Jurnal: Elektrika Borneo (JEB)
Vol. 12, No. 2, Oktober 2026, hlm. 146-150 p-ISSN 2443-0986
e-ISSN 2685-001X

DESAIN DAN SIMULASI *BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER* PADA BATERAI SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI DENGAN METODE KONTROL *PWM*

Abil Huda[1], Ismit Mado[2], Anra[3]

[1,2,3]*Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia*

[1]abil@borneo.ac.id
[2]ismitmado@borneo.ac.id
[3]*anrahasanuddin@gmail.com*

Abstract*—The utilization of renewable energy, such as Solar Power Plants (PLTS), faces intermittency challenges that require stable and efficient battery energy storage systems. This study focuses on the design and simulation of a bidirectional DC-DC converter as a key interface unit between the battery and the power distribution system. The novelty of this research lies in the optimization of Pulse Width Modulation (PWM) control schemes combined with current management algorithms to ensure efficient battery charging and discharging processes with low current ripple. The methodology involves power electronic circuit modeling, calculation of filter components based on switching frequency, and dynamic testing through MATLAB/Simulink simulations with varying duty cycles. During a 10-second charging period, the SoC increased from 50% to 50.07% with a charging current of 2.041 A and a battery voltage of 25.98 V, moving toward the full-charge voltage of 27.93 V. The negative current value indicates the direction of flow from the 48 V DC voltage source to the 24 V battery. During a 10-second discharge, the SoC dropped from 50% to 49.76%, with a discharge current of 9.189 A and a battery voltage of 25.32 V, moving toward the 18 V cut-off voltage. The positive current value indicates the direction of flow from the 24 V battery to the 48 V DC voltage source.

Keywords*—Battery, Bidirectional Converter, Energy Storage, PWM, Simulation

I*ntisari*—Pemanfaatan energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), menghadapi tantangan intermitensi yang memerlukan sistem penyimpanan energi baterai yang stabil dan efisien. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan simulasi konverter DC-DC dua arah sebagai unit antarmuka utama antara baterai dan sistem distribusi daya. Kebaruan penelitian ini terletak pada optimalisasi skema kendali *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dikombinasikan dengan algoritma manajemen arus untuk memastikan proses pengisian dan pengosongan baterai yang efisien dengan riak arus yang rendah. Metodologi penelitian mencakup pemodelan rangkaian elektronika daya, perhitungan komponen filter berdasarkan frekuensi pensakelaran, serta pengujian dinamis melalui simulasi MATLAB/Simulink dengan variasi *duty cycle*. Selama periode pengisian 10 detik, SoC meningkat dari 50% menjadi 50,07% dengan arus pengisian 2,041 A dan tegangan baterai 25,98 V, bergerak menuju tegangan penuh 27,93 V. Nilai arus negatif menunjukkan arah aliran dari sumber tegangan DC 48 V menuju baterai 24 V. Selama pengosongan 10 detik, SoC turun dari 50% menjadi 49,76%, dengan arus pengosongan 9,189 A dan tegangan baterai 25,32 V, bergerak menuju tegangan batas (*cut-off*) 18 V. Nilai arus positif menunjukkan arah aliran dari baterai 24 V menuju sumber tegangan DC 48 V.

Kata Kunci*—Baterai; Bidirectional Converter; PWM; Penyimpan Energi; Simulasi

I. PENDAHULUAN

Dokumen ini adalah template jurnal online Elektrika Borneo yang dapat diunduh dari situs web Elektrika Borneo. Untuk pertanyaan template ini, silakan hubungi panitia publikasi jurnal seperti yang ditunjukkan pada situs web. Informasi tentang makalah akhir penyerahan tersedia dalam situs web Elektrika Borneo.

Pemanfaatan energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin mengalami peningkatan pesat guna mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, sifat intermiten dari sumber energi ini menuntut adanya sistem penyimpanan energi (BESS) yang handal untuk menjaga stabilitas pasokan daya [1]. Baterai merupakan teknologi penyimpanan yang paling umum digunakan karena densitas energinya yang tinggi, tetapi memerlukan perangkat antarmuka daya yang mampu mengatur aliran energi secara dua arah antara baterai dan bus DC [2]. *Bidirectional DC-DC Converter* menjadi komponen vital yang memungkinkan proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) daya dilakukan secara efisien dalam satu topologi sirkuit [3].

Tantangan teknis utama dalam pengoperasian *bidirectional converter* adalah bagaimana mempertahankan efisiensi tinggi saat terjadi transisi antar mode kerja. Mode kerja buck dan boost. Fluktuasi pada tegangan bus DC dan karakteristik dinamis baterai seringkali menyebabkan munculnya riak arus (*current ripple*) yang tinggi [4]. Jika tidak dikendalikan dengan metode pensaklaran yang tepat, hal ini dapat mempercepat degradasi sel baterai dan mengurangi efisiensi sistem secara keseluruhan [5]. Oleh karena itu, diperlukan desain kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) yang mampu merespons perubahan beban dengan cepat tanpa menimbulkan lonjakan arus yang berbahaya bagi baterai.

Penelitian ini mengusulkan solusi melalui desain dan simulasi konverter menggunakan metode PWM untuk mengatur siklus kerja sakelar semikonduktor. Pendekatan dilakukan dengan memodelkan sistem secara matematis untuk menentukan nilai induktor dan kapasitor filter yang optimal guna mereduksi riak arus [6]. Simulasi dilakukan

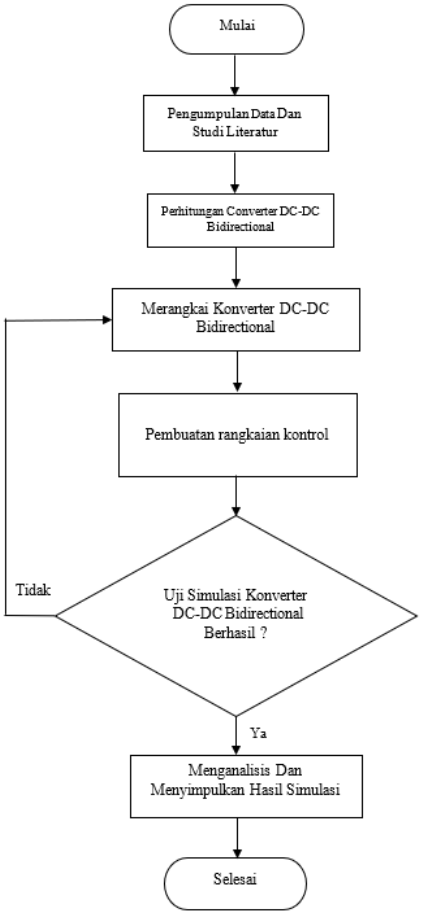
menggunakan perangkat lunak berbasis elektronika daya (seperti MATLAB/Simulink) untuk memvalidasi kinerja sistem dalam menjaga kestabilan tegangan pada mode *buck* (pengisian) dan mode *boost* (pengosongan) secara bergantian [7].

Penelitian terdahulu banyak berfokus pada topologi konverter terisolasi yang kompleks dan mahal. Kebaruan penelitian ini terletak pada **optimasi strategi PWM pada topologi non-isolated yang disederhanakan**, namun tetap memiliki efisiensi konversi yang kompetitif untuk aplikasi penyimpanan energi skala kecil hingga menengah [8]. Selain itu, penelitian ini menekankan pada penggunaan frekuensi pensaklaran tinggi yang diselaraskan dengan kontrol arus linier untuk mencapai respon transien yang lebih mulus dibandingkan metode PWM konvensional pada umumnya [9].

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari tahapan-tahapan penelitian dan diagram blok sistem

A. Tahapan Penelitian

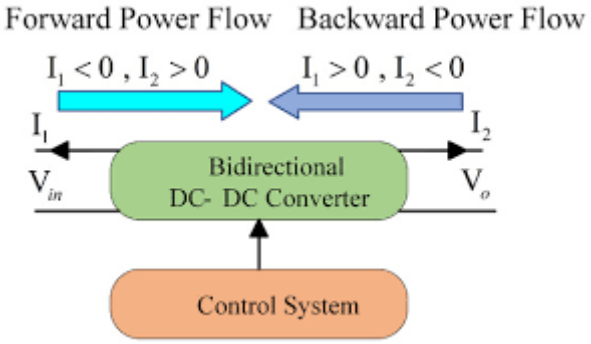


Gambar 1. Flowchart Penelitian

Tahapan penelitian terdiri dari:

1. **Tahap Awal**
   Proses dimulai dengan melakukan **Pengumpulan Data dan Studi Literatur** untuk mencari referensi teori serta data teknis yang mendukung penelitian.
2. **Tahap Desain**
   Setelah data terkumpul, dilakukan **Perhitungan Konverter DC-DC Bidirectional** untuk menentukan nilai komponen (seperti induktor, kapasitor, dan parameter *switching*) agar sesuai dengan target spesifikasi.
3. **Tahap Merangkai**
   Langkah selanjutnya adalah **Merangkai Konverter DC-DC Bidirectional** berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan **Pembuatan rangkaian kontrol** untuk mengatur aliran daya dua arah tersebut.
4. **Tahap Pengujian (Validasi)**
   Setelah alat atau model siap, dilakukan **Uji Simulasi Konverter DC-DC Bidirectional**. Pada tahap ini terdapat percabangan keputusan:
   a. **Jika Tidak Berhasil:** Proses akan kembali ke tahap **Merangkai Konverter** untuk dilakukan pengecekan ulang dan perbaikan rangkaian.
   b. **Jika Berhasil:** Proses dapat berlanjut ke tahap berikutnya.
5. **Tahap Akhir:**
   Langkah terakhir **Menganalisis dan Menyimpulkan Hasil Simulasi** untuk memastikan sistem bekerja secara optimal, hingga akhirnya proses dinyatakan **Selesai**.

B. Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Diagram Blok sistem terdiri dari:

1. **High Voltage Side (Sisi Tegangan Tinggi):** Biasanya terhubung ke bus DC utama atau beban.
2. **Low Voltage Side (Sisi Tegangan Rendah):** Biasanya terhubung ke media penyimpan energi seperti baterai atau *supercapacitor*.
3. **Power Circuit (Rangkaian Daya):** Inti dari konverter yang berisi komponen *switching* seperti MOSFET atau IGBT, induktor untuk menyimpan energi, dan kapasitor filter untuk menghaluskan tegangan.
4. **Control Unit (Unit Kendali):** Menggunakan PWM generator.

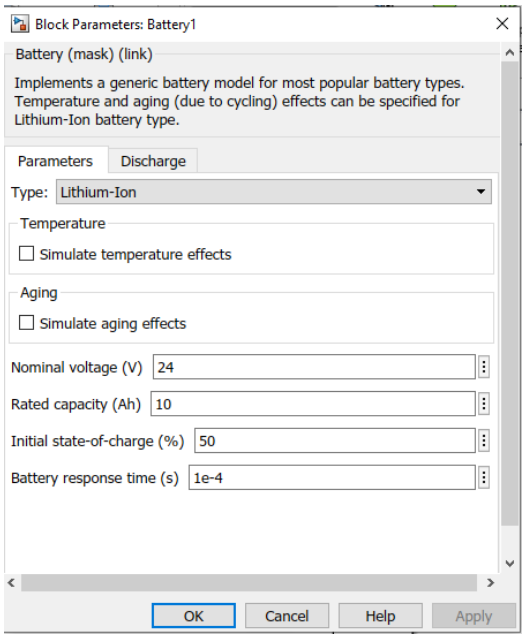
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Baterai

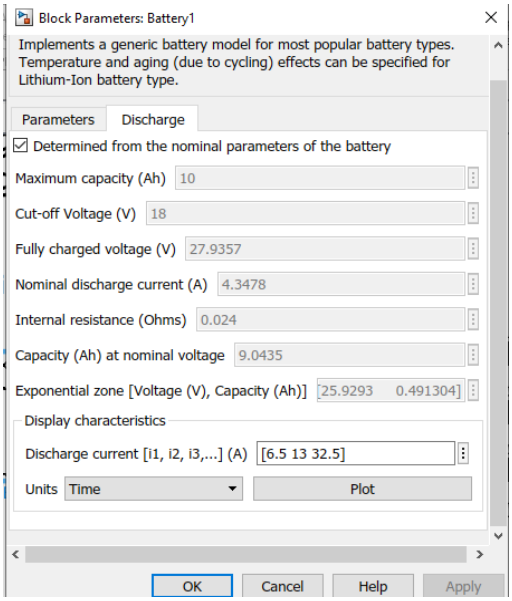
Baterai merupakan suatu perangkat yang mengandung sel listrik sehingga dapat digunakan untuk menyimpan energi dimana energi tersebut dapat di konversikan

menjadi daya. Baterai bekerja pada dua kondisi yaitu pengosongan (*discharge)* dan pengisian (*charge*) Secara prinsip, aliran listrik akan mengalir dari kutub positif menuju kutub negatif. Sumber elektron yang ada pada kutub bertanda negatif akan menjadi sumber listrik bagi peralatan listrik jika disambungkan dengan baterai.

Berikut ini merupakan gambar dan data baterai yang digunakan dalam simulasi sebagai berikut :



Gambar 3. Spesifikasi baterai



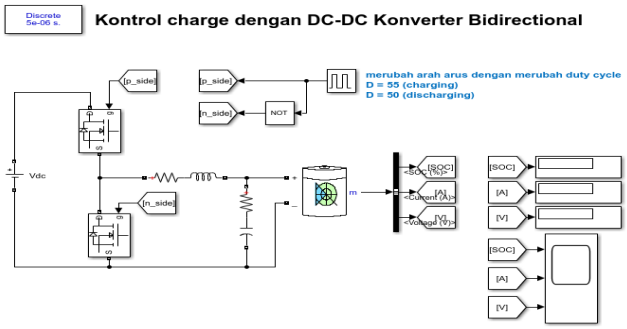
Gambar 4. Spesifikasi discharge baterai

Penelitian ini menggunakan model baterai generik dengan kapasitas maksimum 10 Ah dan tegangan potong (cut-off voltage) sebesar 18 V, di mana kondisi baterai penuh tercapai pada tegangan 27,9357 V. Simulasi ini juga mempertimbangkan karakteristik internal baterai seperti resistansi sebesar 0,024 Ohm serta arus pengosongan nominal 4,3478 A, yang semuanya dikonfigurasi untuk memastikan respon sistem bidirectional converter bekerja sesuai dengan spesifikasi teknis baterai yang dimodelkan.

B. Desain Rangkaian Bidirectional Converter

Pada pengujian Pengisian Dan Pengosongan baterai dengan simulasi rangkaian yang terdiri dari dua mode rangkaian yaitu mode boost dan mode buck. Pada mode boost terdiri dari komponen utama, kapasitor, induktor, dioda dan MOSFET. Mode buck terdiri dari komponen utama kapasitor, induktor, dioda dan MOSFET.

Bidirectional converter dengan menyimpan energi disimulasikan menggunakan matlab untuk mengamati keluaran dari berbagai mode. Simulasi rangkaian dapat dilihat pada gambar 5. pengujian mode pada bidirectional tergantung pada tegangan bus DC mode disesuaikan. Pada simulasi kita menggunakan atau merubah nilai *duty cycle*.



Gambar 5. Rangkaian Bidirectional Converter

Untuk mendapatkan nilai pada induktor dan kapasitor pada rangkaian bidirectional, digunakan rumus buck converter. Tegangan input dipilih 48V dan tegangan output dipilih 24V merupakan tegangan baterai. Frekuensi switching dipilih 100.000 Hz agar nilai induktor dan kapasitor kecil. berikut data parameter yang dibutuhkan untuk menghitung induktor dan kapasitor.

Tabel I
Parameter Konverter DC-DC Bidirectional

Parameter	Nilai
Vi	48 V
Vo	24 V
f	100.000 Hz
DeltaIL	0,05
DeltaVo	0,01

Setelah menentukan nilai parameter tegangan input, output dan frekuensi switching, selanjutnya adalah menghitung nilai induktor dan kapasitor

a. Nilai Induktor

$$L = \frac{(1-D)Vo}{\Delta IL\, f}$$

$$L = \frac{(1-0{,}5)24}{0{,}05 \text{ x } 100.000}$$

$$L = \frac{12}{5000}$$

L= 0.0024 H

b. Nilai Kapasitor

$$C = \frac{(1-D)}{8\,L\,(\Delta Vo/Vo)f2}$$

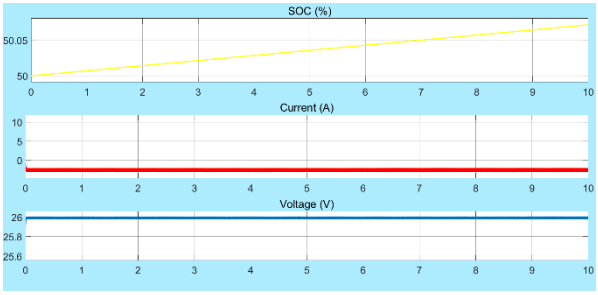
$$C = \frac{(1-0{,}5)}{8\ 0{,}0024\left(\frac{0{,}01}{24}\right)100.000x100.000}$$

$$C = \frac{0{,}5}{0{,}0192 \text{ x } 0{,}0004 \text{ x } 10.000.000.000}$$

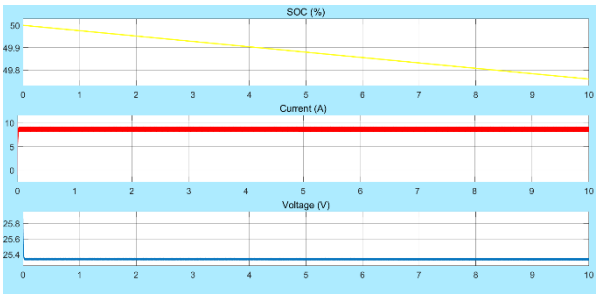
$$C = \frac{0{,}5}{78.720}$$

$$C = 0{,}006351 \text{ F}$$

C. Hasil Uji simulasi



Gambar 6. Hasil simulasi *duty cycle* 55% (*charging*)



Gambar 7. Hasil simulasi *duty cycle* 50% (*discharging*)

Simulasi sistem di lakukan selama 10 detik dengan metode kontrol PWM berupa *duty cycle* 55% untuk kondisi *charging* & 50% untuk kondisi *discharging* pada baterai 24V 10Ah.

Hasilnya dapat dilihat pada gambar 6 dan 7 dengan masing-masing 3 parameter yaitu SOC (*State of Charge*), *Current* atau arus dan Voltage atau tegangan.

Masing-masing diberi warna kuning, merah dan biru secara berurutan.

D. Pembahasan

Saat *charging* selama 10 detik, terjadi peningkatan SoC dari 50 % ke 50,07 % dengan arus pengisian 2,041 A dan tegangan baterai 25,98 V menuju kondisi Full charge voltage 27,93V. Nilai negatif pada arus menunjukkan arah aliran dari sumber tegangan DC 48 V ke baterai 24 V. Hal ini ditunjukkan pada gambar 6.

Saat *discharging* selama 10 detik, terjadi penurunan SoC dari 50 % ke 49,76 % dengan arus pengosongan 9,189 A dan tegangan baterai 25,32 V menuju kondisi Cut Off Voltage 18 V. Arus yang bernilai positif menunjukkan arah aliran dari baterai 24 V ke sumber tegangan DC 48 V. Hal ini ditunjukkan pada gambar 7.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi rangkaian *bidirectional converter* menggunakan MATLAB/Simulink dengan metode kendali PWM selama 10 detik pada baterai 24V 10Ah, dapat disimpulkan bahwa:

1. **Efektivitas Kendali PWM:**
   Metode kontrol PWM melalui pengaturan *duty cycle* terbukti efektif dalam mengatur arah aliran daya (*bidirectional*) secara stabil. Pengaturan *duty cycle* sebesar 55% berhasil menjalankan **mode *charging***, sementara *duty cycle* 50% berhasil menjalankan **mode *discharging***.
2. **Kinerja Mode *Charging*:**
   Pada kondisi *charging*, sistem mampu menurunkan tegangan sumber (48 V) untuk mengisi baterai, yang ditandai dengan kenaikan SOC sebesar **0,07%** (dari 50% ke 50,07%) dengan arus pengisian sebesar **2,041 A**. Arah arus negatif mengonfirmasi bahwa daya mengalir dari sumber DC menuju baterai (Buck Mode).
3. **Kinerja Mode *Discharging*:**
   Pada kondisi *discharging*, baterai menyuplai daya kembali ke sistem yang ditandai dengan penurunan SOC sebesar **0,24%** (dari 50% ke 49,76%) dengan arus pengosongan yang cukup besar yaitu **9,189 A**. Hal ini menunjukkan beban pada mode *discharging* jauh lebih besar dibandingkan laju pengisiannya.
4. **Stabilitas Tegangan:**
   Sistem menunjukkan performa yang baik dalam menjaga level tegangan operasional baterai pada rentang aman, yakni di kisaran **25,32V hingga 25,98V**, yang bergerak secara konsisten menuju ambang batas *Full Charge* (27,93V) atau *Cut Off* (18V).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada dewan redaksi jurnal yang telah meluangkan waktu untuk mempublis artikel ini dan kepada LPPM Universitas Borneo Tarakan yang telah memberi dukungan pada penelitian ini.

REFERENSI

[1] M. R. D. Saputra, A. S. Rohman, and S. Rijanto, "Design and Simulation of Bidirectional DC-DC Converter for Battery Storage in Photovoltaic System," in *2021 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, Bandung, Indonesia, 2021, pp. 1-6.

[2] K. I. Hwu and W. Z. Jiang, "Analysis and Design of Bidirectional Converter with Battery Energy Storage System," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 145212-145225, 2020.

[3] S. S. Lee and Y. E. Kim, "Small-Signal Modeling and Control Design of a Bidirectional DC-DC Converter for Battery Energy Storage Systems," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 35, no. 7, pp. 7650-7662, July 2020.

[4] G. S. Rao and R. S. Rao, "Design and Simulation of Bidirectional DC-DC Buck-Boost Converter for Renewable Energy Systems with Battery Storage," in *Proc. IEEE International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC)*, 2020, pp. 1-5.

[5] N. D. Al-Qahtani and M. R. J. Othman, "Modeling and Simulation of a Bidirectional DC-DC Converter for Hybrid Electric Vehicle Applications using

MATLAB/Simulink," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 13, no. 11, pp. 3200-3208, 2020.

[6] J. A. Al-Najar and M. G. El-Sattar, "Advanced Control Strategy for Bidirectional DC-DC Converter in Battery Management Systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 58, no. 3, pp. 3412-3422, May-June 2022.

[7] R. Priyadarshani and B. L. Narasimharaju, "An Improved Interleaved Bidirectional DC-DC Converter for Battery Storage Applications," *IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron.*, vol. 9, no. 4, pp. 4125-4135, Aug. 2021.

[8] F. Gunawan and E. Sunarno, "Implementasi Kontrol Arus pada Bidirectional DC-DC Converter untuk Pengisian Baterai Berbasis Arduino," *J. Tek. Elektro ITB*, vol. 12, no. 2, pp. 88-95, 2022.

[9] H. R. Jariyan and V. N. Pande, "Comparative Analysis of Bidirectional DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicle Battery *Charging*," in *2023 IEEE 7th International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, 2023, pp. 112-117.

[10] S. Sadi and R. Prasetijo, "Simulasi Manajemen Energi Baterai Menggunakan Bidirectional DC-DC Converter pada Sistem Hybrid PV-Angin," *J. Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 25-32, Jan. 2023.

[11] A. Huda and Z. Zulfadli "Analisa Pengaruh Frekuensi dan Duty Cycle Terhadap Ripple Tegangan Pada Buck-Boost Converter" *Elektrika Borneo*, vol 11, no. 1, pp. 16-19. 2025.