

RANCANG BANGUN UPS DENGAN *THREE STEP CONVERTER* BERBASIS MIKROKONTROLER

Alhuda Yahya¹, Rianda², Rusman³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak

Email: yahyahudaal23@gmail.com¹, riandafarhan@gmail.com², rusmandn@gmail.com³

Corresponding Author : Alhuda Yahya

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak

Email: yahyahudaal23@gmail.com

Abstrak – Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun UPS berbasis mikrokontroler dengan *three step converter* untuk mengatasi pemadaman listrik dan menjaga kestabilan tegangan. Sistem menggunakan komponen utama dioda *bridge*, IC UC3842/43, MOSFET IRF840, MOSFET IRF740, mikrokontroler, dan LCD. Proses kerja meliputi penyearahan 220 V AC menjadi 305 V DC, penurunan tegangan menjadi 50 V DC untuk pengisian baterai 48 V DC menggunakan *buck converter*, kemudian konversi kembali menjadi 220 V AC melalui *inverter full-bridge* dengan metode SPWM berfrekuensi 50 Hz dan *switching* 1400 Hz. Hasil pengujian menunjukkan proses konversi daya dari 63 V AC menjadi 84,4 V DC pada tahap penyearah, kemudian diturunkan menjadi 56,9 V DC melalui *buck converter* dan diuji dengan nilai beban yang bervariasi. Tegangan hasil penurunan *buck converter* pun stabil di 56 V DC. Pengujian *inverter* menghasilkan frekuensi *output* sebesar 50,40 Hz, melebihi sedikit dari target 50 Hz, dengan sinyal PWM yang stabil. Namun, tegangan *output* setelah tahap inversi hanya mencapai 14 V AC RMS dibandingkan target yaitu 220 V AC RMS, akibat kendala pada jalur driver *inverter*.

Kata-kata kunci: UPS, Rectifier, Inverter, Converter, Mikrokontroler.

Abstract – This research was conducted to design and build a microcontroller-based UPS with a three-step converter to overcome power outages and maintain voltage stability. The system uses the main components of a bridge diode, IC UC3842/43, MOSFET IRF840, MOSFET IRF740, microcontroller, and LCD. The work process includes rectifying 220 V AC to 305 V DC, reducing the voltage to 50 V DC for charging a 48 V DC battery using a buck converter, then converting back to 220 V AC through a full-bridge inverter with the SPWM method with a frequency of 50 Hz and switching 1400 Hz. The test results show the power conversion process from 63 V AC to 84.4 V DC at the rectifier stage, then reduced to 56.9 V DC through a buck converter and tested with varying load values. The resulting voltage from the buck converter is stable at 56 V DC. Inverter testing yielded an output frequency of 50.40 Hz, slightly exceeding the target of 50 Hz, with a stable PWM signal. However, the output voltage after the inversion stage only reached 14 V AC RMS compared to the target of 220 V AC RMS, due to constraints on the inverter driver path.

Keywords: UPS, Rectifier, Inverter, Converter, Microcontroller.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan pasokan listrik yang andal dan stabil semakin meningkat di era digital saat ini. Pemadaman listrik yang terjadi secara tiba-tiba dapat mengganggu aktivitas di sektor rumah tangga, industri, maupun layanan publik. Berdasarkan laporan statistik PLN 2022, rata-rata durasi pemadaman listrik di Provinsi Kalimantan Barat mencapai 21,48 jam per pelanggan dalam setahun [1]. Pemadaman serupa di wilayah lain terbukti berdampak signifikan, seperti pada pemadaman listrik di Amerika Utara tahun 2003 yang mempengaruhi lebih dari 50 juta orang, menyebabkan 11 korban jiwa, dan kerugian ekonomi mencapai 4 – 10 miliar USD [2].

Uninterruptible Power Supply (UPS) merupakan solusi yang umum digunakan untuk menjaga kelangsungan suplai listrik selama terjadi pemadaman. UPS bekerja dengan menyimpan energi pada baterai, kemudian menyalurkannya ke beban ketika sumber utama terputus [3]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan UPS yang sesuai dengan kapasitas beban dapat meningkatkan keandalan pasokan, seperti pada Rumah Sakit Charlie Semarang yang memperoleh runtime 41,29 menit dengan UPS 20 kVA [4].

Penelitian terdahulu telah mengembangkan berbagai pendekatan desain UPS. Seperti Bawotong dan kawan-kawan telah merancang UPS berbasis mikrokontroler yang memanfaatkan aki (accu) sebagai

sumber cadangan dengan *inverter* sederhana dan tampilan LCD [5]. Selanjutnya ada Lubis dan kawan-kawan telah mengembangkan UPS berbasis mikrokontroler Atmega328 yang mengendalikan *inverter* PWM untuk meningkatkan fleksibilitas dengan konfigurasi komponen lebih ekonomis, yang menghasilkan THD sebesar 5,24% dan frekuensi 49,56 Hz [3]. Sementara itu, Payung dan kawan-kawan memanfaatkan *solar cell* sebagai sumber utama pengisian UPS, menghasilkan sistem ramah lingkungan dengan kapasitas 300 WP dan baterai 48 V DC dengan 45 Ah [6].

Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini mengusulkan perancangan dan pembangunan UPS dengan arsitektur *three step converter* yang mengintegrasikan konversi AC-DC, DC-DC, dan DC-AC dalam satu sistem.

Perangkat ini menggunakan komponen utama berupa dioda *bridge* untuk penyearahan, IC UC3842/43 sebagai pengendali *buck converter*, MOSFET IRF840 dan IRF740 sebagai saklar daya. Mikrokontroler sebagai pusat kendali dan penghasil sinyal PWM, serta LCD digunakan untuk antarmuka tampilan data. *Inverter* akan menghasilkan tegangan 220V AC 50 Hz mengikuti standar listrik di Indonesia. UPS ini dirancang menggunakan baterai 48 V DC sebagai sumber cadangan dengan kapasitas total sekitar 20 Ah.

Prinsip kerja UPS ini dimulai dari penyearahan oleh *rectifier* dari tegangan AC 220 V menjadi DC 305 V, kemudian diturunkan menjadi 50 V DC menggunakan *buck converter* untuk mengisi baterai 48 V DC. Selanjutnya, *inverter full-bridge* mengubah tegangan DC menjadi AC 220 V dengan metode SPWM berfrekuensi 50 Hz dan frekuensi *switching* 1400 Hz. Mikrokontroler menghasilkan sinyal PWM yang stabil dan memantau kondisi sistem secara *real-time*.

II. METODOLOGI

A. Diagram Blok Sistem

Sistem UPS dirancang dengan konfigurasi *three step converter* yang terdiri dari *Rectifier*, *Buck converter*,

dan *Inverter full-bridge*, dikendalikan oleh mikrokontroler untuk menjaga kontinuitas dan kestabilan tegangan. Diagram blok rancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1, menggambarkan alur kerja dari *input* AC hingga keluaran AC yang siap digunakan beban.

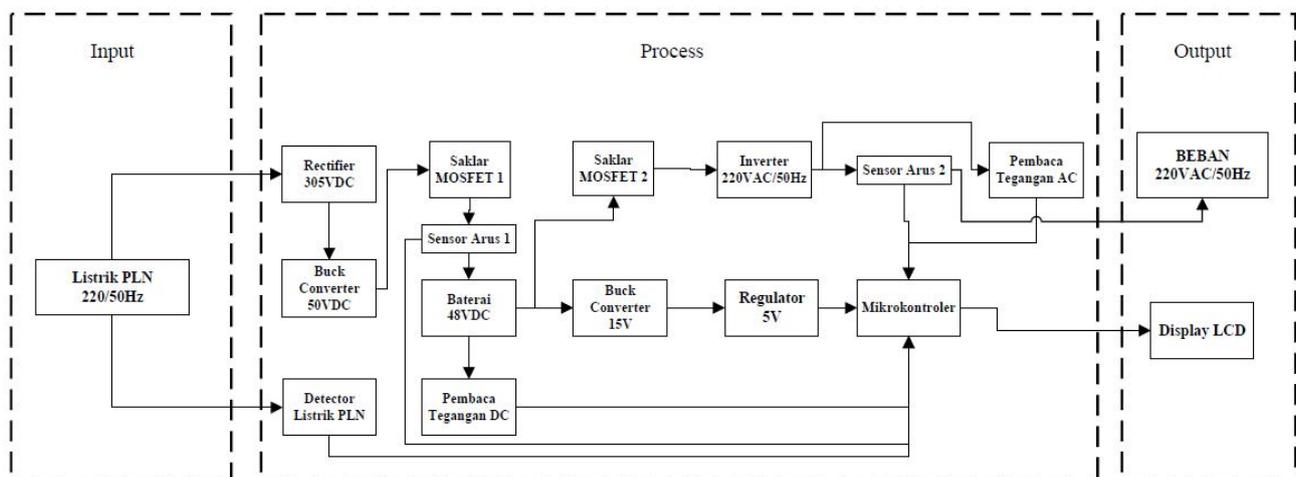
Sistem UPS ini menerima suplai daya utama dari listrik PLN 220 V / 50 Hz yang kemudian diubah menjadi tegangan DC tinggi melalui modul *Rectifier* 305V DC. Tegangan DC tersebut selanjutnya diturunkan oleh *buck converter* menjadi 50 V DC untuk mengisi baterai 48 V DC yang berfungsi sebagai sumber daya cadangan saat terjadi pemadaman. Pemutus/penghubung aliran daya ke baterai dilakukan oleh Saklar MOSFET 1, sedangkan Saklar MOSFET 2 bertugas menghubungkan baterai ke *inverter* saat terjadi pemadaman berlangsung.

Inverter full-bridge mengubah tegangan DC baterai menjadi 220V AC 50 Hz yang digunakan untuk menyuplai beban. Sistem rancangan ini dilengkapi *buck converter* 15 V dan regulator 5 V untuk menyediakan suplai tegangan yang stabil kepada rangkaian pendukung, seperti sensor arus, *detector* listrik PLN, dan mikrokontroler. Mikrokontroler berperan sebagai pusat kendali, mengatur kerja saklar, membaca data sensor, dan menghasilkan sinyal PWM yang stabil untuk *inverter*.

Pemantauan arus diproses oleh sensor arus pada jalur baterai dan beban. Sensor pengukur tegangan AC pada *inverter* dan sensor pengukur tegangan DC pada baterai berfungsi untuk memantau kondisi tegangan *output* dan tegangan baterai, kemudian menampilkan informasi tersebut pada LCD. Detektor listrik PLN digunakan untuk mengetahui status daya utama apakah terjadi pemadaman atau tidak yang akan memberikan perintah logika ke mikrokontroler. Seluruh informasi hasil pemantauan akan ditampilkan secara *real-time* pada layar LCD untuk memudahkan pengawasan sistem.

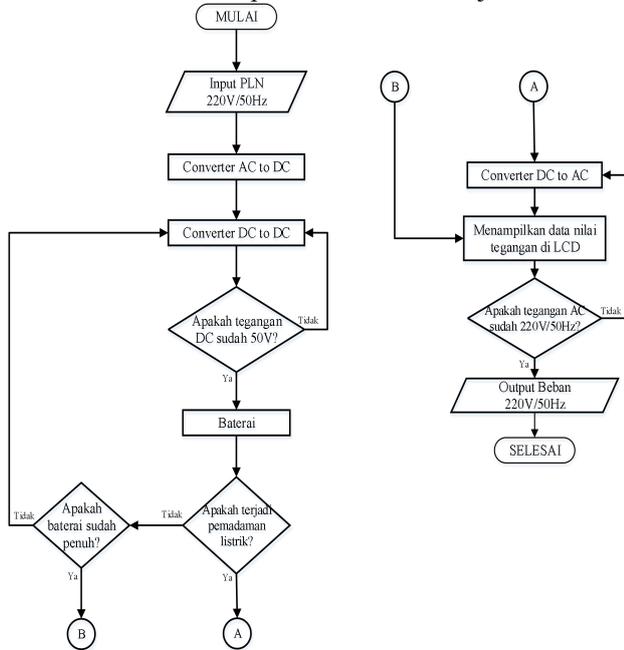
B. Prinsip Kerja Sistem

Sistem UPS ini bekerja melalui empat tahap utama. Pertama, tegangan AC 220 V / 50 Hz dari PLN dikonversi menjadi DC melalui *Rectifier*. Kedua, tegangan DC diturunkan menjadi 50 V DC menggunakan



Gbr. 1 Diagram Blok Sistem UPS *Three Step Converter*

Buck Converter untuk mengisi baterai 48 V. Ketiga, tegangan DC yang telah diturunkan disimpan dalam baterai. Kondisi, kapasitas, status saklar MOSFET, serta daya keluaran dipantau oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada LCD. Keempat, saat terjadi pemadaman, baterai digunakan sebagai sumber daya cadangan dan *inverter* mengubah 48 V DC menjadi 220V AC 50 Hz dengan metode SPWM untuk menyuplai beban. Gambar 2 merupakan alur sistem kerja UPS.



Gbr. 2 Flowchart Sistem Kerja

C. Prosedur Pengujian

Pengujian sistem dilakukan pada setiap tahap konversi, meliputi Rektifikasi, Konversi, dan Inversi, dengan mengamati variabel tegangan, arus, dan bentuk gelombang pada kondisi beban terpasang maupun tanpa beban. Pengujian dilakukan dengan tegangan rendah. Agar tegangan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengujian, *Power Supply Regulator* dan transformator *step-down* digunakan sebagai pengatur tegangan *input*.

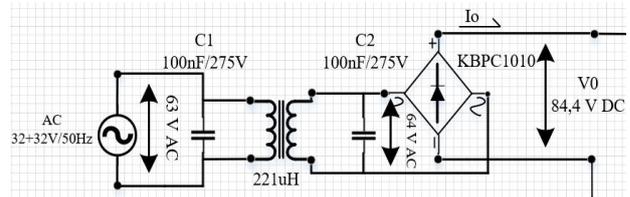
Pengukuran tegangan dan arus dilakukan menggunakan multimeter, sedangkan pengamatan bentuk gelombang dan frekuensi dilakukan dengan osiloskop untuk memastikan kesesuaian dengan rancangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan tegangan rendah untuk memastikan komponen berkerja dengan aman. Pengujian tanpa beban, dilakukan agar setiap tahap konversi dapat melihat kestabilan tegangan. Pengujian dengan beban, dilakukan untuk melihat performa dari UPS yang telah di rancang ini. Tujuan pengujian adalah untuk melihat dan memastikan semua komponen bekerja dengan baik sesuai dengan rancangan, dan melihat hasil tegangan keluaran sebelum diteruskan ke tahap berikutnya.

A. Pengujian Tahap Rektifikasi (*Rectifier*)

Pada tahap ini merupakan tahap awal dari UPS, tahap ini akan menghasilkan tegangan yang telah di searah kan. Gambar 3 merupakan rangkaian rektifikasi, yang dimana titik pengujian dilakukan.



Gbr. 3 Gambar rangkaian Rektifikasi

Pada Tabel 1, pengukuran dilakukan pada titik *input* dan *output rectifier* menggunakan transformator *step-down* dengan sekunder 32V+32V = 64 V AC tanpa *center tap*. Tegangan *input* terukur 63,0 – 62,9 V AC naik menjadi 64 V AC setelah filter LC.

TABEL I
Data Pengujian Tahap Rektifikasi

No.	Titik Rangkaian	Tegangan yang terukur	Tegangan yang terhitung
1.	<i>Input Rectifier</i> sebelum induktor dan kapasitor	63,0 V AC	64 V AC
2.	<i>Input Rectifier</i> sebelum induktor dan kapasitor	62,9 V AC	
3.	<i>Input Rectifier</i> sebelum induktor dan kapasitor	63,0 V AC	
4.	<i>output Rectifier</i> setelah induktor dan kapasitor	64 V AC	64 V AC
5.	<i>output Rectifier</i> setelah penyearah dioda	84,4 V DC	84,37 V DC

Selanjutnya untuk mendapatkan tegangan rata-rata DC (*output rectifier* setelah penyearah dioda) menggunakan Persamaan 1.

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_m}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot C} \tag{1}$$

dimana: *Vdc* = Tegangan rata-rata yang keluar pada *output*.

Vm = Tegangan maksimum.

f = Frekuensi setelah melalui dioda penyearah.

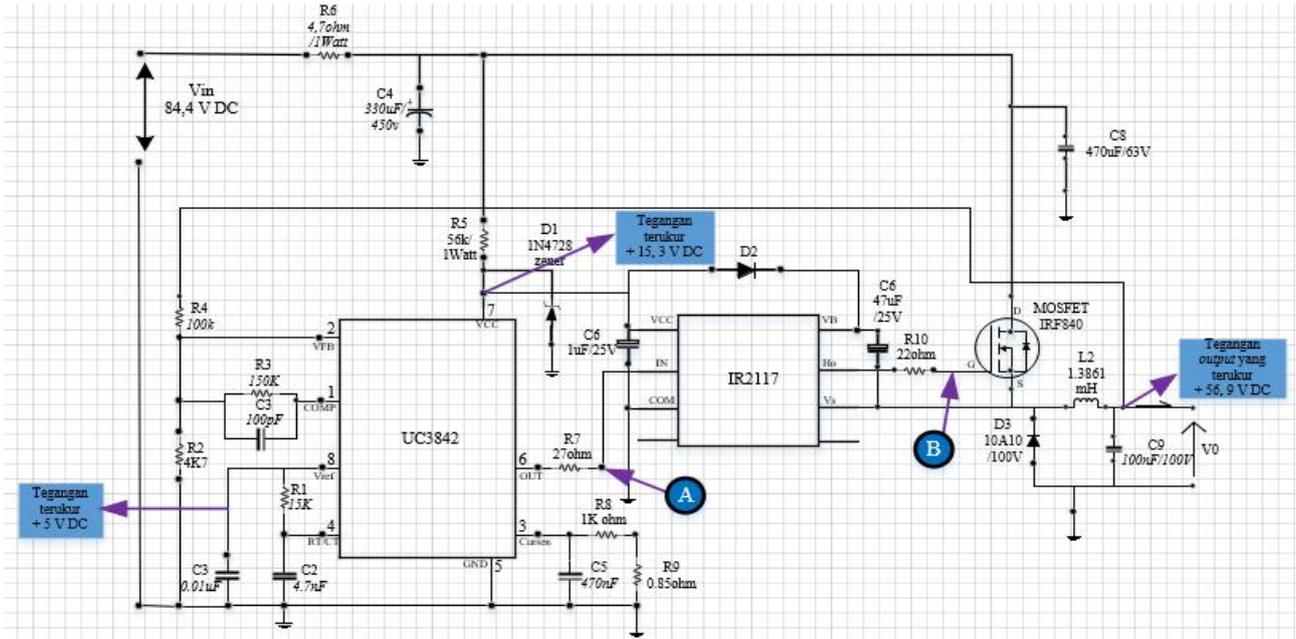
R = Resistansi pada beban.

C = Kapasitor filter.

Dengan demikian hasil pengukuran (*output rectifier* setelah penyearah dioda) adalah sebesar 84,4 V DC, mendekati hasil perhitungan yaitu 84,37 V DC. Tegangan tersebut siap untuk digunakan pada tahap berikutnya.

B. Pengujian Tahap Konversi (*Buck Converter*)

Tahap pengujian ini merupakan tahap pengubahan level tegangan (dari tegangan tinggi ke rendah). Pada



Gbr. 4 Gambar Rangkaian Konversi

tahap ini dilakukan 3 pengujian, yaitu pengujian tegangan kerja komponen, pengujian bentuk gelombang, dan pengujian dengan beban. Gambar 4 merupakan titik pengujian tegangan kerja komponen pada rangkaian konversi.

1. Pengujian Tegangan Kerja Komponen

Dari Tabel 2, tegangan kaki 8 IC UC3842N (Vref) stabil di 5,0 V DC, serta kaki 7 (Vcc) stabil di 15,3 V DC, yang mana tegangan tersebut sesuai dengan tegangan kerja pada *datasheet*-nya.

TABEL II
Data Pengujian Tegangan Kerja Komponen

No.	Titik rangkaian	Tegangan yang terukur
1.	Kaki 8 UC3842N (Vref)	5 V DC
2.	Kaki 7 UC3842 (Vcc)	15,3 V DC
3.	Output Buck Converter	56,9 V DC

Berdasarkan Tabel 3, untuk menghasilkan tegangan keluaran sekitar 52,8 V DC dibutuhkan nilai persentase *duty cycle*.

TABEL III
Data Pengujian Tegangan Output Buck Converter

No.	Titik Rangkaian	Tegangan terukur	Tegangan terhitung
1.	Output Buck Converter	56,9 V DC	52,8 V DC

Untuk mencari nilai persentase *duty cycle* digunakan Persamaan 2.

$$D = \frac{V_o}{V_s} \tag{2}$$

dimana: D = *Duty Cycle*.
 V_o = Tegangan Output.
 V_s = Tegangan Input.

Dengan begitu hasil pengukuran *output buck converter* berada di 56,9 V DC, sedikit di atas hasil perhitungan yaitu 52,8 V DC, diakibatkan oleh toleransi komponen dan kondisi tanpa beban.

2. Pengujian Bentuk Gelombang

Gambar 5 adalah bentuk gelombang persegi yang dikeluarkan oleh rangkaian konversi (*buck converter*). Channel 2 (gelombang biru) merupakan titik A, yaitu *output* pada IC UC3842N, sedangkan channel 1 (gelombang kuning), adalah titik B yaitu pin HO pada IC IR2117 yang digunakan untuk mengendalikan *gate* MOSFET.



Gbr. 5 Bentuk Gelombang Output Konversi

Berdasarkan Gambar 5, Titik A (*output* UC3842N) menunjukkan PWM stabil dengan *duty cycle* sempit, frekuensi 22,8 kHz, dan tegangan puncak ~15 V. Titik B

(pin HO IR2117) menunjukkan $V_p \sim 50$ V dan $V_{pp} \sim 115$ V akibat referensi terhadap source MOSFET *high-side*.

3. Pengujian dengan Beban

Pada pengujian tahap ini menggunakan beban dengan nilai yang bervariasi, bertujuan untuk mensimulasikan kondisi pengisian baterai 48 V DC pada tingkat arus yang berbeda, sehingga dapat diketahui kestabilan tegangan output buck converter. Variasi ini juga membuktikan rangkaian dapat mempertahankan tegangan pengisian yang sesuai meskipun beban berubah.

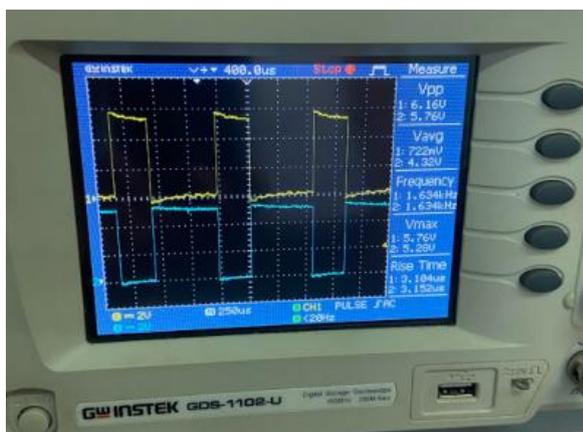
TABEL IV
Data Pengujian dengan Beban

No	Beban (Ω)	Arus (A)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)
1.	202,5	0,28	56,7	15,876
2.	153	0,37	56,6	20,942
3.	101	0,55	55,9	30,745

Berdasarkan Tabel 3, dengan tiga variasi beban resistive (202,5 Ω , 153 Ω , 101 Ω) menunjukkan tegangan *output* stabil di 55,9–56,7 V. Arus dan daya meningkat seiring penurunan resistansi.

C. Pengujian Tahap Inversi (Inverter)

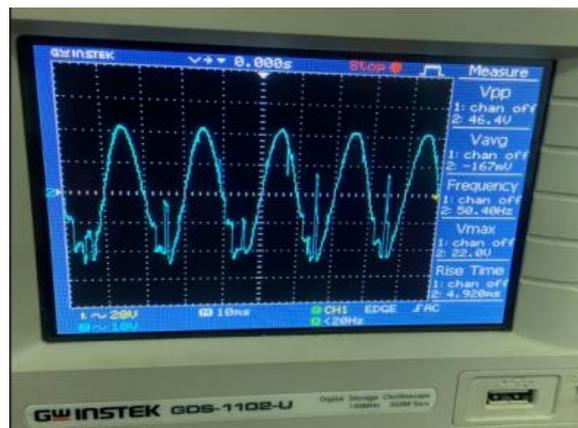
Pengujian *inverter* ini menargetkan tegangan keluaran standar Indonesia, yaitu 220 Volt AC pada frekuensi 50 Hz, sesuai dengan ketentuan SNI [7]. Pengujian tahap inversi diawali dengan pengukuran sinyal PWM yang dihasilkan Arduino Nano pada pin D9 dan D10.



Gbr. 6 Bentuk Gelombang Pin D9 dan D10

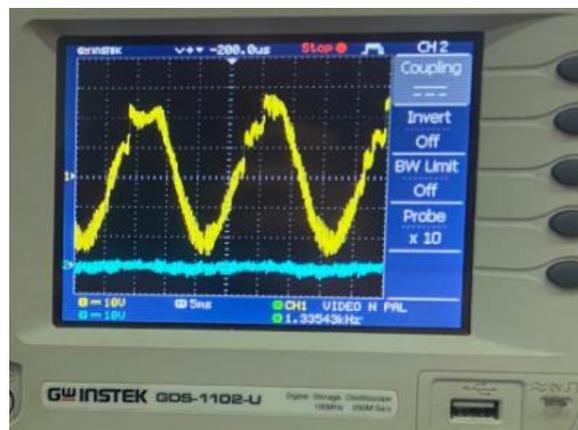
Pada Gambar 6, menunjukkan bentuk gelombang simetris dan stabil dengan frekuensi 1,634 kHz dan tegangan puncak 5,76 V, menandakan proses pembangkitan SPWM berjalan sesuai rancangan.

Berikutnya, pengujian *output inverter* tanpa filter LC, terlihat pada Gambar 7.



Gbr. 7 Bentuk Gelombang Pin D9 dan D10

Memperlihatkan gelombang sinusoidal kasar dengan V_{pp} 46,4 V dan frekuensi 50,40 Hz, namun masih mengandung harmonisa dan *ripple*.



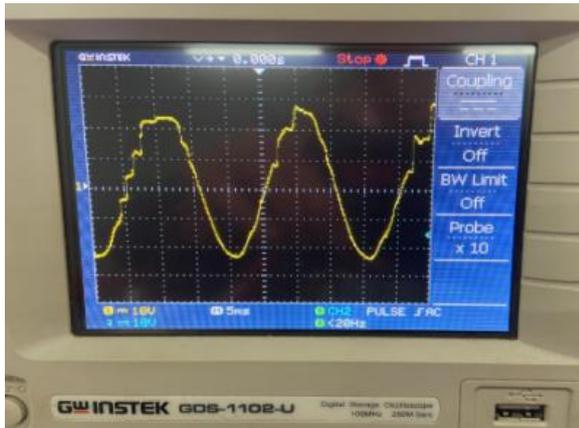
Gbr. 8 Bentuk Gelombang Output Inverter setelah Filter

Setelah pemasangan filter LC pada Gambar 8, gelombang yang dihasilkan mengalami distorsi signifikan akibat kerusakan IC driver IR2110 karena kesalahan jalur MOSFET pada papan PCB, sehingga bentuk puncak gelombang menyerupai huruf “M” dan tegangan yang terbaca hanya 14 V AC RMS, seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gbr. 9 Nilai Tegangan Output pada Rangkaian Inverter

Perbaikan jalur MOSFET dan penggantian IC driver IR2110 menghasilkan bentuk gelombang yang lebih baik, seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gbr. 10 Bentuk Gelombang *Output* setelah Mengganti Salah Satu Driver IR2110

Namun perubahan ini diikuti oleh ketidaknormalan pada stabilitas tegangan *output buck converter* 15 V. Karena tegangan keluaran yang diharapkan sebesar 15 V dari *input* 20,6 V justru menunjukkan hasil pengukuran berkisar antara 18-19 V, yang akan membuat *over voltage* pada Vcc driver IR2110.

Ketidaksesuaian ini menunjukkan adanya potensi gangguan pada komponen lain. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi sumber permasalahan dan memastikan stabilitas tegangan berjalan sesuai dengan spesifikasi desain.

IV. KESIMPULAN

Sistem UPS berbasis *three step converter* berhasil mengubah tegangan AC menjadi DC 84,4 V pada tahap rektifikasi dan menghasilkan tegangan stabil 55,9 – 56,9 V pada tahap konversi untuk pengisian baterai 48 V, baik tanpa beban maupun dengan variasi nilai beban. Sinyal SPWM dari Arduino Nano sesuai rancangan, namun *output inverter* awal tanpa filter LC masih mengandung distorsi. Setelah perbaikan driver MOSFET (IR2110), bentuk gelombang membaik, meskipun suplai *buck*

converter 15 V perlu dioptimalkan agar mencapai *output* sesuai dengan target.

REFERENSI

- [1] PT PLN (Persero). (2023). *Statistik PLN 2022*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero). <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/05/Statistik-PLN-2022-Final-2.pdf>.
- [2] Baik, S., Hanus, N. L., Sanstad, A. H., Eto, J. H., & Larsen, P. H. (2021). *A hybrid approach to estimating the economic value of enhanced power system resilience*. Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States).
- [3] Lubis, R. S., Haris, A., & Tarmizi, T. (2022). UPS Design for Increased Flexibility of Use and More Economic with PWM Controlled Inverter Based on ATmega 328 Microcontroller. *TEKNIK*, 43(1), 102-111.
- [4] Yulianto, B. (2023). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap UPS di Rumah Sakit Charlie Semarang. *JETI (Jurnal Elektro dan Teknologi Informasi)*, 2(1), 7-11.
- [5] Bawotong, V. T., Mamahit, D. J., & Sompie, S. R. (2015). Rancang bangun uninterruptible power supply menggunakan tampilan LCD berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 4(2), 1-7.
- [6] Payung, Y. R., Purwanto, E., & Murdianto, F. D. (2020). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Pada Sistem Charging Baterai dengan Sumber Solar Cell Menggunakan Kontrol PI pada Uninterruptible Power Supply (UPS) Offline untuk Aplikasi Beban Rumah Tangga. *PoliGrid*, 1(2), 49-54.
- [7] Hafidz, M. N., & Sulistiyowati, I. (2023). Rancang Bangun Multivoltage Input Output pada Inverter Skala Kecil (Studi Kasus: Panel Surya dan Baterai VRLA). *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, 2(4), 12-12.