

MODELING DAN IMPLEMENTASI PANEL SURYA PADA SISTEM APLIKASI AERATOR

Ni Wayan Gusning Widiawati^{1*}, I Ketut Wiryajati², I Nyoman Wahyu Setiawan³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Mataram; Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec. Selaparang, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. 83125

Received: 23 November 2024

Accepted: 14 Januari 2025

Published: 20 Januari 2025

Keywords:

Panel Surya;

Zeta Konverter;

Aerator;

Tegangan Output.

Correspondent Email:

wayangusning23jul@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan menganalisis sistem aerator berbasis panel surya dengan konverter Zeta yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi aerasi secara mandiri dan ramah lingkungan. Metode penelitian yang digunakan meliputi pemodelan, simulasi, dan pengujian dengan variasi tegangan input (12V, 19V, dan 24V) dan *Duty Cycle* (10% hingga 95%) menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada *Duty Cycle* optimal (55%-80%) dan tegangan input menengah hingga tinggi, konverter Zeta mampu menghasilkan tegangan output yang cukup besar untuk menggerakkan aerator dengan efisiensi tertinggi dicapai pada *Duty Cycle* menengah (sekitar 30%-60%). Selain itu, intensitas cahaya matahari secara signifikan mempengaruhi tegangan output, di mana *irradiance* tinggi menghasilkan tegangan puncak yang diperlukan untuk kinerja aerator yang optimal. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa desain sistem aerator bertenaga surya yang dirancang dapat memenuhi kebutuhan daya yang stabil dan efisien dalam mendukung proses aerasi, serta memiliki potensi besar dalam aplikasi sistem pengolahan air dan budidaya perikanan secara berkelanjutan.

Abstract. *This study aims to design and analyze a solar-powered aerator system with a Zeta converter, which is expected to enhance aeration efficiency in an autonomous and environmentally friendly manner. The research methodology includes modeling, simulation, and testing with variations in input voltage (12V, 19V, and 24V) and Duty Cycle (10% to 95%) using MATLAB software. The results show that at the optimal Duty Cycle (55%-80%) and medium to high input voltages, the Zeta converter can generate a sufficiently high output voltage to drive the aerator, with the highest efficiency achieved at a medium Duty Cycle (around 30%-60%). Additionally, sunlight intensity significantly affects the output voltage, where higher irradiance levels produce the required peak voltage for optimal aerator performance. Therefore, this study concludes that the designed solar-powered aerator system can provide stable and efficient power to support the aeration process and has great potential for applications in water treatment systems and sustainable aquaculture.*

1. PENDAHULUAN

Saat ini, kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Namun, sebagian besar energi yang digunakan masih berasal dari sumber daya fosil yang terbatas, sehingga berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim. Oleh karena itu, pencarian sumber energi terbarukan sangat penting untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil [1]. Dalam upaya pencarian sumber energi terbarukan sebaiknya memenuhi syarat yaitu menghasilkan jumlah energi yang cukup besar, biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.

Oleh karena itu pencarian tersebut diarahkan pada pemanfaatan energi matahari yang dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan panel surya [2]. Penggunaan energi surya dapat dilakukan melalui teknologi photovoltaic (pv). Alat ini merupakan alat yang dapat mengubah sumber daya energi surya menjadi sebuah sumber energi yang dapat menghasilkan listrik. Solar panel banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pembangkit listrik tenaga surya, pemanas air, dan lampu jalan tenaga surya. Namun, penggunaan solar panel dalam berbagai aplikasi terus meningkat, dan salah satu aplikasi yang mulai mendapat perhatian adalah pada sistem aplikasi aerator [3].

Sistem aerator merupakan bagian penting dalam pengolahan air, terutama di instalasi pengolahan limbah dan budidaya perikanan. Tujuan utama sistem aerator adalah untuk meningkatkan kualitas air dengan menambahkan oksigen ke dalam air. Saat ini, sistem aerator biasanya menggunakan energi listrik dari listrik atau generator diesel. Namun penggunaan energi fosil tidak efisien dan dapat mencemari lingkungan [4].

Penggunaan solar panel dalam sistem aerator memungkinkan sistem aerator beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan, tanpa emisi gas rumah kaca atau polusi udara. Selain itu, penggunaan solar panel juga dapat menekan biaya operasional dalam jangka panjang [5]. Melalui pemodelan dan simulasi yang tepat, desain sistem aerator bertenaga surya yang optimal dapat ditentukan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan dan mengembangkan model sel surya pada sistem aerator. Penelitian

ini menggabungkan pengetahuan solar panel, sistem aerator, dan faktor lingkungan untuk menghasilkan pemodelan dan simulasi yang akurat yang dapat digunakan sebagai dasar perancangan sistem aerator yang efisien dan berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel surya

Sel Surya adalah perangkat *photovoltaic* yang mengubah sinar matahari menjadi listrik melalui prinsip fotovoltaiik, di mana energi foton dari cahaya matahari diserap oleh elektron pada sambungan p-n, mirip dengan cara kerja diode [6]. Ketika terpapar cahaya, energi tersebut menyebabkan elektron mengalir dan menghasilkan arus listrik yang bisa dialirkan melalui kabel. Sel surya dirancang untuk memaksimalkan konversi energi cahaya menjadi listrik, dan dapat digabung secara seri atau paralel untuk mencapai tegangan dan arus yang diinginkan [7]. Sel surya terhubung secara elektrik dalam panel, dan perlu dilindungi dari kelembaban serta kerusakan mekanis yang dapat mengurangi efisiensi dan memperpendek umur panel. Umur panel surya biasanya mencapai 20 tahun, dengan penurunan efisiensi yang minimal selama periode tersebut. Selain itu, panel surya memerlukan pemeliharaan yang minim karena tidak memiliki komponen yang bergerak [8].

2.2 Aerator

Aerator adalah alat yang digunakan untuk melarutkan oksigen dari udara ke dalam air, dengan cara memperbesar area permukaan air yang bersentuhan dengan udara. Tujuannya adalah untuk memastikan kandungan oksigen dalam air cukup, serta menghilangkan gas dan kotoran yang dapat menyebabkan pembusukan. Aerator listrik sering digunakan di akuarium hias, menghasilkan gelembung udara yang dapat diatur ukurannya, memperluas kontak antara udara dan air, dan meningkatkan waktu kontak untuk penyerapan oksigen yang lebih efektif [9],[4].

2.3 Zeta Konverter

Zeta konverter adalah salah satu jenis konverter DC-DC yang mampu menaikkan (*boost*) atau menurunkan (*buck*) tegangan input menjadi tegangan output sesuai kebutuhan. Konverter ini dikenal karena kemampuannya untuk mengelola perubahan tegangan input yang luas dan menghasilkan tegangan output yang stabil dan teratur [10], [11].

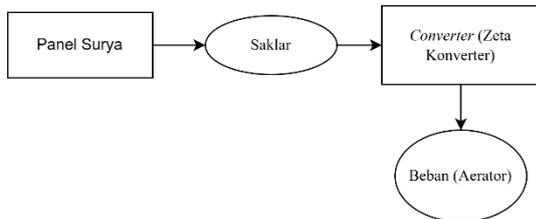
3. METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini yaitu dilakukan modeling dan simulasi panel surya pada sistem aerator menggunakan Software Matlab. Penelitian ini menampilkan hasil simulasi dan hasil pengukuran dari rangkaian ekuivalen sel surya, pada metode simulasi dan pengujian dilakukan dengan menggunakan nilai input radiasi matahari yang bervariasi.

Setelah dilakukan perencanaan sistem, selanjutnya pada tahap pengujian simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian yang disimulasikan telah bekerja sesuai dengan teori dan fungsinya sehingga dapat memberikan kelancaran proses dalam pengambilan data.

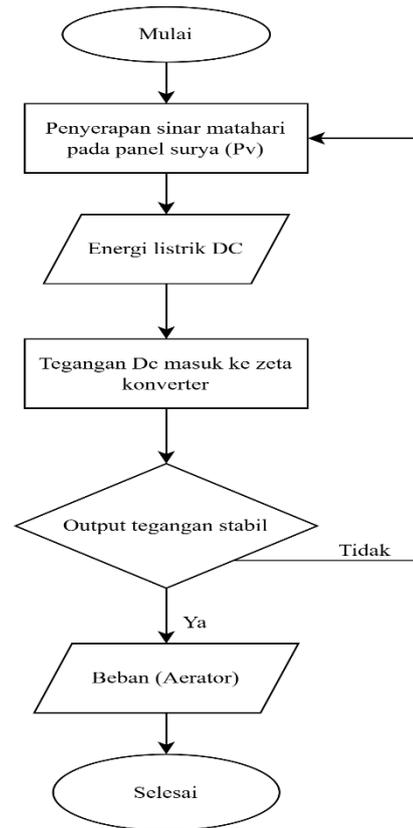
Setelah dilakukan modeling dan simulasi pada simulink matlab, selanjutnya di tahap ini dilakukan analisa data output yang dihasilkan oleh solar panel.

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, dibutuhkan tahapan-tahapan untuk merancang rangkaian pengukuran panel surya, dapat dilihat dari gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Diagram Blok Penelitian

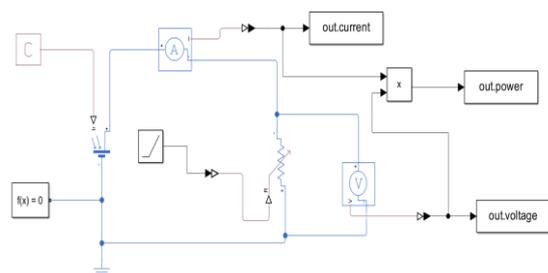
Selanjutnya peneliti merancang flowchart system yang dilakukan dalam penelitian, dapat dilihat pada gambar 3.2 yang dirancang di bawah ini:



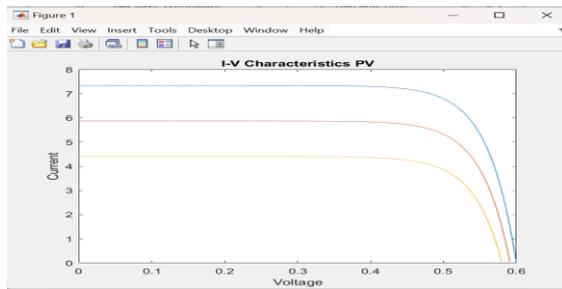
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

Berdasarkan gambar 3.3 cara kerjanya mulai dari panel surya menyerap sinar matahari kemudian tegangan DC dari hasil sel surya masuk ke *converter* (zeta konverter). Jika energi listrik yang masuk kedalam zeta konverter menghasilkan tegangan output yang stabil maka dilanjutkan ke analisa beban aerator.

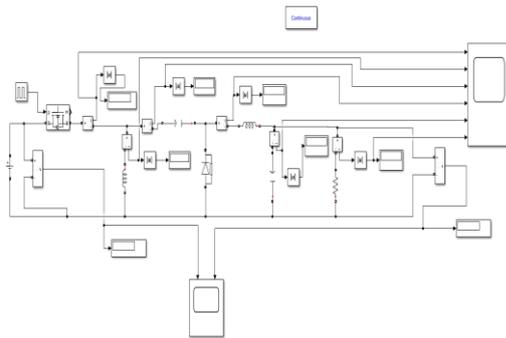
Berikut adalah rangkaian simulasi karakteristik arus-tegangan dan daya-tegangan panel surya menggunakan matlab. Dimana nilai radiasi yang digunakan bervariasi.



Gambar 3. 3 Rangkaian Karakteristik Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan



Gambar 3. 4 Grafik Karakteristik I-V Solar Panel



Gambar 3. 5 Rangkaian Zeta Konverter

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap Zeta konverter untuk mengetahui pengaruh variasi nilai *duty cycle* (D) pada berbagai tegangan input (V_{in}), yaitu 12V, 19V, dan 24V. *duty cycle* (D) adalah persentase dari satu siklus di mana switch konverter berada dalam posisi "ON". Variasi *duty cycle* dalam pengujian ini berkisar antara 10% hingga 95%. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh tegangan output (V_o), arus induktor (I_{L1} dan I_{L2}), arus kapasitor (I_{C1} dan I_{C2}), arus beban (I_{Ro}), daya input (P_i), daya output (P_o), dan efisiensi konverter (Eff). Data yang diperoleh disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 4. 1 Data Pengujian Zeta Converter Tegangan 12 Volt

V_{in} (V)	D (%)	V_o (hitung)	V_o (ukur)	Error (%)	P_i (watt)	P_o (watt)	Eff (%)
12	10%	1.3	3.356	158%	1.41204	0.563137	40%
12	15%	2.12	5.03	137%	1.68684	1.265045	75%
12	20%	3	6.7	123%	1.67292	2.2445	134%
12	25%	4	8.368	109%	1.37172	3.501171	255%
12	30%	5.14	10	95%	0.78096	5.015	642%
12	35%	6.46	11.69	81%	0.14707	6.833974	4647%
12	40%	8	13.35	67%	1.25868	8.90979	708%
12	45%	9.82	15	53%	2.7072	11.247	415%
12	50%	12	16.64	39%	4.4412	13.84115	312%
12	55%	14.67	18.27	25%	6.4596	16.6933	258%
12	60%	18	19.91	11%	8.7648	19.82041	226%
12	65%	22.29	21.89	-2%	11.9448	23.96955	201%
12	70%	28	27.22	-3%	22.632	37.04642	164%
12	75%	36	34.42	-4%	43.332	59.23682	137%
12	80%	48	43.6	-9%	89.9364	95.048	106%
12	85%	68	57.12	-16%	188.652	163.1347	86%
12	90%	108	74.35	-31%	412.099	276.4333	67%
12	95%	228	78.48	-66%	924.732	307.9555	33%

Berdasarkan tabel 4.1 di atas, dapat dilihat bahwa nilai tegangan output meningkat seiring dengan peningkatan nilai *duty cycle*. Pada nilai *duty cycle* rendah (10%-25%), V_o relatif rendah, namun seiring kenaikan *duty cycle*, tegangan output juga meningkat secara signifikan. Selain itu, terdapat perbedaan antara tegangan output teoretis (V_o hitung) dengan hasil pengukuran langsung (V_o ukur). Error persentase menunjukkan perbedaan ini dan cenderung menurun pada *duty cycle* menengah, tetapi kembali meningkat pada *duty cycle* tinggi. Efisiensi konverter (Eff) cenderung meningkat seiring dengan kenaikan *duty cycle* hingga mencapai titik optimal pada *duty cycle* tertentu, setelah itu menurun kembali. Efisiensi tertinggi terlihat pada *duty cycle* menengah hingga tinggi (30%-60%).

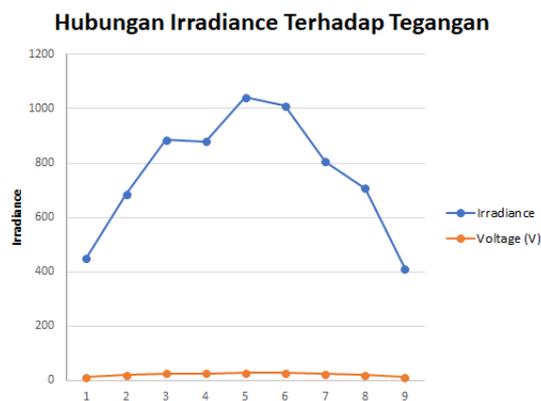
Hasil pengujian dari data pengukuran solar panel memuat informasi mengenai waktu (jam), irradiance, dan tegangan (volt) yang dihasilkan oleh panel surya. Pengambilan data dilakukan selama satu hari, dimulai dari pukul 08.00 hingga 17.00, dengan interval pengambilan data setiap satu jam. Tabel 4.1 berikut menyajikan hasil pengukuran yang mencakup waktu, nilai irradiance dalam watt per meter persegi

(W/m²), dan tegangan output dalam volt (V), yaitu sebagai berikut ini:

Tabel 4. 2 Tabel Hasil Pengukuran Solar Panel

No	Waktu	Irradiance	Tegangan (V)
1	8.00	450	12
2	9.00	685	19
3	10.00	885	24
4	11.00	879	24.3
5	12.00	1043	26
6	13.00	1011	26.5
7	14.00	805	22
8	15.00	706	19.8
9	16.00	410	11.6
10	17.00	213	6

Dari tabel 4.2 di atas, dapat dilihat bahwa ada fluktuasi yang cukup besar pada nilai *irradiance* dan tegangan yang dihasilkan sepanjang hari. Pada pukul 12.00, *irradiance* mencapai nilai tertinggi, yaitu 1043 W/m², yang berbanding lurus dengan tegangan output yang juga mencapai angka tertinggi, yakni 26 V.

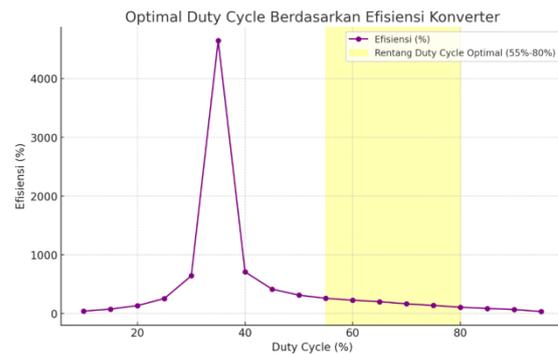


Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Irradiance Terhadap Tegangan

Berdasarkan gambar grafik 4.1 di atas dapat dilihat bahwa tegangan output panel surya cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya *irradiance*. Pada pukul 08.00 ketika *irradiance* berada pada angka 450 W/m², tegangan yang dihasilkan oleh panel surya adalah 12 V.

Pada Gambar 4.2, ditunjukkan hubungan antara efisiensi konverter dan variasi *duty cycle*

yang digunakan dalam sistem. Grafik ini memperlihatkan bagaimana efisiensi konverter berfluktuasi dengan perubahan *duty cycle* yang diterapkan pada zeta converter. Berdasarkan data yang terpapar pada grafik di bawah ini, terdapat rentang *duty cycle* optimal yang dapat memberikan efisiensi terbaik bagi konverter.



Gambar 4. 2 Optimalisasi Duty Cycle Berdasarkan efisiensi Konverter

Berdasarkan Gambar 4.2, terlihat bahwa efisiensi konverter meningkat seiring dengan kenaikan *duty cycle* dari 10% hingga mencapai titik puncaknya pada kisaran 55% hingga 80%.

Dalam pengujian ini, dilakukan variasi nilai *duty cycle* (D) pada zeta converter dengan tegangan input (*V_{in}*) 19V. Data yang diperoleh menunjukkan hubungan antara *duty cycle*, tegangan output (*V_o*), arus induktor (IL1, IL2), arus kapasitor (IC1, IC2), daya input (*P_i*), daya output (*P_o*), efisiensi (Eff), dan error antara tegangan output teoritis (*V_o* hitung) dan tegangan output yang terukur (*V_o* ukur).

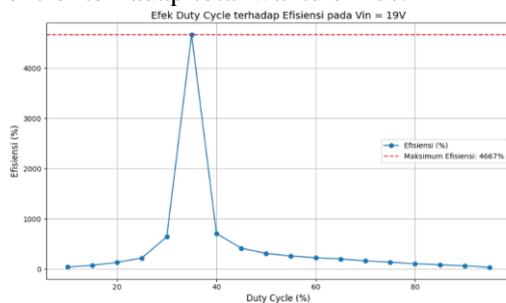
Tabel 4. 3 Pengujian Zeta Converter Tegangan Input 19 Volt

<i>V_{in}</i>	D	<i>V_o</i> (hitung)	<i>V_o</i> (ukur)	Error(%)	<i>P_i</i> (Watt)	<i>P_o</i> (watt)	Eff (%)
19	10%	2.11	5.314	152%	3.53989	1.41193	40%
19	15%	3.35	7.965	138%	4.2294	3.171663	75%
19	20%	4.75	10.61	123%	4.1952	5.627544	134%
19	25%	6.33	13.25	109%	3.43881	7.582975	221%
19	30%	8.14	15.88	95%	1.95814	12.60872	644%
19	35%	10.23	18.51	81%	0.36714	17.13286	4667%
19	40%	12.67	21.13	67%	3.15533	22.33441	708%
19	45%	15.55	23.74	53%	6.7868	28.17938	415%
19	50%	19	26.34	39%	11.1359	34.68978	312%

19	55%	23.2 2	28.93	25%	16.1937	41.86171	259%
19	60%	28.5	31.53	11%	21.9735	49.69128	226%
19	65%	35.3 6	34.67	-2%	29.944	60.08311	201%
19	70%	44.3 3	43.1	-3%	56.734	92.8805	164%
19	75%	57	54.51	-4%	108.596	148.5398	137%
19	80%	76	69.03	-9%	225.395	238.2225	106%
19	85%	107. 6	90.45	-16%	473.005	409.0149	86%
19	90%	171	117.7	-31%	1033.09	692.7822	67%
19	95%	361	124.3	-66%	2318.78	772.2759	33%

Berdasarkan tabel 4.3 di atas, dapat dilihat bahwa nilai tegangan output (V_o) meningkat seiring dengan meningkatnya *duty cycle* (D). Pada nilai *duty cycle* rendah (10%-30%), tegangan output relatif rendah, dengan V_o sekitar 2V hingga 8V.

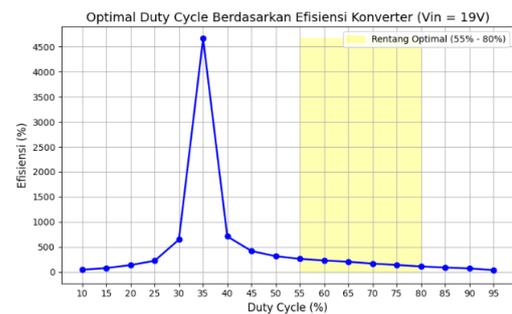
Pada pengujian efek *duty cycle* (D) terhadap tegangan output (V_o), peneliti menganalisis pengaruh variasi nilai *duty cycle* terhadap tegangan output yang dihasilkan oleh sistem konverter zeta dengan tegangan input (V_{in}) 19V. *Duty cycle* (D) adalah rasio waktu konduksi dalam satu siklus kerja dari sinyal kontrol terhadap total waktu siklus.



Gambar 4.3 Efek Duty Cycle Terhadap Efisiensi

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa efisiensi konverter Zeta mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya nilai *duty cycle* (D) pada rentang 10% hingga sekitar 60%. Pada nilai *duty cycle* rendah (10% hingga 30%), efisiensi konverter cenderung rendah, namun mulai meningkat drastis setelah D mencapai sekitar 35%, dan puncaknya terjadi pada kisaran 55% hingga 60%.

Berdasarkan data yang terpapar pada grafik, terdapat rentang *duty cycle* optimal yang dapat memberikan efisiensi terbaik bagi konverter.



Gambar 4.4 Optimal Duty Cycle Berdasarkan Efisiensi Zeta Konverter

Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat bahwa efisiensi konverter meningkat seiring dengan kenaikan *duty cycle* dari 10% hingga mencapai titik puncaknya pada kisaran 55% hingga 80%.

Penelitian ini melakukan perhitungan tegangan output (V_{hitung}) pada konverter zeta konverter dengan variasi *duty cycle*. Tegangan output ini dihitung menggunakan rumus berikut:

1. Formula Tegangan Output (V_{hitung}):

Tegangan output konverter zeta konverter pada kondisi tertentu dapat dihitung dengan rumus:

$$V_o(\text{hitung}) = V_{in} \times \frac{D}{1-D} \quad (1)$$

Keterangan:

V_o Hitung = Tegangan output yang dihitung

V_{in} = Tegangan input (dalam hal ini 19V)

D = *Duty cycle* (berupa desimal, yakni 10% = 0.1)

2. Perhitungan Tegangan Output (V_{hitung}): Dengan menggunakan rumus:

$$V_o(\text{hitung}) = V_{in} \times \frac{D}{1-D} \quad (2)$$

Perhitungan untuk setiap nilai D :

- a. Untuk $D = 10\%$ (0.10),

$$V_o(\text{hitung}) = 19 \times \frac{0.10}{1-0.10} = 2.11 \quad (3)$$

- b. Untuk $D = 15\%$ (0.15),

$$V_o(\text{hitung}) = 19 \times \frac{0.15}{1-0.15} = 3.35 \quad (4)$$

- c. Untuk $D = 20\%$ (0.20),

$$V_{O(\text{hitung})} = 19 x \frac{0.20}{1-0.20} = 4.75 \tag{5}$$

d. Dst hingga duty 95%

Untuk setiap variasi *Duty Cycle* (D), maka dapat menghitung error sebagai selisih mutlak antara V_{hitung} dan V_{ukur} sebagai berikut ini:

$$\text{Error} = |V_{\text{hitung}} - V_{\text{ukur}}| \tag{6}$$

Pada pengujian ini, dilakukan variasi nilai *duty cycle* (D) pada zeta converter dengan tegangan input (V_{in}) 24V. Data yang diperoleh menunjukkan hubungan antara *duty cycle*, tegangan output (V_o), arus induktor (IL1, IL2), arus kapasitor (IC1, IC2), daya input (P_i), daya output (P_o), efisiensi (Eff), dan *error* antara tegangan output teoritis (V_o hitung) dan tegangan output yang terukur (V_o ukur). Berdasarkan Tabel 4.6 yang ditampilkan di bawah ini, dapat dilihat bahwa:

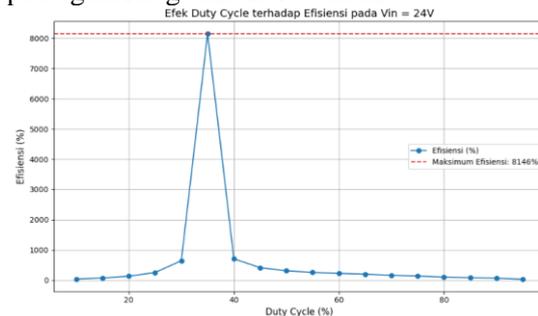
Tabel 4. 4 Pengujian Zeta Converter Tegangan Input 24Volt

V_{in}	D	V_o (hitung)	V_o (ukur)	Error (%)	P_i (watt)	P_o (Watt)	Eff (%)
24	10%	2.67	6.713	151%	5.6472	225%	40%
24	15%	4.24	10.06	137%	6.7464	506%	73%
24	20%	6	13.4	123%	6.6912	898%	134%
24	25%	8	16.74	109%	5.4864	1401%	255%
24	30%	10.29	20.06	95%	3.12408	2012%	644%
24	35%	12.92	23.38	81%	0.33552	2733%	8146%
24	40%	16	26.69	67%	5.0352	3563%	708%
24	45%	19.64	29.99	53%	10.8288	4499%	415%
24	50%	24	33.27	39%	17.7696	5536%	312%
24	55%	29.33	36.55	25%	25.836	6678%	258%
24	60%	36	39.82	11%	35.0616	7928%	226%
24	65%	44.57	43.79	-2%	47.7792	9586%	201%
24	70%	56	54.44	-3%	90.5064	14819%	164%
24	75%	72	68.85	-4%	173.278	23698%	137%
24	80%	96	87.19	-9%	359.695	38015%	106%
24	85%	136	114.2	-16%	754.632	65231%	86%
24	90%	216	148.7	-31%	1648.39	110558%	67%
24	95%	456	157	-66%	3699.38	123214%	33%

Berdasarkan tabel yang disajikan, dapat dilihat bahwa nilai tegangan output (V_o) meningkat seiring dengan bertambahnya nilai *duty cycle* (D). Pada nilai *duty cycle* rendah (10%-30%), tegangan output relatif rendah, dengan V_o berada pada kisaran 2,67V hingga 20,06V. Namun, pada *duty cycle* yang lebih tinggi (50%-95%), tegangan output mengalami

peningkatan yang signifikan, dengan nilai tertinggi tercatat sekitar 157V pada D = 95%.

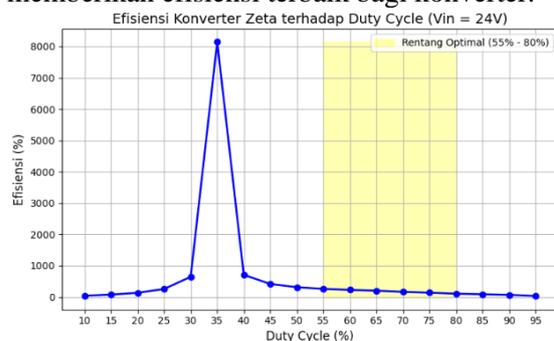
Dalam penelitian ini, data yang digunakan menunjukkan variasi nilai *duty cycle* dari 10% hingga 95% pada tegangan input konstan sebesar 24V. Data yang diperoleh mencakup tegangan output yang dihitung (V_o hitung), tegangan output yang terukur (V_o ukur), serta persentase error antara keduanya. Dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini:



Gambar 4. 5 Efek Duty Cycle Terhadap Efisiensi

Berdasarkan grafik 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa efisiensi konverter Zeta mengalami fluktuasi yang signifikan seiring dengan perubahan nilai *duty cycle* (D) pada rentang 10% hingga 95%. Pada nilai *duty cycle* yang sangat rendah (10% hingga 25%), efisiensi konverter cenderung rendah, dengan nilai efisiensi mulai menunjukkan peningkatan yang tajam setelah *duty cycle* mencapai sekitar 30%.

Pada Gambar 4.9, ditunjukkan hubungan antara efisiensi konverter dan variasi *duty cycle* yang digunakan dalam sistem konverter Zeta dengan tegangan input (V_{in}) 24V. Grafik ini menggambarkan bagaimana efisiensi konverter berfluktuasi dengan perubahan *duty cycle* yang diterapkan pada konverter zeta konverter. Berdasarkan data yang terpapar pada grafik, terdapat rentang *duty cycle* optimal yang dapat memberikan efisiensi terbaik bagi konverter.



Gambar 4. 6 Optimal Duty Cycle Berdasarkan Efisiensi Konverter

Berdasarkan grafik 4.6 terlihat bahwa efisiensi konverter meningkat seiring dengan kenaikan *duty cycle* dari 10% hingga mencapai titik puncaknya pada kisaran 55% hingga 80%. Pada rentang ini, efisiensi konverter cenderung stabil dan tinggi, yang menunjukkan bahwa konverter bekerja dengan performa terbaik pada *duty cycle* dalam kisaran tersebut. Pada rentang *duty cycle* antara 55% hingga 80%, efisiensi konverter mencapai titik kestabilan dan memberikan nilai efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan *duty cycle* yang lebih rendah atau lebih tinggi.

Penelitian ini melakukan perhitungan tegangan output (V_{hitung}) pada konverter zeta konverter dengan variasi *duty cycle*. Tegangan output ini dihitung menggunakan rumus berikut:

1. Formula Tegangan Output (V_{hitung}):

Tegangan output konverter zeta konverter pada kondisi tertentu dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{o(hitung)} = V_{in} \times \frac{D}{1-D} \quad (7)$$

Keterangan:

$V_{o(hitung)}$ = Tegangan output yang dihitung
 V_{in} = Tegangan input (dalam hal ini 24 V)
 D = *Duty cycle* (berupa desimal, yakni 10% = 0.1)

2. Perhitungan Tegangan Output (V_{hitung}):
 Dengan menggunakan rumus:

$$V_{o(hitung)} = V_{in} \times \frac{D}{1-D} \quad (8)$$

Perhitungan untuk setiap nilai D:

- e. Untuk $D = 10\%$ (0.10),

$$V_{O(hitung)} = 24 \times \frac{0.10}{1-0.10} \quad (9)$$

$$= 2.67$$

- f. Untuk $D = 15\%$ (0.15),

$$V_{O(hitung)} = 24 \times \frac{0.15}{1-0.15} \quad (10)$$

$$= 4.24$$

- g. Untuk $D = 20\%$ (0.20),

$$V_{O(hitung)} = 24 \times \frac{0.20}{1-0.20} \quad (11)$$

$$= 6.00$$

- h. Dan seterusnya

Untuk setiap variasi *Duty Cycle* (D), maka dapat menghitung error sebagai selisih mutlak antara V_{hitung} dan V_{ukur} sebagai berikut ini:

$$Error = |V_{hitung} - V_{ukur}| \quad (12)$$

5. KESIMPULAN

- a. Pengujian Zeta Converter menunjukkan bahwa desain sistem aplikasi aerator yang menggunakan panel surya dengan tegangan input 12V, 19V, dan 24V mampu menghasilkan tegangan output yang cukup tinggi untuk mendukung kebutuhan daya aerator. Pada tegangan input 12V, tegangan output yang dihasilkan meningkat dari 1.3V (*Duty Cycle* 10%) hingga 78.48V (*Duty Cycle* 95%), menunjukkan fleksibilitas konverter dalam meningkatkan output. Pada input 19V, tegangan output berkisar dari 2V hingga 117V seiring peningkatan *Duty Cycle* yang sama. Sementara pada tegangan input 24V, output maksimum tercatat lebih dari 150V pada *Duty Cycle* tinggi, mendukung performa optimal aerator saat kebutuhan daya lebih besar.
- b. Dalam Efektivitas sistem aerator tenaga surya ini, efisiensi sistem konverter bertenaga surya mencapai tingkat optimal pada *Duty Cycle* menengah (30%-60%) untuk seluruh tegangan input yang diuji. Pada rentang *Duty Cycle* ini, efisiensi konverter berada pada nilai puncak, artinya mempunyai peluang untuk penggunaan energi yang dihasilkan secara optimal oleh aerator.
- c. Pengaruh dari intensitas cahaya matahari (*irradiance*) terhadap kinerja solar panel pada sistem aerator, sangat mempengaruhi tegangan output yang dihasilkan oleh panel surya, dengan data yang diukur dalam waktu tertentu yakni pada pukul 08.00 ketika *irradiance* sebesar 450 W/m², tegangan output panel surya berada di kisaran 12V. *Irradiance* tertinggi dicapai pada pukul 12.00, yakni 1043 W/m² yang menghasilkan tegangan output puncak sebesar 26V. Setelah pukul 15.00,

terjadi penurunan *irradiance* yang berdampak langsung pada output tegangan pada pukul 17.00 dengan *irradiance* 213 W/m², tegangan menurun hingga 6V.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Dr. I Ketut Wiryajati, ST., MT., IPU., ASEAN. Eng. dan I Nyoman Wahyu Setiawan, ST., MSc., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir, serta keluarga saya atas dukungan serta motivasi yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. M. Fardani, "Perancangan Prototipe 2 Axis Solar Tracker Guna Optimalisasi Output Daya Solar Panel," *Skripsi*, 2018.
- [2] T. Haryanto, "Perancangan Energi Terbarukan Solar Panel Untuk Essential Load Dengan Sistem Switch," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 43, 2021, doi: 10.22441/jtm.v10i1.4779.
- [3] P. Rachmawati, R. Agistya Anugrah, and Ulikaryani, "Pengaruh Variasi Suhu pada Aerator 10 Watt dengan Panel Surya 80 WP Terhadap Kandungan Oksigen Terlarut," *Accurate J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 22–26, 2022, doi: 10.35970/accurate.v3i1.1512.
- [4] S. Bahri, R. Setiawan, W. Hermawan, and M. Yuniar, "Perkembangan Desain dan Kinerja Aerator Tipe Kincir," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 2, no. 1, p. 21685, 2014.
- [5] R. Amirillah, R. Sulistyowati, H. A. Sujono, A. Pambudi, I. Teknologi, and A. Tama, "Rancang Bangun Sistem Pompa Aerator Tenaga Surya untuk Suplai Oksigen Kolam Lele Metode Algoritma Incremental Conductance," no. February 2020, pp. 1–10, 2021.
- [6] Setianto, "Pemodelan dan Simulasi Modul Sel Surya Paralel Menggunakan MATLAB," *Sent. VI 2021 Semin. Nas. Tek. Elektro VI 2021*, no. November 2021, pp. 208–213, 2021, [Online]. Available: <https://senter.ee.uinsgd.ac.id/repositori/index.php/prosiding/article/view/senter2021p20>
- [7] A. Hysa, "Modeling and simulation of the photovoltaic cells for different values of physical and environmental parameters," *Emerg. Sci. J.*, vol. 3, no. 6, pp. 395–406, 2019, doi: 10.28991/esj-2019-01202.
- [8] K. Fadhullah, "Khalid Fadhlullah," *Kelemahan Arduino*, vol. 1, no. 2, p. 30, 2017.
- [9] A. Kurniawan, "Perancangan Model dan Simulasi Modul Sel Surya Paralel Menggunakan MATLAB," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung ...*, vol. 1, no. 3, pp. 146–151, 2022, [Online]. Available: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=0BJSIooAAAAJ&pagesize=100&citation_for_view=0BJSIooAAAAJ:4DMP91E08xMC
- [10] E. Anggita, Denda Dewatama, and Mila Fauziyah, "Pengimplementasian Tegangan Keluaran Panel Surya Dengan Topologi Zeta Konverter Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 1, pp. 92–102, 2023, doi: 10.24912/tesla.v25i1.23307.
- [11] I. A. R. Siregar, "Rancang Bangun Purwarupa Zeta Converter Dengan Maximum Power Point Tracking (Mppt) Untuk Optimalisasi Penyerapan Energi Pada Photovoltaic," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, pp. 10–15, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4499.