

Pendekatan Regresi Linear untuk Mengkaji Pengaruh Induktansi pada Efisiensi dan Daya Keluaran Zeta Converter

I Ketut Wiryajati¹, Ahmad Riki Baihaki¹, Djul Fikry Budiman¹

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mataram.

ARTICLE INFO

Article history :

Received : November 28, 2024

Revised : November 29, 2024

Accepted : November 29, 2024

Keywords :

Zeta Converter;
Induktansi;
Regresi Linear;
Daya Keluaran;
Efisiensi;
Parameter Konverter;

ABSTRACT

This study examines the effect of inductance parameters (L1 and L2) on the efficiency and output power of the Zeta Converter using a linear regression approach. Zeta Converter is a DC-DC power converter that is often used to stabilize the output voltage in renewable energy and power electronics applications. In this study, a Zeta Converter simulation model is built to obtain output power (P_{out}) and efficiency (η) data at various inductance values. Linear regression analysis shows that the output power is significantly affected by the values of L1 and L2, with the equation $P_{out} = 63.5858 + 0.0505 \times L1 + 0.0505 \times L2$ and the coefficient of determination $R^2 = 0.7670$. Meanwhile, the relationship between inductance and efficiency is less strong with $R^2 = 0.5309$, indicating that other factors also affect the efficiency of the converter. The results of this study provide guidance for Zeta Converter designers in choosing the optimal inductance value to increase output power. For efficiency optimization, further research is recommended by considering additional variables such as capacitance and switching frequency.

Corresponding Author:

Djul Fikry Budiman, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mataram, Mataram, 83126, Indonesia

Email: djulfikry@unram.ac.id

1. PENDAHULUAN

Zeta Converter merupakan salah satu jenis konverter daya DC-DC yang memiliki kemampuan unik untuk mengatur tegangan output, baik dalam mode peningkatan (boost) maupun penurunan (buck), sesuai dengan kebutuhan aplikasi (Oommen et al. 2019)(M., Rubavathy, and G. 2024). Keunggulan ini menjadikannya ideal untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem energi terbarukan, perangkat penyimpanan energi, dan peralatan elektronik yang membutuhkan suplai daya stabil (Gupta and Joshi 2024). Dalam konteks energi terbarukan, Zeta Converter sering digunakan pada sistem fotovoltaik untuk menyesuaikan fluktuasi tegangan yang dihasilkan oleh panel surya agar sesuai dengan kebutuhan beban atau sistem penyimpanan. Selain itu, dalam aplikasi perangkat elektronik dan sistem penyimpanan energi, stabilitas dan efisiensi konverter sangat penting untuk memastikan pasokan daya yang andal dan hemat energi(Cheng 2024)(Incorporated 2011).

Kinerja Zeta Converter sangat dipengaruhi oleh karakteristik komponen pasif yang digunakan, yaitu induktor dan kapasitor. Induktor memiliki peran penting dalam menyimpan energi magnetik selama siklus operasi konverter, yang kemudian dilepaskan ke beban untuk menjaga kestabilan tegangan output. Parameter induktor, khususnya nilai induktansi (L1 dan L2), berdampak signifikan terhadap kualitas arus dan tegangan output, serta pada efisiensi dan daya keluaran dari konverter (Vuthchhay and Bunlaksanusorn 2010). Meski demikian, pengaruh induktansi terhadap kinerja Zeta Converter belum banyak dibahas secara mendalam dalam penelitian sebelumnya. Sebagian besar studi lebih berfokus pada optimasi desain sistem kontrol dan pemilihan komponen aktif, sementara elemen pasif sering kali diabaikan atau dipilih berdasarkan pengalaman tanpa analisis kuantitatif(Wu et al. 2003).

Efisiensi dan daya keluaran adalah dua parameter utama yang perlu dioptimalkan dalam perancangan Zeta Converter. Efisiensi yang tinggi memastikan bahwa energi yang ditransfer dari input ke output digunakan

secara maksimal, dengan mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi di dalam konverter. Rugi-rugi daya yang rendah juga penting dalam aplikasi yang memerlukan efisiensi tinggi, seperti pada sistem fotovoltaik yang menghadapi batasan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Di sisi lain, daya keluaran merupakan indikator kemampuan konverter untuk memasok energi sesuai dengan kebutuhan beban. Pengaturan nilai induktansi yang tepat dapat membantu mencapai kedua tujuan ini, dengan memastikan bahwa arus dan tegangan output memiliki bentuk gelombang yang stabil dan minim harmonisa (Wahyuni, Wiryajati, and Wahyu Satiawan 2024).

Namun, menentukan nilai induktansi yang optimal untuk meningkatkan efisiensi dan daya keluaran sering kali menjadi tantangan. Dalam banyak kasus, perancang konverter mengandalkan pendekatan trial-and-error untuk menentukan nilai komponen pasif, yang mengakibatkan proses desain yang memakan waktu dan tidak efisien. Selain itu, pendekatan ini juga tidak memberikan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana perubahan nilai induktansi secara spesifik memengaruhi performa konverter. Oleh karena itu, diperlukan metode yang sistematis untuk menganalisis dan menentukan nilai induktansi yang optimal, agar proses desain menjadi lebih efisien dan kinerja Zeta Converter dapat dioptimalkan (Dehghan Banadaki, Mohammadi, and Feliachi 2017) (Feng and Ma 2022).

Pendekatan statistik, khususnya regresi linear, menawarkan alat yang kuat untuk menganalisis pengaruh parameter induktansi terhadap kinerja Zeta Converter. Dalam model regresi linear, nilai induktansi L_1 dan L_2 dapat digunakan sebagai variabel independen, sementara efisiensi (η) dan daya keluaran (P_{out}) menjadi variabel dependen. Pendekatan ini memungkinkan kita untuk membangun model matematika yang menggambarkan hubungan antara parameter induktansi dan performa konverter (Niedermeier, Krammer, and Schmuelling 2016). Dengan model ini, kita dapat memprediksi bagaimana perubahan pada nilai L_1 dan L_2 akan mempengaruhi efisiensi dan daya keluaran. Selain itu, regresi linear juga menyediakan koefisien determinasi (R^2) yang memungkinkan kita untuk menilai sejauh mana model regresi dapat menjelaskan variasi data aktual (Sasikala et al. 2022) (M., Rubavathy, and G. 2024).

Pendekatan regresi linear untuk menganalisis performa konverter memiliki beberapa keunggulan. Pertama, metode ini memberikan hasil kuantitatif yang dapat membantu perancang dalam mengambil keputusan berdasarkan data, bukan hanya pada pengalaman atau asumsi. Kedua, regresi linear memungkinkan kita untuk mengevaluasi kontribusi masing-masing variabel dalam mempengaruhi efisiensi dan daya keluaran, sehingga dapat diketahui apakah perubahan nilai induktansi memang memiliki pengaruh signifikan atau tidak. Ketiga, pendekatan ini dapat membantu mengidentifikasi faktor lain yang mungkin memengaruhi kinerja konverter, seperti kapasitansi atau frekuensi switching, yang dapat diteliti lebih lanjut dalam penelitian mendatang.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai cara untuk meningkatkan kinerja Zeta Converter, termasuk melalui optimasi algoritma kontrol, teknik modulasi PWM, dan pemilihan komponen dengan spesifikasi tinggi. Namun, kebanyakan dari penelitian tersebut lebih berfokus pada aspek sistem kontrol atau komponen aktif, sementara pengaruh induktansi sebagai komponen pasif kurang diperhatikan. Dengan memanfaatkan regresi linear, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan dalam literatur tersebut dengan menganalisis secara kuantitatif pengaruh nilai induktansi L_1 dan L_2 terhadap efisiensi dan daya keluaran Zeta Converter sederhana yang dapat membantu perancang dalam menentukan nilai induktansi yang optimal untuk mencapai kinerja terbaik. Model ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses desain konverter dengan mengurangi kebutuhan uji coba manual, serta memberikan panduan yang lebih jelas dalam pemilihan komponen induktor. Selain itu, model prediksi ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan lebih lanjut untuk mengkaji pengaruh parameter lain, seperti kapasitansi dan karakteristik switching, dalam meningkatkan performa Zeta Converter.

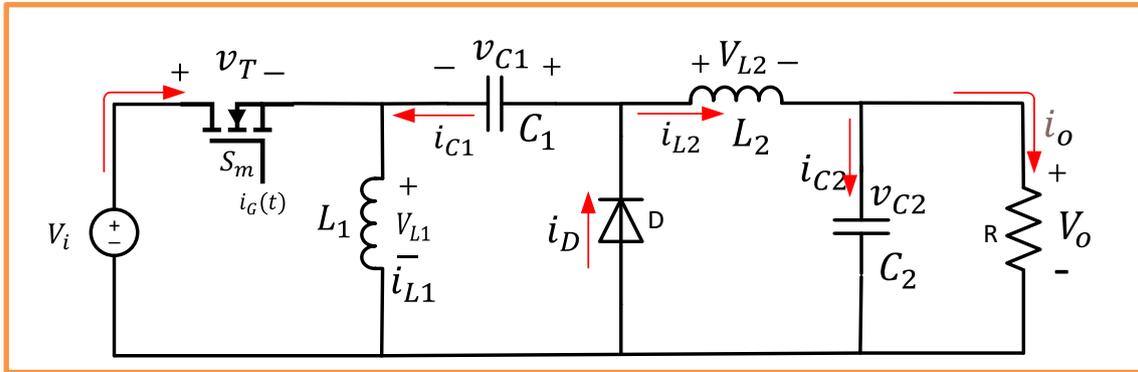
Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi perkembangan teknologi konverter daya, khususnya dalam aplikasi yang memerlukan efisiensi tinggi dan keluaran daya yang stabil. Melalui pendekatan regresi linear, studi ini dapat menjembatani celah antara teori dan praktik dalam desain Zeta Converter, serta menyediakan landasan ilmiah bagi penelitian di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter induktansi, yaitu L_1 dan L_2 , terhadap efisiensi (η) dan daya keluaran (P_{out}) dari Zeta Converter menggunakan pendekatan regresi linear. Metodologi penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu pemodelan sistem Zeta Converter, pengumpulan data, analisis regresi linear, dan evaluasi model.

2.1. Pemodelan Zeta Converter

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah membangun model simulasi Zeta Converter yang memungkinkan variasi parameter induktansi L_1 dan L_2 . Model ini dibuat menggunakan perangkat lunak simulasi seperti MATLAB/Simulink, yang memberikan fleksibilitas untuk memodifikasi nilai komponen dan memantau keluaran sistem secara langsung.

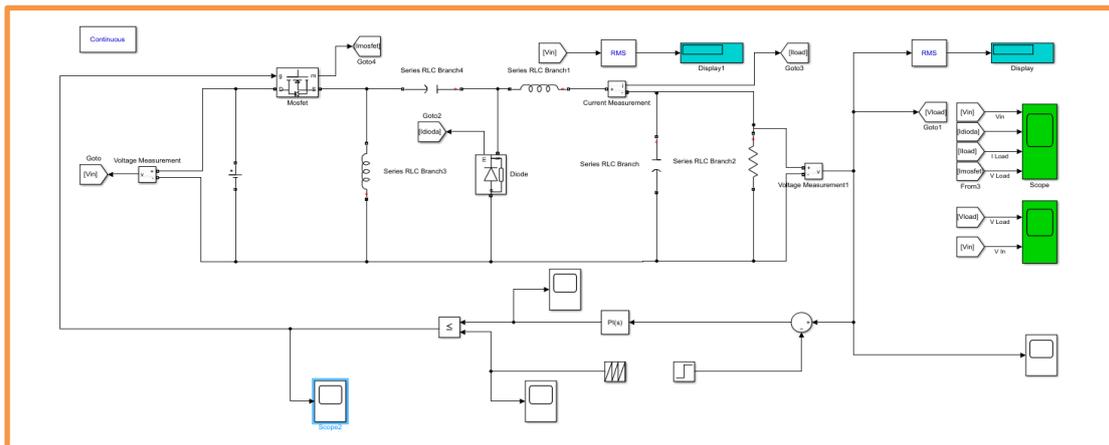


Gambar 1. Gambar Zeta Konverter dasar

Zeta Converter dirancang sesuai dengan konfigurasi topologi standar, yang meliputi dua induktor (L_1 dan L_2), dua kapasitor (C_1 dan C_2), dan satu saklar MOSFET. Tegangan input (V_{in}) dan frekuensi switching disesuaikan untuk mencerminkan kondisi operasi yang umum dalam aplikasi daya rendah hingga menengah. Variabel yang diukur dalam simulasi adalah daya keluaran (P_{out}) dan efisiensi (η), yang dihitung berdasarkan rasio antara daya input dan daya output. Desain Zeta di perlihatkan pada Gambar 1

2.2. Pengumpulan Data

Data simulasi diperoleh dengan menjalankan simulasi Zeta Converter pada berbagai nilai induktansi L_1 dan L_2 , sambil menjaga parameter lain tetap konstan untuk meminimalkan efek variabel eksternal. Rentang nilai L_1 dan L_2 ditentukan berdasarkan studi literatur yang relevan dan batasan desain komponen induktor dalam aplikasi praktis. Dalam setiap iterasi simulasi, nilai P_{out} dan η dicatat sebagai respons sistem terhadap nilai L_1 dan L_2 yang diatur. Pengambilan data dilakukan secara sistematis dengan interval nilai induktansi tertentu untuk memastikan cakupan data yang cukup dalam analisis statistik. Hasil dari setiap simulasi disimpan untuk dianalisis lebih lanjut. Model Simulasi yang digunakan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Skema rangkaian Zet Konverter yang diujikan

Data hasil pengukuran disajikan dalam Tabel 1, yang memberikan informasi rinci mengenai variabel yang diukur dalam penelitian ini. Tabel 1 tersebut memuat nilai-nilai penting yang mendukung analisis lebih lanjut dan interpretasi hasil, serta berfungsi sebagai acuan utama dalam pembahasan kinerja konverter

Tabel 1, Hasil Pengujian Zet Konverter.

No.	L1 (μ H)	L2 (μ H)	C1 (μ F)	C2 (μ F)	I _{L1}	I _{L2}	V _{C1}	V _{C2}	P _{In} (W)	V _O	I _O	P _{Out} Hitung	P _{Out} Ukur	Efisiensi
1	15	9,5	300	160	0,355	0,3361	12,05	11,93	69,92	11,93	5,424	64,708	64,72	92,563
2	15,5	10	310	170	0,2953	0,296	12,05	11,94	69,96	11,94	5,428	64,810	64,82	92,653
3	16	10,5	320	180	0,2539	0,2547	12,05	11,95	70	11,95	5,431	64,900	64,88	92,686
4	16,5	11,0	330	190	0,2292	0,2299	12,05	11,96	70,13	11,96	5,437	65,027	65,05	92,756
5	17	11,5	340	200	0,1897	0,1904	12,04	11,97	70,17	11,97	5,441	65,129	65,13	92,817
6	17,5	12,0	350	210	0,1685	0,1711	12,04	11,97	70,19	11,97	5,442	65,141	65,16	92,834
7	18	12,5	360	220	0,135	0,1386	12,05	11,98	70,23	11,98	5,444	65,219	65,21	92,852
8	18,5	13,0	370	230	0,1117	0,1175	12,04	11,98	70,32	11,98	5,447	65,255	65,28	92,833
9	19	13,5	380	240	0,1724	0,03937	12,01	11,98	70,27	11,98	5,448	65,267	65,29	92,913
10	19,5	14,0	390	250	0,3585	0,2292	12,06	11,97	70,18	11,97	5,44	65,117	65,1	92,761
11	20	14,5	400	260	0,2176	0,3699	12,06	11,98	70,32	11,98	5,446	65,243	65,25	92,790

2.3. Analisis Regresi Linear

Setelah data simulasi terkumpul, analisis regresi linear dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel independen L1 dan L2 dengan variabel dependen η dan Pout. Model regresi linear sederhana digunakan untuk memprediksi respons sistem dengan persamaan umum:

$$Kinerja = \beta_0 + \beta_1 \times L1 + \beta_2 \times L2 + \epsilon \quad (1)$$

Dengan:

Kinerja adalah variabel dependen yang mewakili η atau Pout β_0 adalah konstanta intercept, β_1 dan β_2 adalah koefisien regresi untuk L1 dan L2, ϵ adalah kesalahan residual.

Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik, seperti SPSS atau MATLAB, yang memungkinkan estimasi parameter regresi dan perhitungan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk mengevaluasi kecocokan model. Nilai R^2 digunakan untuk menentukan seberapa baik model regresi dapat menjelaskan variasi dalam data simulasi.

2.4. Evaluasi Model dan Interpretasi Hasil

Setelah model regresi linear dikembangkan, evaluasi model dilakukan untuk menilai signifikansi hubungan antara induktansi dan kinerja Zeta Converter. Nilai R^2 yang tinggi menunjukkan bahwa variasi dalam L1 dan L2 memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi dan daya keluaran. Selain itu, uji signifikansi statistik dilakukan untuk mengonfirmasi apakah koefisien regresi (β_1 dan β_2) signifikan pada tingkat kepercayaan tertentu. Hasil dari analisis regresi kemudian diinterpretasikan untuk menentukan apakah peningkatan nilai L1 atau L2 berdampak positif atau negatif terhadap efisiensi dan daya keluaran.

2.5. Penyusunan Model Prediksi

Sebagai bagian dari penelitian ini, model regresi linear yang dihasilkan digunakan sebagai model prediktif untuk memperkirakan efisiensi dan daya keluaran berdasarkan nilai induktansi L1 dan L2. Model prediktif ini diharapkan dapat menjadi alat bantu bagi perancang Zeta Converter dalam memilih nilai induktansi yang optimal, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan stabilitas daya keluaran. Selain itu, model ini memberikan dasar untuk pengembangan penelitian lebih lanjut yang dapat mempertimbangkan variabel lain, seperti kapasitansi dan frekuensi switching.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Hubungan antara Induktansi (L1, L2) dan Daya Keluaran (Pout)

Berdasarkan hasil analisis regresi linear, hubungan antara parameter induktansi L1, dan L2 dengan daya keluaran (Pout) dari Zeta Converter dapat direpresentasikan dengan persamaan regresi berikut:

$$Pout = 63.5858 + 0.0505 \times L1 + 0.0505 \times L2 \quad (2)$$

Dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.7670$, persamaan ini menunjukkan bahwa 76.7% dari variasi daya keluaran (Pout) dapat dijelaskan oleh variasi nilai induktansi L1 dan L2. Nilai R^2 yang relatif tinggi

menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara variabel independen (induktansi) dengan daya keluaran konverter. Dari persamaan tersebut, koefisien regresi sebesar 0.0505 untuk L1 dan L2 menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 μH pada nilai induktansi L1 atau L2 akan meningkatkan daya keluaran sebesar 0.0505 W. Peningkatan daya keluaran ini dihasilkan dari kapasitas penyimpanan energi yang lebih besar dalam induktor, yang memungkinkan transfer energi yang lebih stabil ke beban.

Grafik hasil regresi menunjukkan bahwa titik-titik data aktual (Pout) sebagian besar berada di sekitar garis prediksi, yang mengindikasikan bahwa model ini cukup akurat dalam memprediksi daya keluaran berdasarkan variasi induktansi. Namun, masih terdapat beberapa titik yang berada di luar garis prediksi, yang menunjukkan bahwa mungkin terdapat faktor lain di luar L1 dan L2 yang memengaruhi daya keluaran konverter.

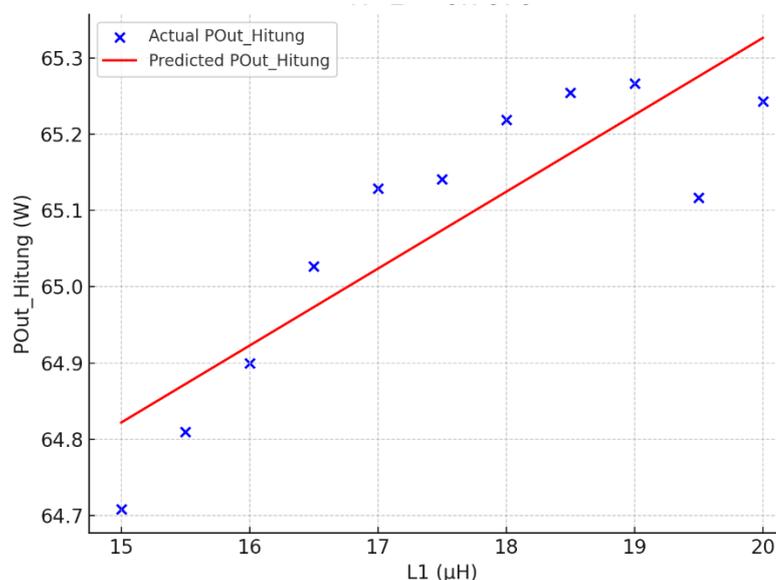
3.2. Analisis Hubungan antara Induktansi (L1, L2) dan Efisiensi (η)

Untuk hubungan antara induktansi (L1 dan L2) dan efisiensi (η), persamaan regresi yang dihasilkan adalah seperti pada grafik Gambar 3.

$$\eta = 92.1154 + 0.0222 \times L1 + 0.0222 \times L2 \quad (3)$$

Dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.5309$, model ini menunjukkan bahwa 53.09% dari variasi efisiensi dapat dijelaskan oleh perubahan nilai induktansi L1 dan L2. Nilai R^2 yang lebih rendah dibandingkan dengan model daya keluaran menunjukkan bahwa induktansi L1 dan L2 memiliki pengaruh yang lebih rendah terhadap efisiensi dibandingkan dengan pengaruhnya terhadap daya keluaran.

Koefisien regresi sebesar 0.0222 menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 μH pada L1 atau L2 akan meningkatkan efisiensi sebesar 0.0222%. Meskipun peningkatannya kecil, peningkatan ini menunjukkan bahwa nilai induktansi yang lebih tinggi memberikan efek positif terhadap efisiensi konverter. Hal ini dapat dijelaskan oleh penurunan harmonisa arus dan tegangan yang disebabkan oleh peningkatan kapasitas penyimpanan energi induktor, sehingga mengurangi rugi-rugi daya di dalam konverter.

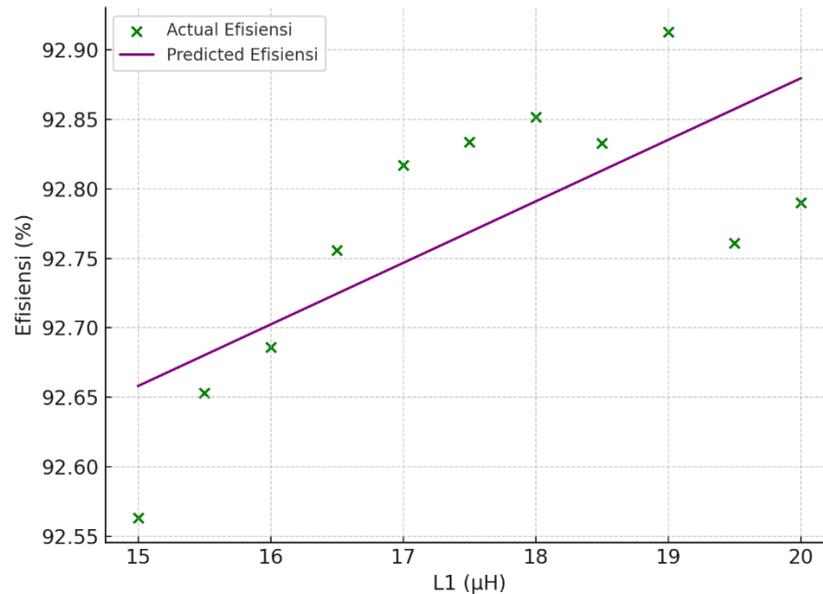


Gambar 3 Menunjukkan hubungan antara L1 dan L2 dari Zeta konverter

Berikut adalah persamaan korelasi antara L1 dan L2 terhadap output yang diukur pada Zeta dengan Parameter yang telah dioptimalkan $P=65\text{ W}$, $V_{in} = 17.5\text{ V}$, $F_s = 50\text{ kHz}$, $R = 2.2\text{ Ohm}$, Kontroler PI: $P=0,05$; $I=25,56$. Gambar 4 menunjukkan grafik hasil regresi menunjukkan adanya penyebaran data yang lebih luas di sekitar garis prediksi, yang mengindikasikan bahwa model regresi ini memiliki ketepatan yang lebih rendah dalam memprediksi efisiensi dibandingkan dengan prediksi daya keluaran. Hal ini mengindikasikan bahwa selain L1 dan L2, terdapat faktor lain yang turut mempengaruhi efisiensi, seperti kapasitansi, frekuensi switching, atau teknik modulasi PWM yang digunakan.

3. Interpretasi Hasil dan Implikasi Desain

Berdasarkan hasil analisis regresi linear, dapat disimpulkan bahwa parameter induktansi L1 dan L2 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya keluaran Zeta Converter, tetapi pengaruhnya terhadap efisiensi relatif lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa dalam desain Zeta Converter, penentuan nilai L1 dan L2 perlu diperhatikan untuk memaksimalkan daya keluaran, namun tidak cukup untuk mengoptimalkan efisiensi secara keseluruhan. Penggunaan nilai induktansi yang lebih tinggi dapat memberikan keuntungan dalam meningkatkan daya keluaran, tetapi untuk peningkatan efisiensi yang lebih signifikan, diperlukan optimasi parameter lain seperti kapasitansi dan strategi switching.



Gambar 4 Menunjukkan hubungan parameter dengan Efisiensi dari Zeta konverter

Selain itu, nilai R2 yang lebih rendah pada model efisiensi mengindikasikan bahwa regresi linear mungkin tidak sepenuhnya memadai untuk memprediksi efisiensi hanya berdasarkan parameter induktansi. Hal ini membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut yang dapat mengintegrasikan pendekatan statistik dengan faktor-faktor tambahan yang lebih kompleks, seperti analisis harmonisa atau pengaruh kapasitansi dalam topologi Zeta Converter.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan regresi linear memberikan model yang memadai untuk menganalisis hubungan antara induktansi dan kinerja Zeta Converter, terutama dalam memprediksi daya keluaran. Model ini dapat digunakan sebagai panduan awal bagi para perancang untuk memilih nilai induktansi yang optimal guna meningkatkan daya keluaran konverter. Namun, untuk meningkatkan akurasi prediksi efisiensi, perlu adanya pengembangan model yang lebih kompleks dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cheng, Tao. 2024. "Application of Power Electronics Converters in Renewable Energy." *Journal of Electronic Research and Application* 8(4): 101–7. doi:10.26689/jera.v8i4.7936.
- [2] Dehghan Banadaki, Ali, Farideh Doost Mohammadi, and Ali Feliachi. 2017. "State Space Modeling of Inverter Based Microgrids Considering Distributed Secondary Voltage Control." *2017 North American Power Symposium, NAPS 2017* (1). doi:10.1109/NAPS.2017.8107326.
- [3] Feng, Yiwei, and Zong Ma. 2022. "State-Space Modeling and Analysis for an Inverter-Based Intelligent Microgrid under Parametric Uncertainty." *Applied Sciences (Switzerland)* 12(23). doi:10.3390/app122312418.

- [4] Gupta, Ashutosh, and Dheeraj Joshi. 2024. "Mathematical Modeling and Stress-Aware Stability Analysis of a Nonideal Multiport Single Inductor DC–DC Converter for Renewable Energy." *International Journal of Circuit Theory and Applications* n/a(n/a). doi:<https://doi.org/10.1002/cta.4234>.
- [5] Incorporated, Texas Instruments. 2011. "Analog Applications Journal." *Texas Instruments Incorporated.*: 31.
- [6] M., K, S J Rubavathy, and S G. 2024. "Voltage Control in a ZETA Converter Compared with a DC-DC Converter by Varying Duty Cycle." In *2024 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)*, , 1–5. doi:10.1109/IITCEE59897.2024.10467858.
- [7] Niedermeier, F, J Krammer, and B Schmuelling. 2016. "A Linear Regression Based Method for Estimating Magnetic Parameters of Inductive Power Transfer Systems." In *2016 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)*, , 208–13. doi:10.1109/WoW.2016.7772093.
- [8] Oommen, Sujo, Electronics Engineering, Adithya Ballaji, Electronics Engineering, Burri Ankaiah, Electronics Engineering, and Electronics Engineering. 2019. "Zeta Converter Simulation For." 10(1): 243–48.
- [9] Sasikala, K., J. Jayakumar, A. Senthil Kumar, Shanty Chacko, and Hephzibah Jose Queen. 2022. "Regression Based Predictive Machine Learning Model for Pervasive Data Analysis in Power Systems." *International Journal of Electrical and Electronics Research* 10(3): 550–56. doi:10.37391/IJEER.100324.
- [10] Vuthchhay, E., and C. Bunlaksananusorn. 2010. "Modeling and Control of a Zeta Converter." *2010 International Power Electronics Conference - ECCE Asia -, IPEC 2010*: 612–19. doi:10.1109/IPEC.2010.5543332.
- [11] Wahyuni, Mila, I Ketut Wiryajati, and I Nyoman Wahyu Satiawan. 2024. "Analisis Dan Simulasi Boost Converter Berbasis Kontroler Konvensional Dengan Metode Persamaan Garis." *Action Research Literate* 8(5). doi:10.46799/ar.v8i5.332.
- [12] Wu, Tsai-fu, Senior Member, Shih-an Ljang, Student Member, Yaow-ming Chen, and National Chung. 2003. "Design Optimization for m m Etr ca i I ZVS- PVV M Rte R." 39(2)