

PERBANDINGAN FREKUENSI *SWITCHING* DAN JENIS INTI INDUKTOR TERHADAP DISTRIBUSI *LOSSES* PADA INVERTER SATU FASA DENGAN SEL DASAR CUK YANG DIMODIFIKASI

Wisahyadi¹, Diah Patriana Setianingsih²

^{1,2}Teknik Elektro, Universitas Balikpapan

Email: wisahyadi@uniba-bpn.ac.id¹, diahps@uniba-bpn.ac.id²

Corresponding Author : Wisahyadi

Teknik Elektro, Universitas Balikpapan

Email: wisahyadi@uniba-bpn.ac.id

Abstrak – Pada aplikasi energi terbarukan khususnya energi surya, penggunaan *inverter* sangat berperan penting dalam proses perubahan tegangan DC menjadi tegangan AC untuk melayani beban. Topologi *inverter* konvensional memiliki beberapa kelemahan seperti bentuk gelombang tegangan *output* berupa kotak, *losses* yang dihasilkan tinggi. Oleh sebab itu diusulkan topologi *inverter* dengan sel dasar cuk yang dimodifikasi. Secara analitis telah dibuktikan kedalam persamaan yang dikonfirmasi terhadap eksperimen. Adapun hasil dari eksperimen yang dilakukan memperlihatkan bahwa bentuk gelombang tegangan *output* berbentuk sinusoidal murni. Perubahan frekuensi *switching* pada sakelar mempengaruhi distribusi *losses*. Nilai *losses* yang sangat berpengaruh terhadap frekuensi *switching* yaitu *core loss* dan *switching loss*. Perbandingan penggunaan inti induktor yaitu *sendust* dan *iron powder* juga berpengaruh terhadap distribusi *losses* pada topologi usulan.

Kata-kata kunci: *Core Loss, energi surya, Inverter, Iron Powder, Sendust dan Sinusoidal.*

Abstract – In renewable energy applications, especially solar energy, the use of inverters plays a crucial role in converting DC voltage to AC voltage to serve the load. Conventional inverter topologies have several weaknesses, such as a rectangular output voltage waveform and high losses. Therefore, an inverter topology with a modified CUK base cell is proposed. Analytical evidence has been provided in the form of equations confirmed by experiments. The results of the experiments show that the output voltage waveform is purely sinusoidal. Changes in the switching frequency of the switch affect the distribution of losses. The losses that significantly affect the switching frequency are core loss and switching loss. The comparison of the use of inductor cores, namely sendust and iron powder, also affects the distribution of losses in the proposed topology.

Keywords: *Core Loss, Solar Energy, Inverter, Iron Powder, Sendust and Sinusoidal.*

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan energi terbarukan yang paling signifikan dibandingkan dengan energi yang lain adalah energi surya [1]. Hal ini dikarenakan proses perubahan energi yang memanfaatkan efek fotolistrik sangat cepat. Namun perubahan/konversi energi yang dihasilkan masih dalam bentuk listrik arus searah (*direct current*) [2]. Apabila energi tersebut dapat digunakan untuk beban rumah tangga diperlukan sebuah konverter daya DC-AC (*inverter*) [1][3].

Konverter daya DC-AC (*inverter*) sangat berperan penting dalam konversi daya yang dihasilkan pada energi surya. Pada umumnya penggunaan konverter daya DC-AC (*inverter*) masih menggunakan topologi konvensional [4][5][6]. Penggunaan topologi tersebut masih memiliki permasalahan seperti bentuk gelombang

kotak pada sinyal tegangan keluaran, rugi-rugi daya yang dihasilkan masih sangat besar [6][3]. Untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan pada topologi tersebut sehingga diperlukan penambahan filter pada sisi input dan output serta pemilihan frekuensi *switching* dan jenis inti induktor. Penentuan nilai frekuensi *switching* sangat berpengaruh terhadap nilai *losses* yang dihasilkan pada *inverter* [3][6][7][8][9]. Sedangkan untuk pemilihan jenis inti induktor juga akan mempengaruhi nilai *losses* yang ditimbulkan akibat *switching* pada inverter [3].

Losses yang paling memberikan kontribusi paling besar yaitu *switching loss* dan *core loss* dari inverter konvensional. Oleh sebab itu, pada penelitian ini diusulkan suatu topologi baru, yaitu konverter DC-DC cuk dimodifikasi sebagai sel dasar pada inverter. Topologi ini memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dan

menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal pada tegangan keluaran serta meminimalisir *losses*.

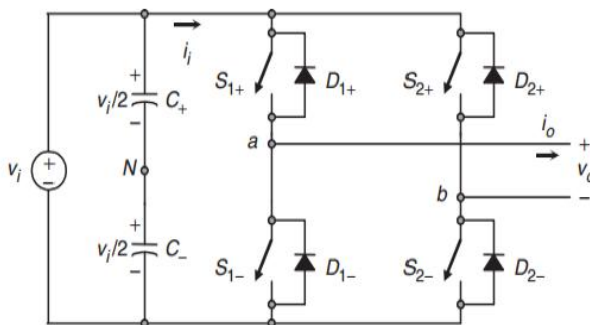
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konverter DC – AC Konvensional

Konverter daya DC-AC lebih sering dikenal dengan sebutan *inverter*. Konverter tersebut memiliki fungsi untuk mengubah tegangan *input* berupa *direct current* menjadi tegangan *output* berupa *alternating current*. Pengaturan tegangan *output* dari inverter ini dengan cara mengatur nilai PWM pada sakelar [10][11].

B. Prinsip Kerja Inverter Konvensional

Inverter konvensional memiliki komponen terdiri dari 4 buah sakelar. Ilustrasi desain dari topologi inverter konvensional dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr.1 Desain Topologi Inverter Konvensional

Mode penyakelaran dari Gambar 1 yaitu pada saat S1+ dan S2- dalam keadaan aktif, maka S1- dan S2+ dalam kondisi mati. Sehingga tegangan yang terbaca pada lengan a (V_{an}) sebesar $\frac{1}{2} V_{in}$ dan pada lengan b (V_{bn}) terbaca sebesar $-\frac{1}{2} V_{in}$. Oleh sebab itu, maka dapat disimpulkan bahwa tegangan *output* dari *inverter* yaitu V_{ab} . Adapun persamaan dari tegangan *output* dari inverter ini dapat dirumuskan kedalam Persamaan 1 dan 2.

$$V_{bn}(t) = -V_{an} \quad (1)$$

$$V_o(t) = V_{ab}(t) = V_{an}(t) - V_{bn}(t) = 2V_{an}(t) \quad (2)$$

C. Bentuk Gelombang dari Tegangan Output Inverter Konvensional

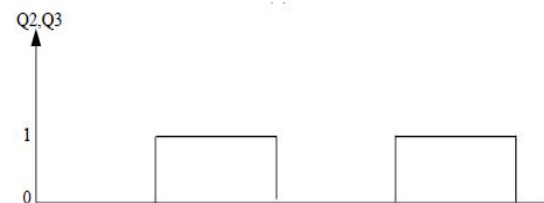
Gelombang tegangan *output* akan terlihat ketika sakelar aktif dan komplementer pada setiap lengan seperti yang dijelaskan pada mode penyakelaran. Berdasarkan mode penyakelaran tersebut maka akan menghasilkan bentuk gelombang kotak. Hal ini dikarenakan tidak adanya filter pada bagian *output* sehingga bentuk gelombang akan sama dengan bentuk pada tegangan *switching* [12][13][14].

Bentuk sinyal yang diberikan pada setiap sakelar akan menghasilkan gelombang seperti pada Gambar 2

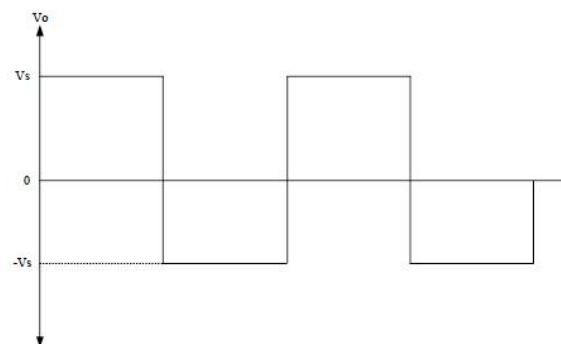
dan Gambar 3. Sedangkan bentuk gelombang tegangan *output* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gbr. 2 Bentuk Gelombang Sinyal pada Sakelar Siklus Positif



Gbr. 3 Bentuk Gelombang Sinyal pada Sakelar Siklus Negatif

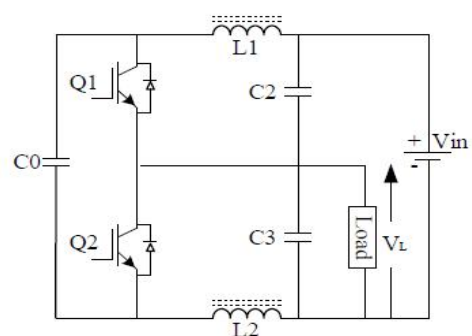


Gbr. 4 Bentuk Gelombang dari Inverter Topologi Konvensional

III. METODOLOGI

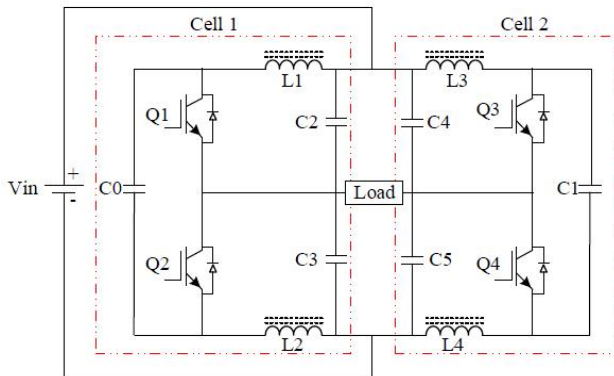
A. Konverter DC-AC yang diusulkan

Sel dasar dari konverter yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 5. Sel dasar ini terdiri dari 2 komponen induktor, 2 komponen sakelar dan 3 komponen kapasitor. Sel ini dapat dioperasikan pada kondisi *step up* dan *step down*. Oleh karena itu tegangan *output* yang dihasilkan akan lebih rendah dari tegangan *input* [13][14][15].



Gbr. 5 Sel Dasar dari Topologi yang diusulkan

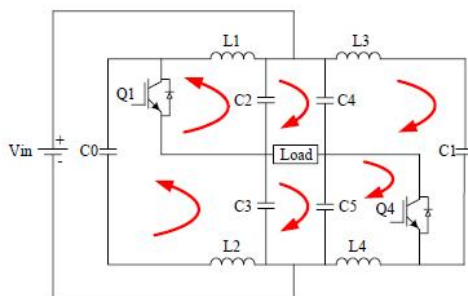
Pada aplikasi buck dengan menggunakan sel dasar tersebut dibutuhkan 2 buah sel dasar yang dihubungkan. Tegangan *output* yang dihasilkan berdasarkan menggunakan konsep differensial tegangan. Oleh sebab itu dapat digambarkan topologi *inverter* yang diusulkan pada Gambar 6.



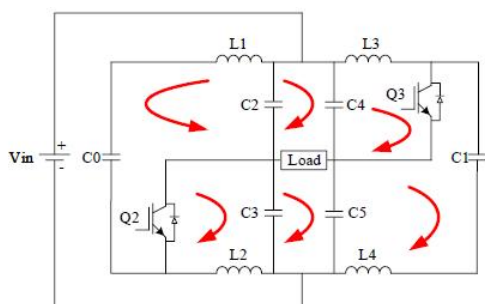
Gbr. 6 Topologi Inverter yang diusulkan

B. Mode Operasi Konverter DC-AC yang diusulkan

Pada topologi yang diusulkan terdapat 2 mode operasi. Mode ini memiliki hubungan komplementer terhadap antar sel. Pada rentang waktu dalam periode yang sama, sakelar yang tersusun pada masing-masing sel dasar akan berkerja secara komplementer. Pada Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan mode 1 yang dapat dilihat bahwa sakelar yang aktif yaitu Q1 dan Q4, sedangkan untuk Q2 dan Q3 dalam kondisi mati. Mode 2 merupakan komplementer dari mode operasi 1 yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gbr. 7 Mode Operasi I dari Inverter yang diusulkan



Gbr. 8 Mode Operasi II dari Inverter yang diusulkan

Dua mode diatas berlaku pada *inverter* usulan, maka dengan menggunakan analisa Hukum Kirchoff tegangan dan State Averaging didapatkan persamaan pada masing masing sel.

$$V_O(\text{sel kiri}) = (1 - \alpha_1) V_{in} \quad (3)$$

$$V_O(\text{sel kanan}) = (1 - (1 - \alpha_2)) V_{in} \quad (4)$$

$$V_O(\text{sel kanan}) = (\alpha_2) V_{in} \quad (5)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1$$

Pada Persamaan 3 dan 5 diatas akan diatur nilai indeks modulasi dan saling komplementer antar sel. Oleh sebab itu tegangan yang terbaca pada beban yaitu tegangan selisih tegangan antar sel. Tegangan tersebut dapat didefinisikan kedalam Persamaan 6 dan 7.

$$V_O = V_O(\text{sel kiri}) - V_O(\text{sel kanan}) \quad (6)$$

$$V_O = (1 - \alpha) V_{in} - (\alpha) V_{in} \quad (7)$$

C. Distribusi *Losses* yang dihasilkan topologi usulan

Distribusi *losses* yang diperoleh dari konverter usulan terdiri dari *switching loss*, *copper loss*, *diode loss*, *core loss*. Masing masing *losses* dapat dirumuskan kedalam Persamaan 8 – 12

$$P_{core} = \frac{f}{\frac{1.0 \times 10^8}{B^3} + \frac{1.1 \times 10^8}{B^{2.3}} + \frac{2.1 \times 10^8}{B^{1.65}} + (6.9 \times 10^{-14} f^2 B^2)} \quad (8)$$

$$P_{copper} = I^2 R_{L,DC} + \frac{\Delta I^2}{12} R_{L,AC} \quad (9)$$

$$P_Q = (R_Q \alpha + (I^2 + \frac{\Delta I^2}{12}) V_Q I_Q) \quad (10)$$

$$P_{SW} = (E_{ON}[i_{Q,rms}] + E_{OFF}[i_{Q,rms}] + E_{RR}[i_{Q,rms}]) f \quad (11)$$

$$P_D = (R_D (1 - \alpha) (I^2 + \frac{\Delta I^2}{12}) V_Q I_D) \quad (12)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

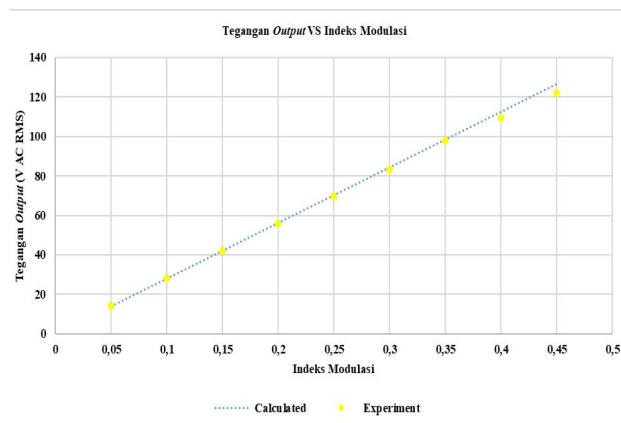
Pada penelitian ini dilakukan percobaan terhadap topologi inverter yang diusulkan. Adapun parameter yang digunakan disajikan kedalam bentuk Tabel 1.

TABEL I
Parameter dari Topologi Usulan

Parameters	Nilai
Tengangan <i>Input</i>	200 VDC
Indeks Modulasi	0,05 -0,45
Frekuensi <i>Switching</i>	15 kHz
Frekuensi Fundamental	50 Hz
<i>Dead Time</i>	0,6 μ s
Daya Rating	1 kW
Jensi Sakelar	IGBT

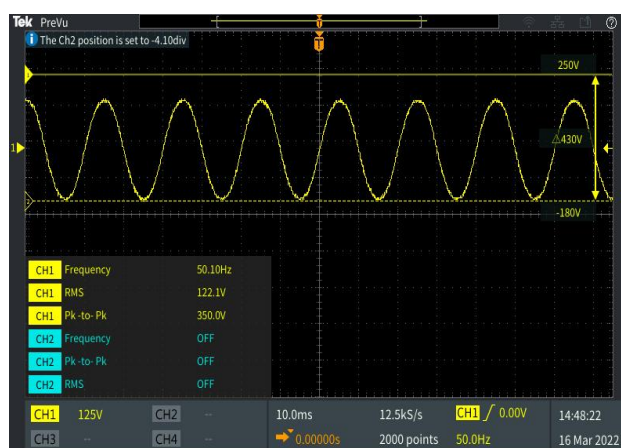
Berdasarkan parameter diatas, maka diperoleh pengaruh nilai perubahan indeks modulasi terhadap tegangan *output* dari inverter usulan. Adapun hasil yang

didapatkan dapat diperlihatkan kedalam Gambar 9 sebagai berikut.



Gbr. 9 Perubahan Indeks Modulasi terhadap Tegangan Output

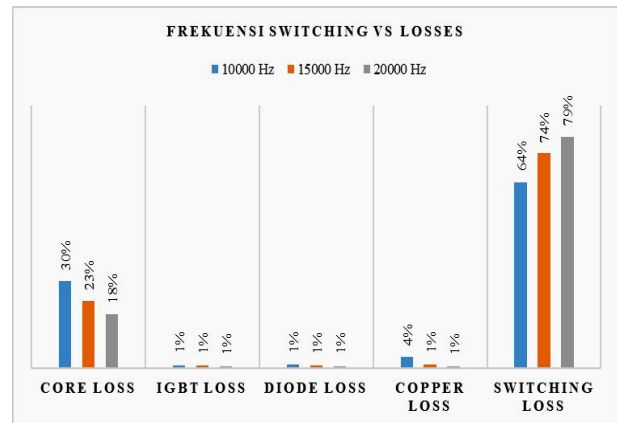
Pada Gambar 9 terlihat bahwa peningkatan dari indeks modulasi yang diberikan pada sakelar akan meningkatkan nilai tegangan *output* dari *inverter* yang diusulkan. Sedangkan bentuk gelombang sinyal yang dihasilkan pada topologi usulan ini dapat ditampilkan kedalam Gambar 10. Terlihat bahwa gelombang yang dihasilkan pada topologi ini berbentuk sinusoidal murni.



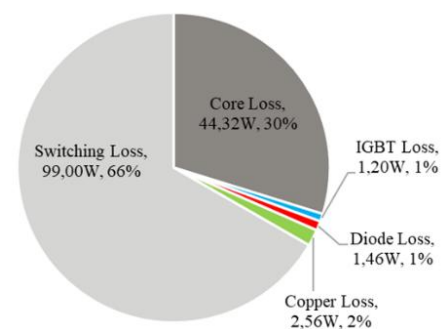
Gbr. 10 Bentuk Gelombang dari Inverter Usulan

Distribusi *losses* yang dihasilkan dari topologi ini dapat disajikan pada Gambar 11. Pada gambar tersebut terlihat bahwa perubahan nilai frekuensi *switching* yang diberikan pada sakelar akan mempengaruhi nilai *losses* pada *core* dan *switching*. Semakin besar nilai frekuensi *switching* yang diberikan, maka nilai *switching loss* akan semakin besar. Sedangkan semakin besar nilai frekuensi *switching* akan menghasilkan nilai *core loss* yang rendah.

Perbandingan penggunaan inti induktor terhadap distribusi *losses* yang dihasilkan pada topologi usulan dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13. Pada Gambar 12 terlihat bahwa inti induktor yang digunakan yaitu tipe *Iron Powder*.

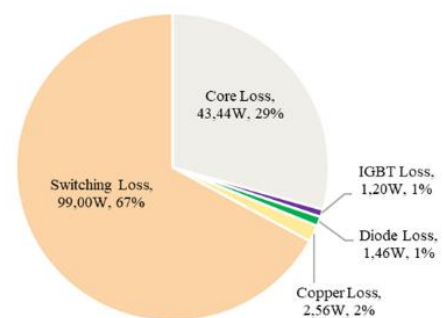


Gbr. 11 Perubahan Nilai Frekuensi Switching terhadap Distribusi Losses



Gbr. 12. Distribusi Losses dengan Penggunaan Inti Induktor Jenis Iron Powder

Adapun *losses* yang dihasilkan paling besar kontribusi pada *core loss* dan *switching loss*. Pada Gambar 13 terlihat bahwa inti induktor yang digunakan yaitu tipe sendust. *Losses* yang memberikan kontribusi besar yaitu *core loss* dan *switching loss*. Dilihat dari hasil kedua distribusi *losses* pada kedua jenis inti induktor tersebut akan mempengaruhi nilai total *losses* dari *inverter* usulan.



Gbr. 13 Distribusi Losses dengan Penggunaan Inti Induktor Jenis Sendust

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh nilai frekuensi *switching* yang diberikan pada sakelar akan mempengaruhi nilai total *losses* dari topologi usulan. Pada distribusi *losses* tersebut terlihat

bahwa nilai yang sangat berpengaruh pada nilai tersebut yaitu *core loss* dan *switching loss*. Penggunaan jenis tipe inti induktor juga mempengaruhi nilai total *losses*. Nilai *core loss* yang menggunakan inti *iron powder* sebesar 44,32 W dan *sendust* 43,44 W.

REFERENSI

- [1] PLN. (2021). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030. Electricity Supply Business Plan. <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2021/10/ruptl-2021-2030.pdf>.
- [2] Liu, Y., Xue, Y., & Sun, H. (2019, September). Common Mode Voltage Reduction of Single-Phase Quasi-Z-Source Inverter Based Photovoltaic System. In *2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (pp. 3659-3665). IEEE.
- [3] Dahono, P. A., & Dahono, A. (2021, October). New Family of Voltage-Source Converters Derived using New Basic Cell for Microgrid Applications. In *2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)* (pp. 1-5). IEEE.
- [4] Rahman, M. A., Quaicoe, J. E., Esmail, A. R., & Choudhury, M. A. (1986, October). Delta Modulated Rectifier-Inverter for Uninterruptible Power Supplies. In *INTELEC'86-International Telecommunications Energy Conference* (pp. 445-449). IEEE.
- [5] Rashid, M. H. (2007). Power Electronics: Circuit, Devices, and Applications. Edisi Ketiga. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [6] Suwitno, S., Gukguk, A. R., Ervianto, E., & Hamdani, E. (2022). Perancangan dan Pembuatan Inverter Satu Fasa Tegangan Keluaran Gelombang Kotak 220V, 50 Hz Daya 660 VA. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 7(2), 105-112.
- [7] Al-Rawashdeh, A. Y., Dunaev, M. P., Alzyoud, K. Y., & Dovudov, S. U. (2024). Calculation of Power Losses in a Frequency Inverter. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 15(3), 1331-1338.
- [8] Usyani, M., Mulyono, N., & Septiyanto, D. (2024, August). Rancang Bangun Modul Penyulutan Inverter Satu Fasa Berbasis Unipolar MPWM (MULTIPLE PULSE WIDTH MODULATION). In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 15, No. 1, pp. 445-453).
- [9] Tripathy, C. S., Dalai, S. K., Samal, T., & Sahu, R. (2021, January). Modeling and Simulation of Cuk-Converter using Single Phase Matrix Converter Topology. In *2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology (ODICON)* (pp. 1-5). IEEE.
- [10] Ahmed, H. F., El Moursi, M. S., Zahawi, B., & Al Hosani, K. (2021). Single-phase Photovoltaic Inverters with Common-Ground and Wide Buck-Boost Voltage Operation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(12), 8275-8287.
- [11] Novitasari, N., Kaloko, B. S., Prasetyono, S., Ghozali, M., & Kalandro, G. D. (2023). Analisis Performance Inverter Full Bridge Satu Fasa. *JE-Unisla*, 8(1), 29-35.
- [12] Dahono, A., Rizqiawan, A., & Dahono, P.A. (2020). A Modified Cuk DC-DC Converter for Microgrid System. *TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control*, 18(6), 3247-3257.
- [13] Correa, A. M. P., Lazzarin, T. B., & Barbi, I. (2018, March). New Topology for a Single-Phase Buck-Boost Inverter. In *2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)* (pp. 2550-2554). IEEE.
- [14] Ghosh, S., Nathan, K., Long, T., Tripathi, P., & Siwakoti, Y. (2018, May). Single Phase Integrated ĆUK Transformerless SiC Inverter for Grid-Connected PV Systems. In *2018 1st Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications in Asia (WiPDA Asia)* (pp. 18-22). IEEE.
- [15] Fairooz, S. S., & Babu, K. H. (2019, April). A Single Phase Coupled Inductor Based Buck Boost Inverter. In *2019 1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology (ICIICT)* (pp. 1-5). IEEE.