

Desain Dan Implementasi *Flyback Single-Input Multi-Output (SIMO)* Konverter Terisolasi Untuk Suplai Inverter Multilevel Cascaded H-Bridge 5-Level

[Design and Implementation of an Isolated Single-Input Multi-Output (SIMO) Flyback Converter for Supplying a 5-Level Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter]

As'ad Zulkifly¹⁾, Dwi Hadidjaja Rasjid Saputra ^{*,2)}, Akhmad Ahfas³⁾, Syamsudduha Syahririni⁴⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁴⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: DwiHadidjajaRasyidSaputra@umsida.ac.id

Abstract. Cascaded H-Bridge (CHB) multilevel inverters require an isolated DC source for every level, so an increase in the number of levels raises the number of DC sources, the system complexity, and the cost. This study aims to develop a Single-Input Multiple-Output (SIMO) Flyback Converter as a simpler and more economical isolated DC source alternative for a 5-Level CHB inverter. The research method used is experimental, covering the design, realization, integration, and testing stages of the system. The SIMO Flyback uses one ferrite transformer with two isolated outputs. Testing was based on output voltage, cross regulation, efficiency, ripple, and the effect of load and duty cycle variation, with the results then compared to two Switching Mode Power Supplies (SMPS). The results show that the SIMO succeeded in operating the inverter and produced a 5-level waveform; at loads of 330-10 Ω , the output power was 6.67-24.09 W with an efficiency of 79.35-85.71%, while the output voltage dropped to 15.52-16.30 V, whereas the two SMPS produced a power of 27.04 W at a voltage of 22.70-24.00 V. The SIMO also reduced the implementation cost by 58.71%.

Keywords - Cascaded H-Bridge; DC-DC Converter; Dual SMPS; Multilevel Inverter; SIMO Flyback Converter.

Abstrak. Inverter multilevel topologi Cascaded H-Bridge (CHB) membutuhkan sumber DC terisolasi untuk setiap level sehingga peningkatan level dapat meningkatkan kebutuhan sumber DC, kompleksitas, dan biaya sistem. Penelitian ini bertujuan mengembangkan Single-Input Multiple-Output (SIMO) Flyback Konverter sebagai alternatif sumber DC terisolasi yang lebih sederhana dan ekonomis untuk inverter CHB 5-Level. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, mulai dari perancangan, realisasi, integrasi, dan pengujian sistem. SIMO Flyback menggunakan satu transformator ferite dengan dua keluaran terisolasi. Pengujian di dasarkan tegangan keluaran, cross regulation, efisiensi, ripple, serta pengaruh perubahan beban dan duty cycle, hasil kemudian dibandingkan dengan dua Switching Mode Power Supply (SMPS). Hasil menunjukkan SIMO berhasil mengoperasikan inverter dan menghasilkan gelombang 5 level, ketika beban 330-10 Ω , daya keluaran 6.67-24.09 W dengan efisiensi 79.35-85.71%, lalu tegangan keluaran turun hingga 15.52-16.30 V, sedangkan dua SMPS menghasilkan daya 27.04 W dengan tegangan 22.70-24.00 V. SIMO juga menurunkan biaya kebutuhan sebesar 58.71%..

Kata Kunci - SIMO Flyback Converter; Cascaded H-Bridge; Multilevel Inverter; Dual SMPS; DC-DC Converter .

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika daya saat ini menuntut sistem konversi energi yang tidak hanya efisien, tetapi juga memiliki kualitas daya yang tinggi dan desain yang ringkas [1]. Salah satu perangkat krusial adalah Inverter, perangkat ini mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) [2]. Namun pada umumnya, inverter standar dua tingkat (*two-level inverter*) seringkali menghasilkan riak *harmonisa* yang tinggi, yang dapat merusak beban kritis dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan sehingga menyebabkan sistem kurang stabil [3], [4]. Multilevel Inverter (MLI) merupakan inverter pengembangan dari inverter 2 level konvensional dimana digunakan sebagai solusi dengan bentuk gelombang yang lebih mendekati sinus murni dengan nilai *Total Harmonic Distortion (THD)* awal yang rendah sehingga tidak membutuhkan filter yang besar [5].

Pada penelitian yang pernah ada menunjukkan bahwa inverter multilevel berbasis *cascaded H-bridge* (Inverter CHB-MLI) memiliki kualitas tegangan yang baik namun memerlukan beberapa sumber DC terisolasi untuk setiap sel inverter sehingga meningkatkan kompleksitas dan efisiensi alat [6], [7], [18], [19]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa peningkatan jumlah level pada inverter CHB memerlukan lebih banyak sumber DC yang berdampak pada peningkatan biaya dan ukuran sistem [8]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, beberapa penelitian mengusulkan

penggunaan konverter DC-DC terisolasi sebagai sumber tegangan DC untuk inverter multilevel [9]. Selain itu, topologi *Single-Input Multi-Output (SIMO)* berbasis *Flyback* Konverter juga telah dikembangkan untuk menghasilkan beberapa tegangan keluaran dari satu sumber input dengan isolasi magnetik yang baik [10]. Oleh karena itu, penerapan inovasi pada sisi konverter DC-DC diperlukan untuk meningkatkan efisiensi serta penggunaan sistem yang lebih ringkas.

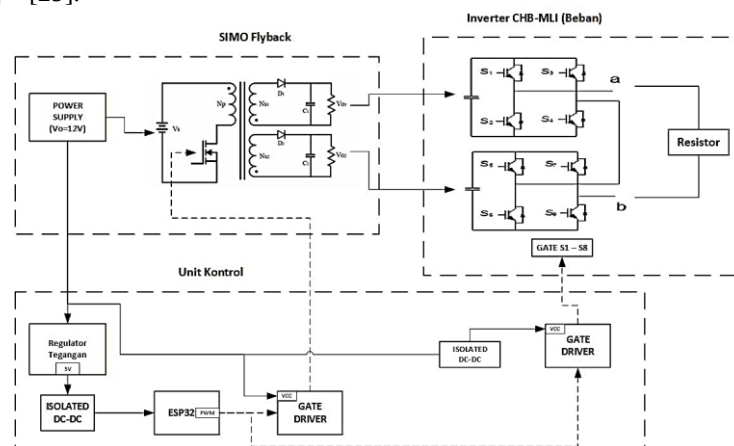
Topologi *Single-Input Multi-Output (SIMO)* berbasis *Flyback* Konverter merupakan solusi permasalahan Inverter CHB-MLI melalui penggunaan dua output terisolasi [11]. Pada penelitian ini SIMO hanya menggunakan satu input dan satu inti ferit. ESP32 digunakan sebagai pengontrol pensaklaran pada SIMO *Flyback* Converter, yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal PWM guna mengendalikan proses *switching* pada rangkaian konverter secara baik [12]-[15], [20]. Sistem ini dapat menghasilkan dua output DC yang terisolasi secara magnetik untuk menyuplai dua sel H-Bridge secara bersamaan [16]. Penggunaan inti ferit PQ35 dipilih untuk meminimalkan jumlah lilitan dan meningkatkan densitas daya, sehingga sistem tetap ringkas namun bertenaga [17][21].

Penelitian ini berfokus pada desain perancangan dan realisasi alat berskala prototipe melalui integrasi sistem SIMO *Flyback* untuk aplikasi Inverter CHB-MLI 5-level. Melalui rancang bangun ini, diharapkan dapat diketahui apakah konverter SIMO dapat menjadi solusi melalui output multisuplainya dan sejauh mana performa SIMO ketika di integrasi jika diaplikasikan untuk beban Inverter CHB-MLI 5-level. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perancangan rangkaian SIMO konverter serta menguji performa integrasi SIMO untuk suplai Inverter MLI-CHB 5 Level dibandingkan dual SMPS.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium untuk merancang dan menguji integrasi sistem SIMO *Flyback* Konverter dengan Inverter Cascaded H-Bridge (CHB) 5-level. Metodologi penelitian ini diawali dari tahap studi literatur, di mana dilakukan pengumpulan referensi dan landasan teori yang relevan mengenai konverter SIMO berbasis *Flyback* dan Inverter Cascaded H-Bridge (CHB) 5-level. Tahap selanjutnya adalah perancangan sistem, yang mencakup penentuan parameter teknis SIMO *Flyback* seperti penentuan parameter dasar untuk menentukan penggunaan komponen daya dan *switching* [22]. Setelah rancangan selesai dan sesuai kebutuhan, proses berlanjut ke tahap pembuatan perangkat, yang meliputi perakitan hardware konverter SIMO dan unit inverter serta pemrograman kontrol pada mikrokontroler. Perangkat yang telah selesai dirakit kemudian masuk ke tahap pengujian dan integrasi, dan apabila berhasil dilanjutkan dengan analisis data dan pembuatan laporan.

Pada Gambar 1 ditunjukkan sistem dibagi menjadi tiga bagian, yaitu DC-DC converter utama yang dirancang berupa SIMO *Flyback* Konverter, Inverter CHB-MLI dengan resistor sebagai beban, dan unit kontrol untuk mengendalikan DC Konverter dan unit Inverter. Pada bagian SIMO *Flyback*, terdapat rangkaian SIMO sebagai DC-DC converter yang berbasis dari *Flyback* Konverter dengan modifikasi multi-output terisolasi, rangkaian ini mengambil supply 12V DC dari Power Suplai. MOSFET yang dikontrol oleh ESP32 melalui gate driver mengontrol *duty cycle* MOSFET dengan frekuensi 50 kHz untuk menentukan seberapa banyak lilitan primer menyimpan medan magnet. Saat lilitan primer berada pada siklus *duty cycle* ON, pada sisi sekunder polaritas dot berada pada reverse bias dioda, sehingga rangkaian disuplai dengan muatan yang tersimpan pada kapasitor. Saat *duty cycle* OFF, lilitan sekunder terinduksi sehingga polaritas dot terbalik dengan dioda kondisi forward bias, lilitan sekunder mengisi kapasitor dan juga beban secara bersamaan. Pada bagian Inverter CHB-MLI, terdapat 8 MOSFET yang dikontrol melalui gate driver S1-S8, gate driver dikontrol oleh ESP32 dengan menggunakan metode PS-PWM sehingga memungkinkan beban tiap H-Bridge efisien, output Inverter adalah gelombang AC multilevel yang digunakan untuk mensuplai resistor [23] – [29].



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Parameter desain *Flyback* Konverter yang digunakan meliputi tegangan input 12 VDC, frekuensi *switching* 50 kHz, duty ratio 0,5, dengan target dua tegangan keluaran masing-masing 24 V. Perencanaan sirkuit dilakukan berdasarkan kalkulasi standar desain *Flyback* [16], dengan daya input sebesar 30 Watt (15 Watt/bridge) dan ripple factor 0,3. Nilai induktansi magnetik (L_m) ditentukan melalui persamaan (1) [11]:

$$L_m = \frac{(V_{Smin} \times D)^2}{2 \times P_{in} \times f_s \times K_{rf}} \quad (1)$$

Dengan V_{Smin} adalah tegangan input minimal, D adalah *duty cycle*, P_{in} adalah daya input, f_s adalah frekuensi *switching* MOSFET, dan K_{rf} adalah current ripple factor. Berdasarkan parameter tersebut diperoleh nilai induktansi magnetik sebesar 40 μH , arus ripple (ΔI) sebesar 3 A, dan Arus Puncak Maksimal (I_{Lmax}) sebesar 4,48 A. Nilai kapasitor output per kanal ditentukan sebesar 22 $\mu F/63V$. Transformator dirancang menggunakan inti ferit PQ35/35 (B_{max} : 0,2; A_e : 184 mm²) dengan jumlah lilitan primer (N_p) sebanyak 12 lilitan serta lilitan sekunder 1 (N_{s1}) dan sekunder 2 (N_{s2}) masing-masing sebanyak 24 lilitan, mengacu pada rasio lilitan 1:2:2. Komponen utama yang digunakan meliputi MOSFET IRFB4110 (100V, 180A, R_{ds} 0,0045 Ω) sebagai saklar utama dan dioda output MUR460 (Ultra-Fast Recovery, 4A, 600V).

Setelah perangkat keras direalisasikan dalam bentuk prototipe laboratorium, dilakukan pengujian secara eksperimental yang terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah pengujian SIMO Konverter, meliputi uji isolasi winding menggunakan megger, pengujian cross regulation untuk mengetahui pengaruh perubahan beban pada salah satu keluaran terhadap keluaran lainnya, pengujian variasi *duty cycle*, serta pengujian dengan beban resistif variatif. Tahap kedua adalah pengujian integrasi, meliputi pengujian Inverter CHB 5-Level dengan suplai SIMO *Flyback*, pengujian Inverter CHB 5-Level dengan suplai dua SMPS, serta komparasi kedua sistem berdasarkan parameter efisiensi konverter, tegangan DC-Link, ripple DC-Link, tegangan RMS keluaran inverter, dan daya keluaran inverter. Pengumpulan data pengujian menggunakan instrumen ukur megger, clamp meter, multimeter, dan oskiloskop digital. Data hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan perencanaan teoritis untuk menilai akurasi desain dan menentukan kelayakan penggunaan SIMO dibandingkan suplai dua SMPS.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil pengujian simo konverter

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian isolasi winding menunjukkan nilai resistansi isolasi pada seluruh titik pengujian (primer-sekunder 1, primer-sekunder 2, sekunder 1-sekunder 2, dan winding-core) berada pada kondisi Over Limit (OL) atau lebih besar dari 1 M Ω pada tegangan injeksi 250 V, yang membuktikan bahwa sistem isolasi yang digunakan telah memadai untuk mendukung operasi SIMO Konverter secara aman dan andal.

Tabel 1. Hasil Pengujian Isolasi Winding

Titik Pengujian	Tegangan Injeksi	Nilai Resistansi	Satuan	Standar
Primer - Sekunder 1 (V_{o1})	250	OL > 1 M Ω	M Ω	> 1 M Ω
Primer - Sekunder 2 (V_{o2})	250	OL > 1 M Ω	M Ω	> 1 M Ω
Sekunder 1 - Sekunder 2	250	OL > 1 M Ω	M Ω	> 1 M Ω

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian cross regulation pada beban 214,3 Ω . Pada kondisi Output 1 berbeban dan Output 2 tanpa beban diperoleh tegangan keluaran sebesar 34,63 V dan 37,00 V dengan deviasi sebesar 6,41%. Sebaliknya, ketika Output 1 tanpa beban dan Output 2 berbeban diperoleh tegangan keluaran sebesar 36,15 V dan 34,57 V dengan deviasi sebesar 4,57%. Ketika kedua keluaran diberikan beban secara bersamaan, tegangan keluaran menjadi lebih seimbang yaitu sebesar 25,05 V dan 25,02 V dengan deviasi hanya 0,12%. Hasil ini menunjukkan karakteristik cross regulation yang baik, dengan distribusi energi pada SIMO *Flyback* Konverter menjadi lebih stabil ketika kedua keluaran menerima pembebanan yang seimbang.

Tabel 2. Hasil Pengujian Cross Regulation (Beban 220 Ω)

Kondisi Beban	V_{in} (V)	V_{out1} (V)	V_{out2} (V)	Deviasi (%)
Beban - Open	11.99	34.63	37.00	6.41
Open - Beban	11.99	36.15	34.57	4.57
Beban - Beban	11.99	25.05	25.02	0.12

Tabel 3 menunjukkan pengujian variasi *duty cycle* pada beban konstan 220 Ω menunjukkan setiap kenaikan duty berbanding lurus dengan kenaikan tegangan keluaran (V_{out}) SIMO konverter. Nilai tegangan keluaran di masing-masing output memiliki karakteristik kenaikan yang simetris di setiap duty-nya dengan deviasi yang kecil pada setiap

pengujian duty yang berbeda, sehingga SIMO Konverter dapat bekerja di rentang duty desain dengan output yang simetris untuk mendukung gelombang yang simetris ketika digunakan sebagai suplai inverter multilevel.

Tabel 3. Hasil Pengujian Cross Regulation (Beban 220 Ω)

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Vout 1 (V)	Vout 2 (V)	Deviasi (V)
5	12	2.573	2.577	-0.004
10	12	5.146	5.145	0.001
15	12	7.75	7.75	0
20	12	10.45	10.46	-0.01
25	12	12.79	12.79	0
30	12	15.5	15.52	-0.02
35	12	17.79	17.8	-0.01
40	12	20.55	20.58	-0.03
45	12	22.41	22.44	-0.03
50	12	25.05	25.02	0.03
55	12	26.13	26.05	0.08

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian SIMO Konverter dengan beban resistif variatif pada *duty cycle* tetap 50% menunjukkan konverter bekerja dengan efisiensi terbaik sampai rentang beban menengah. Nilai efisiensi menurun ketika daya pengujian mendekati desain daya awal (15 Watt/bridge), yaitu menurun hingga sekitar 40%, yang dapat disebabkan oleh losses pada trafo yang kurang optimal serta rugi-rugi MOSFET yang meningkat seiring bertambahnya beban. Tegangan keluaran konverter juga mengalami kenaikan dan penurunan dari desain awal pada 24V tiap bridge, karena konverter bekerja secara open-loop sehingga tegangan keluaran menurun seiring bertambahnya beban. SIMO Konverter bekerja dengan nilai optimum sampai daya kerja setengah dari desain, dengan tegangan target dicapai pada daya 2,84 Watt di tiap bridge-nya.

Tabel 4. Hasil Pengujian SIMO *Flyback* Konverter dengan Beban Resistif

Beban (Ω)	Vin (V)	Iin (A)	P-in (W)	Vout1 (V)	Iout1 (A)	P-out1 (W)	Vout2 (V)	Iout2 (A)	P-out2 (W)	Eff. (%)
330	12	0.70	8.39	30.48	0.09	2.82	30.48	0.092	2.82	67.13
260	12	0.70	8.44	27.2	0.10	2.85	27.2	0.105	2.85	67.46
220	12	0.71	8.48	24.99	0.11	2.84	24.98	0.114	2.84	66.89
165	12	0.75	9.00	22.45	0.14	3.05	22.46	0.136	3.06	67.91
140	12	0.81	9.72	21.58	0.15	3.33	21.59	0.154	3.33	68.48
130	12	0.84	10.10	21.08	0.16	3.42	21.08	0.162	3.42	67.66
110	12	0.96	11.46	20.7	0.19	3.90	20.67	0.188	3.88	67.88
70	12	1.42	17.06	19.23	0.27	5.28	19.23	0.275	5.28	61.92
55	12	1.60	19.20	18.68	0.34	6.34	18.67	0.339	6.34	66.05
40	12	2.10	25.20	16.9	0.42	7.14	16.88	0.422	7.12	56.60
35	12	2.40	28.80	15.9	0.45	7.22	15.88	0.454	7.20	50.10
25	12	2.70	32.40	14.9	0.60	8.88	14.85	0.594	8.82	54.63
20	12	3.00	36.00	14.12	0.71	9.97	14.05	0.703	9.87	55.11
15	12	3.70	44.40	12.6	0.84	10.58	12.55	0.837	10.50	47.49
10	12	4.80	57.60	10.8	1.08	11.66	10.75	1.075	11.56	40.31

B. Hasil pengujian integrasi

Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi hasil pengujian integrasi Inverter CHB-MLI 5 Level dengan SIMO *Flyback* pada beberapa titik beban representatif. SIMO *Flyback* mampu menyuplai Inverter MLI-CHB 5 Level pada rentang daya suplai 8 Watt sampai 28 Watt mendekati desain awal pada 30 Watt. Efisiensi konverter naik saat diintegrasikan dengan inverter dibandingkan pengujian beban resistif langsung, mencapai hingga 87,97%, meskipun tegangan keluaran mengalami drop seiring bertambahnya beban. Tegangan keluaran SIMO berubah dari 46,90 V hingga 16,30 V seiring berubahnya beban, yang mengindikasikan regulasi SIMO tidak cukup baik pada kondisi sistem open-loop. Drop tegangan juga dapat diakibatkan oleh desain trafo yang kurang optimal, losses trafo, serta rugi MOSFET, sehingga terdapat keterbatasan kemampuan penyimpanan dan transfer energi. Meskipun begitu, SIMO Konverter dapat memberikan tegangan suplai yang cukup simetris untuk kedua keluarannya, dan ripple keluaran inverter dapat dijaga di bawah 1 V, sehingga menunjukkan tegangan suplai inverter cukup baik.

Tabel 5. Hasil Pengujian Inverter CHB-MLI 5 Level dengan SIMO *Flyback*

Beban (Ω)	Vin (V)	Iin (A)	Vdc-out 1 (V)	I-out 1 (A)	Vdc-out 2 (V)	I-out 2 (A)	Vrms Output (V)	I Out RMS (A)	Frek. (Hz)	Ripple (V)	Pin (W)	Pout (W)	Eff. (%)
330	12	0.70	46.90	0.14	46.90	0.14	35.73	0.13	50	0.19	8.40	6.67	79.35
260	12	0.69	41.77	0.17	41.78	0.17	31.69	0.13	50	0.37	8.26	7.10	86.01
220	12	0.73	39.62	0.18	39.66	0.18	29.34	0.15	50	0.93	8.81	7.14	81.01
165	12	0.71	33.96	0.21	33.99	0.21	25.56	0.16	50	0.45	8.52	6.99	82.04
140	12	0.72	31.52	0.23	31.52	0.23	23.65	0.17	50	0.30	8.63	7.10	82.25
130	12	0.70	29.98	0.23	29.99	0.23	22.56	0.17	50	0.60	8.45	6.91	81.84
110	12	0.72	28.10	0.26	28.12	0.26	21.18	0.19	50	0.07	8.62	7.18	83.31
70	12	0.72	22.60	0.32	22.61	0.32	16.80	0.22	50	0.23	8.69	7.30	83.98
55	12	0.81	21.39	0.39	21.40	0.39	15.76	0.26	50	0.82	9.76	8.32	85.27
40	12	1.00	20.52	0.51	20.51	0.51	14.94	0.37	50	0.15	12.00	10.53	87.72
35	12	1.10	20.16	0.58	20.16	0.58	14.57	0.41	50	0.33	13.20	11.61	87.97
25	12	1.38	19.00	0.76	19.10	0.76	13.56	0.53	50	0.15	16.51	14.44	87.45
20	12	1.59	18.31	0.92	18.45	0.92	12.88	0.63	50	0.52	19.13	16.76	87.63
15	12	1.88	17.02	1.13	17.71	1.18	11.71	0.78	50	0.63	22.52	19.31	85.74
10	12	2.34	15.52	1.55	16.30	1.63	10.24	1.01	50	0.33	28.10	24.09	85.71

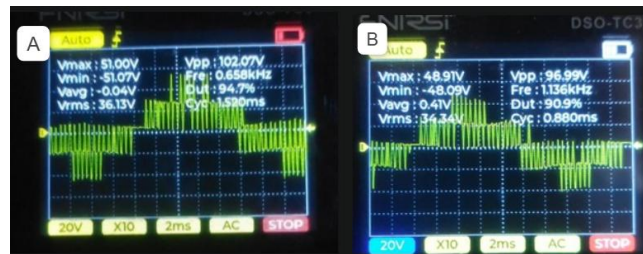
Sebagai pembandingan, Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian Inverter CHB-MLI 5 Level dengan suplai dua SMPS. Hasil menunjukkan SMPS dapat memberikan suplai yang baik pada inverter, tegangan keluaran dapat dijaga pada 22-24 V, karena SMPS memiliki sistem closed-loop sehingga keluaran tegangan dapat dijaga. Ripple keluaran inverter berada di bawah 1 V yang mengindikasikan kualitas suplai cukup baik. Inverter dapat mengeluarkan daya dan tegangan yang optimal dengan nilai efisiensi yang terus naik seiring kenaikan beban, karena daya yang disalurkan ke beban semakin besar dibandingkan rugi-rugi tetap pada sistem. Secara keseluruhan, penggunaan dual SMPS memberikan regulasi tegangan yang lebih baik dan keluaran yang lebih stabil dibandingkan SIMO Konverter, sehingga inverter dapat beroperasi dengan performa yang lebih konsisten pada berbagai kondisi pembebanan.

Tabel 6. Hasil Pengujian Inverter CHB-MLI 5 Level dengan Dual SMPS

Beban (Ω)	Vdc1 (V)	Iout1 (A)	Vdc2 (V)	Iout2 (A)	VrmsOut (V)	IoutInv. (A)	Frek. (Hz)	PIn (W)	Pout (W)	Ripple (V)	Effi. (%)
330	24	0.14	24	0.13	18.27	0.08	50	3.12	1.46	0.67	46.85
260	24	0.1	24	0.16	18.26	0.09	50	3.84	1.64	0.15	42.80
220	24	0.12	24	0.23	18.23	0.12	50	5.52	2.19	0.3	39.63
165	24	0.16	24	0.29	18.18	0.14	50	6.96	2.55	0.59	36.57
140	24	0.15	24	0.28	18.15	0.17	50	6.72	3.09	0.22	45.92
130	24	0.18	24	0.39	18.14	0.16	50	9.36	2.90	0.3	31.01
110	24	0.18	24	0.28	18.11	0.18	50	6.72	3.26	0.37	48.51
70	24	0.22	24	0.32	18.04	0.26	50	7.68	4.69	0.08	61.07
55	23.98	0.25	23.82	0.34	17.92	0.34	50	8.10	6.09	0.07	75.23
40	23.92	0.35	23.67	0.4	17.59	0.42	50	9.47	7.39	0.22	78.03
35	23.96	0.37	23.46	0.5	17.56	0.52	50	11.73	9.13	0.3	77.84
25	23.78	0.52	23.62	0.54	17.35	0.7	50	25.12	12.15	0.22	48.35
20	23.75	0.59	23.56	0.6	17.2	0.84	50	28.15	14.45	0.6	51.33
15	23.46	0.7	23.41	0.73	16.8	1.1	50	33.51	18.48	0.74	55.15
10	22.7	0.98	23.25	1.08	16.9	1.6	50	47.36	27.04	0.75	57.10

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis Inverter MLI-CHB 5 Level ketika diuji menggunakan suplai dari dua SMPS dan SIMO Konverter, SIMO Konverter berhasil diintegrasikan sebagai alternatif penggunaan dua SMPS dengan menghasilkan keluaran gelombang multilevel 5 Level yang sama yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada aspek tegangan keluaran, SIMO *Flyback* memiliki tegangan keluaran yang berubah-ubah pada 46,9 V-16,3 V berdasarkan perubahan beban, sementara dua SMPS dapat menjaga tegangan keluaran stabil pada 24-22 V, karena sistem SMPS menerapkan metode closed-loop, sedangkan SIMO Konverter masih menggunakan metode open-loop sehingga tegangan keluaran sangat dipengaruhi perubahan beban. Perubahan tegangan keluaran berefek kepada keluaran Vrms output yang stabil pada 18-16 Vrms untuk suplai dua SMPS, berbeda dengan SIMO Konverter yang mengalami drop dari 35-10 Vrms; namun jika diamati Vrms pada SIMO Konverter lebih besar jika dibandingkan dua SMPS pada beban yang sama, yang dipengaruhi oleh efisiensi SIMO Konverter yang lebih baik dengan perbedaan efisiensi sekitar 20% lebih besar. Daya yang dikeluarkan dua SMPS dapat lebih besar daripada SIMO Konverter karena trafo tegangan bekerja independen sehingga rugi energi lebih sedikit. Kualitas keluaran tegangan SIMO *Flyback* sudah baik jika

dibandingkan dengan dua SMPS, meskipun ripple maksimum pada SIMO *Flyback* sedikit lebih besar yang mengindikasikan bahwa proses transfer energi menggunakan satu transformator menghasilkan fluktuasi tegangan yang lebih tinggi dibandingkan SMPS komersial. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa dua SMPS lebih unggul dalam menjaga kestabilan tegangan dan mendukung performa inverter pada berbagai variasi beban, sedangkan SIMO *Flyback* menawarkan efisiensi yang lebih tinggi serta desain yang lebih sederhana karena hanya menggunakan satu transformator dan satu rangkaian *switching* untuk menghasilkan dua keluaran DC terisolasi, dengan penurunan biaya implementasi sebesar 58,71%.



Gambar 2. Gelombang Keluaran Inverter Suplai SMPS (A) & SIMO (B)

IV. SIMPULAN

SIMO *Flyback* konverter berhasil direalisasikan dan diintegrasikan sebagai alternatif pengganti dua buah SMPS untuk menyuplai dua sumber DC terisolasi pada inverter MLI-CHB 5 Level. Hasil pengujian menunjukkan inverter mampu menghasilkan keluaran gelombang AC multilevel 5 level dengan karakteristik yang sama seperti saat menggunakan dua SMPS. SIMO *Flyback* Converter mampu menyuplai daya inverter pada rentang 6,67 W hingga 24,09 W dengan efisiensi konverter sebesar 79,35%-85,71%, yang lebih tinggi dibandingkan sistem dua SMPS pada kondisi pengujian, sehingga menunjukkan bahwa SIMO *Flyback* memiliki proses konversi energi yang lebih baik pada konfigurasi yang dirancang. Namun demikian, regulasi tegangan SIMO *Flyback* masih lebih rendah dibandingkan dua SMPS; tegangan keluaran SIMO berubah dari 46,90 V menjadi 16,30 V seiring bertambahnya beban akibat penggunaan sistem open-loop, sedangkan dua SMPS mampu mempertahankan tegangan keluaran pada kisaran 22-24 V karena menggunakan pengendalian closed-loop. Kualitas tegangan keluaran SIMO *Flyback* masih tergolong baik dengan nilai ripple maksimum 0,93 V, yang masih berada di bawah 1 V dan tidak berbeda jauh dibandingkan dua SMPS. Dengan demikian, SIMO *Flyback* layak digunakan sebagai sumber catu daya terisolasi yang lebih sederhana dan ekonomis untuk aplikasi inverter multilevel berdaya rendah. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan optimasi desain transformator *Flyback*, khususnya pada rasio lilitan, ukuran inti, dan celah udara (air gap) untuk meningkatkan efisiensi transfer daya serta mengurangi penurunan tegangan pada kondisi beban tinggi, dan dapat menerapkan sistem kendali closed-loop pada SIMO *Flyback* Konverter agar tegangan keluaran tetap stabil terhadap perubahan beban dan variasi tegangan masukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, yang telah menyediakan fasilitas selama pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] J. Jamaaluddin, I. Sulistiyowati, A. Ahfas, D. H. R. Saputra, and S. G. Rahmatullah, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sistem Pengering Makanan*. Sidoarjo, Indonesia: Umsida Press, 2025.
- [2] D. H. R. Saputra and M. N. Hafidz, "A multivoltage input output variant in small scale inverter," *UMSIDA Preprints*, 2022.
- [3] D. Hadidjaja, A. Ahfas, S. Syahririni, and S. D. Ayuni, "Smart shoe care: Enhancing drying efficiency and material preservation," *Academia Open*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [4] D. H. R. Saputra et al., "Implementasi motor BLDC 350W untuk meningkatkan kecepatan penggulangan selang pemadam kebakaran," *Rang Teknik Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 243–249, 2025, doi: 10.31869/rtj.v8i2.5842.
- [5] A. Zaenal, Jamaaluddin, A. Ahfas, D. Hadidjaja, and A. Falah, "Analisa kapasitas pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk pengering kupang," *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 23, no. 1, pp. 55–64, Apr. 2024, doi: 10.31358/techne.v23i1.415.

- [6] S. Sivamani, S. P. Mangaiyarkarasi, R. Gandhi Raj, and S. Senthilkumar, "A quad DC source switched three-phase multilevel DC-link inverter topology," *Scientific Reports*, vol. 14, Art. no. 2065, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-52605-3.
- [7] N. F. Mailah and A. H. Omri, "Simulation of indirect DC-AC-DC converter using cascaded H-bridge multilevel inverter," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 16, no. 7, pp. 59–71, 2024.
- [8] L. A. Mohammed, R. K. Antar, and B. M. Saied, "Design a 27-level cascaded H-bridge inverter using one DC voltage source," *Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA)*, vol. 58, no. 12, pp. 2647–2653, Dec. 2025, doi: 10.18280/jesa.581218.
- [9] A. Pourdadaashnia, M. Sadoughi, and M. Farhadi-Kangarlu, "Selective harmonic elimination in a cascaded H-bridge multilevel inverter fed by high-frequency isolated DC-DC converter," in *Proc. IEEE Conf. Power Electronics*, 2021.
- [10] M. Tahan, D. O. Bamgboje, and T. Hu, "Compensated single-input multiple-output flyback converter," *Energies*, vol. 14, no. 11, Art. no. 3009, 2021, doi: 10.3390/en14113009.
- [11] F. C. Saputri, M. Z. Efendi, and F. D. Murdianto, "Design and simulation of single-input multi-output (SIMO) flyback converter using PI controller for emergency power supply," in *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1096, no. 1, Art. no. 012065, 2021.
- [12] D. H. R. Saputra et al., "Rancang bangun sistem kunci mobil dan monitoring menggunakan ESP8266," *Jurnal Al Ulum*, vol. 13, no. 2, pp. 116–121, 2025.
- [13] A. Ahfas, D. H. R. Saputra, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Implementation of ultrasonic sensor as a chemical percol fluid level control based on Atmega16," in *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1098/4/042046.
- [14] S. Syahririni et al., "Electrical monitoring system motorcycles based on NodeMCU ESP32," *UMSIDA Preprints*, 2024.
- [15] W. Safaroz, "Rancang bangun dan proteksi inverter pure sine wave SPWM 500 watt berbasis mikrokontroler menggunakan fuzzy logic," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 3, pp. 715–720, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3304.
- [16] M. H. Rashid, *Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications*, 4th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2014.
- [17] C. W. T. McLyman, *Transformer and Inductor Design Handbook*. New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2004.
- [18] I. M. A. Syaban et al., "Rancang bangun inverter cascaded H-bridge 5 level untuk panel surya berbasis mikrokontroler AT89S52," in *Proc. Seminar Nasional Riset Inovatif (SENARI) ke-10*, 2025.
- [19] I. Sulistiyowati and M. N. Hafidz, "A multivoltage input output variant in small scale inverter (case study: Solar panel and VRLA battery)," *UMSIDA Preprints*, 2022.
- [20] S. D. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Lapindo embankment security monitoring system based on IoT," *ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 6, no. 1, pp. 40–48, 2021.
- [21] W.-T. Tsai, Y.-J. Chen, and Y.-M. Chen, "A modified forward PFC converter for LED lighting applications," *IEEE Open Journal of Power Electronics*, vol. 3, pp. 787–797, 2022, doi: 10.1109/OJPEL.2022.3217455.
- [22] I. Anshory et al., "Optimization DC-DC boost converter of BLDC motor drive by solar panel using PID and firefly algorithm," *Results in Engineering*, vol. 21, Art. no. 101727, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101727.
- [23] S. D. Ayuni, "IoT based PDAM water meter monitoring system with real time data," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 27, no. 1, 2026, doi: 10.21070/ijins.v27i1.2078.
- [24] A. Prasetyo, J. Jamaaluddin, and I. Anshory, "PCB etching machine using ESP32-camera based Internet of Things," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 260–268, 2023, doi: 10.12928/biste.v5i2.8132.
- [25] A. H. Falah, S. Syahririni, and A. Wisaksono, "IoT-based sumo robot control using Blynk software," *Academia Open*, vol. 8, 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.5976.
- [26] D. Vračar and P. Pejović, "Active-clamped flyback DC-DC converter in an 800V application: Design notes and control aspects," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 73, no. 4, 2022, doi: 10.2478/jee-2022-0032.
- [27] I. Hanafi, F. Hunaini, and D. Siswanto, "Monitoring and control system of industrial electric motors using the Internet of Things (IoT)," *Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA (JEEEU)*, vol. 7, no. 1, pp. 64–78, Apr. 2023.
- [28] M. R. Pratama, J. Jamaaluddin, and I. Sulistiyowati, "Electric bicycle battery charging system design using solar panel," *Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA (JEEEU)*, vol. 8, no. 2, pp. 71–81, Oct. 2024.

- [29] R. Firmansyah, M. B. A. M., M. Masnur K., P. A. G., M. R. F., and P. P. S. Saputra, "DC motor speed control using particle swarm optimization based on LabVIEW," Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA (JEEEU), vol. 8, no. 2, pp. 111–121, Oct. 2024.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.