkaian akan diubah tergantung dari kebutuhan suplai tegangan. Untuk memperoleh kestabilan suplai akan menggunakan IC 7805 sebagai regulator utama yang akan diletakkan setelah rangkaian *DC-DC converter* serta baterai 12V sebagian *backup/starting up* pencatu daya untuk *mikrokontroler*.



Gambar 7. Skematik sistim

Rangkaian pengkondisi sinyal disini digunakan untuk mengatur dan mengkondisikan sinyal tegangan masukan agar dapat diolah menjadi masukan bagi rangkaian inverter. Karena pada sisi input mengolah tegangan DC maka dibutuhkan sebuah rangkaian *DC-DC converter* untuk mengkondisikan sinyal yang sifatnya variatif dari 1-20V DC (Jamal, 2015). Untuk itu jenis *DC-DC converter* yang digunakan adalah *Single*

Ended Primary Inductance Circuit (SEPIC). SEPIC sendiri merupakan salah satu jenis rangkaian *converter* tegangan DC dengan output yang dapat menaikkan maupun menurunkan tegangan sesuai dengan *Duty Cycle* yang digunakan. Selain itu SEPIC juga

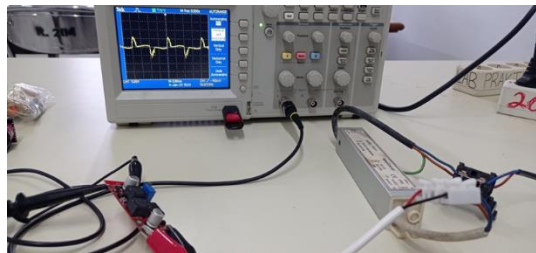


memiliki efisiensi yang cukup bagus dan *output non inverting* sehingga mempermudah dalam proses desain.

Gambar 8. Rangkaian DC-DC Converter

D. Pengujian Rangkaian DC-DC Converter

Pada pengujian rangkaian DC-DC converter menggunakan modul rangkaian *Single Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC). Pada modul ini terdapat 2 buah induktor dengan masing-masing nilai sebesar 330uH. Selain itu pada modul SEPIC ini sudah dilengkapi juga dengan rangkaian umpan balik tegangan untuk koreksi keluaran tegangan sehingga tidak perlu menggunakan tambahan program kontrol dari *mikrokontroller* untuk mempercepat proses pengolahan data pada program *mikrokontroller*. Berikut merupakan gambar rangkaian SEPIC beserta set up pengujiannya.



Gambar 9. Rangkaian Pengujian Modul SEPIC

Tabel 1. Hasil Pengujian Rangkaian SEPIC

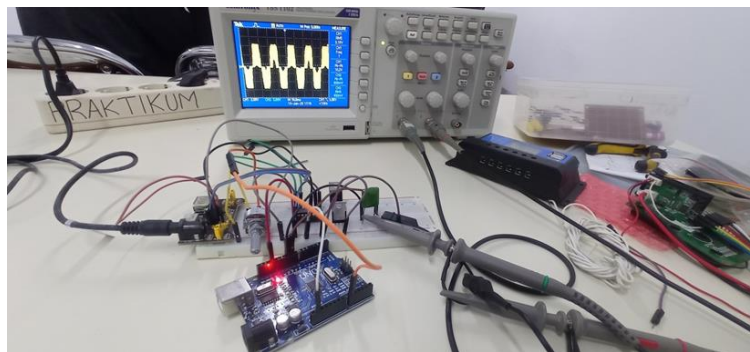
No.	Tegangan Input (DC)	Tegangan Output (DC)	%Error
1	1	0	100%
2	2	0	100%
3	3	1	92%
4	4	2.2	82%
5	5	4.3	64%
6	6	5.1	58%
7	7	8	33%
8	8	10.3	14%

9	9	11	8%
10	10	11.5	4%

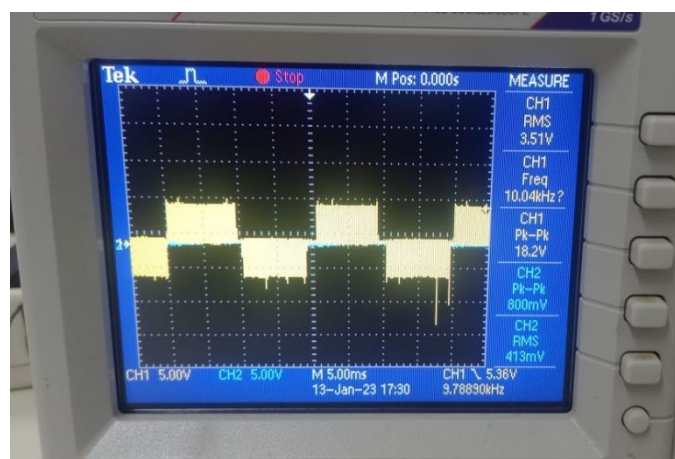
E. Pengujian Pensakelaran *Inverter*

Pada pengujian rangkaian Inverter ini dititik beratkan pada pengujian pensakelaran rangkaian yang didapat dari gelombang *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) yang dikeluarkan *mikrokontroler* arduino uno menuju ke rangkaian *driver* MOSFET dan selanjutnya ke rangkaian jembatan MOSFET. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui apakah respon dari *driver* dan jembatan MOSFET dapat menghasilkan nilai dari pensakelaran sinyal sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu karena pada pensakelaran MOSFET terdapat proses filter tegangan dengan frekwensi yang cukup tinggi maka perlu dipastikan juga apakah pensakelaran ini tidak menimbulkan gangguan pada perangkat rangkaian lain.

Metode pengujian yang dilakukan adalah dengan melakukan variasi nilai acuan pensakelaran dari *mikrokontroler* arduino uno. Proses variasi nilai acuan ini dilakukan dengan cara penggantian nilai pada program yang dijalankan. Sedangkan untuk parameter hasil yang diamati adalah besaran tegangan output dari MOSFET baik sebelum maupun sesudah dilakukan filter dengan menggunakan AVO meter dan pengamatan dengan *oscilloscope*. Selain itu juga dilakukan pengamatan dengan penginderaan apakah terdapat respon fisik terhadap rangkaian saat dilakukan proses variasi percobaan. Berikut merupakan gambar cuplikan sinyal dari *oscilloscope* untuk variasi dari nilai acuan :



Gambar 10. Bentuk Sinyal Vout pada Nilai Acuan Tinggi



Gambar 11. Bentuk Sinyal Vout pada Nilai Acuan Rendah

Dari hasil pengujian diatas terdapat beberapa catatan untuk nilai acuan yang dapat digunakan pada sistem ini yakni sebagai berikut:

1. Untuk sistem *inverter* dengan metode SPWM ini sangat cocok untuk menghasilkan bentuk tegangan sinus murni.
2. Karena pada pengaplikasiannya yang menggunakan frekwensi yang cukup tinggi, maka penggunaan trafo dan nilai filter sangatlah berpengaruh sehingga pada sistim ini di pilih penggunaan trafo dengan inti besi dengan frekwensi pensakelaran maksimal 20kHz serta frekwensi pensakelaran pada program di set pada *range* maksimum untuk output 20KHz.
3. Untuk penentuan besaran nilai filter L-C digunakan nilai yang paling tinggi yang tersedia karena mempertimbangkan untuk variasi beban output yang tinggi juga agar tidak terjadi kegagalan karena nilai impedansi filter yang tidak sesuai.

F. Pengujian Sistim Keseluruhan Sistim

Setelah diperoleh data dari pengujian parsial setiap blok rangkaian. Selanjutnya seluruh blok rangkaian digabungkan menjadi sistim utuh dan dilakukan pengujian untuk keseluruhan sistem. Pada pengujian ini sesuai dengan target dari rencana pembuatan skripsi yakni sistim akan dilakukan pengujian dengan 2 macam jenis input yakni dari baterai VRLA 12V 7Ah dan solar panel 50WP. Adapun untuk hasil pengujiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistim

No.	Sumber Tegangan	Vout (AC)	Hasil
1	Solar Panel-1	13	OK
2	Solar Panel-2	18	OK
3	Solar Panel-3	24	Tidak Sesuai
4	Solar Panel-4	40	OK
5	Solar Panel-5	60	OK
6	Baterai VRLA-1	70	OK
7	Baterai VRLA-2	80	OK
8	Baterai VRLA-3	90	OK
9	Baterai VRLA-4	100	OK
10	Baterai VRLA-5	220	OK

Simpulan

Dari hasil pengujian keseluruhan sistim didapatkan hasil yang memenuhi ekspektasi dari penulis dengan 10 kali variasi percobaan menghasilkan keluaran yang sesuai sebanyak 9kali atau dengan keakurasian sistem sebesar 90%.

Daftar Pustaka

- Ali, M., Rukslin, R., & Hasyim, C. (2021). Hybrid System of Dual Axis Photovoltaic Tracking System Using Pid-Ces-Aco. *Journal of Electrical Engineering Mechatronics Computer Science*, 4(2), 59–68.
- Allam, D., Kurniawan, E., & Rodiana, I. M. (2022). Design of Electrolysis Current Control in Water Ionizer With Voltage Source From Solar Energy. *Journal of Electrical Engineering Mechatronics Computer Science*, 5(1), 01–06.
- Anil Yamin Fajrus Sodiq, A., Rakhmawati, R., & Chusna Arif, Y. (2021). Optimizing the Use of MPPT in PLTS for Hybrid Systems by Using STS as a Transfer Switch. *Journal of Electrical Engineering Mechatronics Computer Science*, 4(2), 37–44.
- Ashari, I., & Faisol, A. (2020). The Analysis Of Voltage Optimization System With Parallel Series Arranger In Solar Cell. *Journal of Electrical Engineering Mechatronics Computer Science*, 3(2), 179–186.
- Corporation, A. (2015). Data Sheet ATmega328P (pp. 1–294).
- Dash, P. S., & Das, S. P. (2022). A Single DC Source Switched-Capacitor Multilevel Inverter for High-Frequency AC System. In *2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)* (pp. 1–4).
- Dongari, V. R., & Ganesh, P. (2016). MPPT Controlled PV for Grid-Connected Applications, 5466–5476.
- Fachrudin, M. A., Abidin, Z., & Bachri, A. (2021). The Design of an Automatic Saving System for Electric Energy in Microcontroller-Based Pju Lights. *Journal of Electrical Engineering Mechatronics Computer Science*, 4(1), 01–08.
- Guo, Z. (2021). Highly Efficient Fully Integrated Multivoltage-Domain Power Management with Enhanced PSR and Low Cross-Regulation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(10), 11469–11482. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2021.3069348>
- Huang, W. (2023). Design of TID-Tolerant ADCs in Multivoltage Domain Based on Body Effect. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 70(10), 2278–2284. <https://doi.org/10.1109/TNS.2023.3307298>
- Jamal, Z. (2015). Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler. *Journal of Informatics*, 15(1), 81–88.
- Kumar, S. P. (2022). CMOS Implementation of Multivoltage GPIO Driver. *3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, ICESC 2022 - Proceedings*, 284–287. <https://doi.org/10.1109/ICESC54411.2022.9885389>
- Lin, C. (2024). A Metastability Risk Prediction and Mitigation Technique for Clock-Domain Crossing with Single-Stage Synchronizer in Near-Threshold-Voltage Multivoltage/Frequency-Domain Network-on-Chip. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 59(2), 616–625. <https://doi.org/10.1109/JSSC.2023.3283961>
- Lin, Y., Seo, G.-S., Vijayshankar, S., Johnson, B., & Dhople, S. (2021). Impact of Increased Inverter-based Resources on Power System Small-signal Stability. In *2021 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)* (pp. 1–5).
- Mu, H. (2021). Impedance-Based Stability Analysis Methods for DC Distribution Power System with Multivoltage Levels. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(8), 9193–9208. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2021.3057874>

- Nugraha, A. T., Ramadhan, M. F., & Shiddiq, M. J. (2022). Efficiency of the Position Tracking Photovoltaics using Microcontroller Atmega. *Journal of Electrical Engineering Mechatronics Computer Science*, 5(2), 77–90.
- Pahleviannur, M. R. (2022). *Penentuan Prioritas Pilar Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB) menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Pena Persada.
- Pahleviannur, M. R., Wulandari, D. A., Sochiba, S. L., & Santoso, R. R. (2020). Strategi Perencanaan Pengembangan Pariwisata untuk Mewujudkan Destinasi Tangguh Bencana di Wilayah Kepesisiran Drini Gunungkidul. *Jurnal Pendidikan Ilmu Sosial*, 29(2), 116–126.
- Pan, P. (2020). An Impedance-Based Stability Assessment Methodology for DC Distribution Power System with Multivoltage Levels. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(4), 4033–4047. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2019.2936527>
- Qanbari, T., & Tousi, B. (2021). Single-Source Three-Phase Multilevel Inverter Assembled by Three-Phase Two-Level Inverter and Two Single-Phase Cascaded H-Bridge Inverters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(5), 5204–5212.
- Rodriguez-Estrada, H. (2023). Novel Multibus Multivoltage Concept for DC-Microgrids in Buildings: Modeling, Design and Local Control. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/app13042405>
- Sulistiyowati, I., & Muhyiddin, M. I. (2021). Disinfectant Spraying Robot to Prevent the Transmission of the Covid-19 Virus Based on the Internet of Things (IoT). *Journal of Electrical Technology UMY*, 5(2), 61–67.
- Sulistiyowati, I., Jamaaluddin, J., & Anshory, I. (2022). Hybrid Energy Storage Performance Evaluation of Fuel Cell Injection on Standalone Photovoltaic System. *Journal of Electrical Technology UMY*, 6(1), 41–48.
- Suwenda, F. P., Abidin, Z., & Ilmi, U. (2021). The Utilization of Solar Cells and Water Turbines As Sourcing Voltage on Power Multi-Based Hydroponic. *Journal of Electrical Engineering Mechatronics Computer Science*, 4(1), 15–20.
- Wan, X. (2020). Coordinated control for power balance based on per-unit voltage for multivoltage-level DC microgrid. *2020 IEEE 4th Conference on Energy Internet and Energy System Integration: Connecting the Grids Towards a Low-Carbon High-Efficiency Energy System, EI2 2020*, 3755–3760. <https://doi.org/10.1109/EI250167.2020.9347212>
- Wei, J. (2023). A Multienergy Computed Tomography Method Based on a Blind Decomposition Model for Multivoltage X-Ray Transmission Images. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72. <https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3246472>
- Xu, H. (2020). Neural-Network-Based Energy Calculation for Multivoltage Threshold Sampling. *IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences*, 4(3), 311–318. <https://doi.org/10.1109/TRPMS.2019.2960129>
- Zhou, J., Zhang, R., Zhang, X., Wu, J., & Huang, W. (2018). A Compound Control Strategy for Inverter Output Voltage in Micro-grid System. In *2018 IEEE 4th Southern Power Electronics Conference (SPEC)* (pp. 1–5).