



Analysis of the Use of a Zener Diode as a Voltage Regulator in a Zener Follower Circuit

Mukti Ali^{1*}, Andi Ulfah Khuzaimah², Muh. Syihab Ikbal³, Dian Fitrasari⁴

¹Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

²Universitas Tadulako

³Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

⁴Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

*Corresponding Address: mukti.ali@uin-alauddin.ac.id

Info Artikel	ABSTRAK
Riwayat artikel Dikirim: 25 Januari 2026 Direvisi : 30 April 2026 Diterima: 30 April 2026 Diterbitkan: 30 April 2026 Kata Kunci: Zener Follower Regulator tegangan, Dioda Zener, Transistor NPN	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja rangkaian Zener Follower sebagai regulator tegangan linier terhadap variasi tegangan masukan (V_{in}) pada konfigurasi hambatan beban lebih besar daripada hambatan seri ($R_L > R_S$). Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar. Komponen utama yang digunakan meliputi dioda Zener, transistor NPN, resistor seri 100 Ω, resistor beban 10 kΩ, power supply, dan multimeter digital. Variabel yang diamati terdiri atas tegangan masukan (V_{in}), tegangan Zener (V_z), tegangan keluaran (V_{out}), dan arus sumber (I_s). Pengambilan data dilakukan melalui pengukuran langsung pada empat variasi tegangan masukan, yaitu 2,59 V; 5,26 V; 7,94 V; dan 10,66 V. Data kemudian dianalisis secara deskriptif-komparatif berdasarkan teori regulator tegangan linier dan karakteristik dioda Zener. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan keluaran relatif stabil terhadap perubahan tegangan masukan dengan persentase deviasi antara tegangan keluaran aktual dan nilai teoritis berada pada kisaran 1%–7%. Selain itu, arus sumber meningkat seiring kenaikan tegangan masukan, yang menunjukkan bahwa rangkaian bekerja sesuai prinsip dasar elektronika. Stabilitas tegangan keluaran juga meningkat ketika dioda Zener bekerja pada kondisi breakdown yang optimal. Berdasarkan hasil tersebut, rangkaian Zener Follower terbukti efektif digunakan sebagai regulator tegangan sederhana yang stabil dan mudah diterapkan, khususnya dalam praktikum elektronika dasar dan pembelajaran sistem catu daya tegangan rendah.
	ABSTRACT <i>This study aims to analyze the performance of a Zener Follower circuit as a linear voltage regulator under varying input voltage (V_{in}) conditions using a configuration where the load resistance is greater than the series resistance ($R_L > R_S$). The research employed a laboratory experimental method conducted at the Electronics Laboratory of Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar. The main components used in this study were a Zener diode, an NPN transistor, a 100 Ω series resistor, a 10 kΩ load resistor, a power supply, and a digital multimeter. The observed variables included input voltage (V_{in}), Zener voltage (V_z), output voltage (V_{out}), and source current (I_s). Data were collected through direct measurements at four different input voltage variations, namely 2.59 V, 5.26 V, 7.94 V, and 10.66 V. The data were then analyzed descriptively and comparatively based on the theory of linear voltage regulators and the characteristics of Zener diodes. The results showed that the output voltage remained relatively stable against changes in input</i>

voltage, with the percentage deviation between the actual and theoretical output voltage ranging from 1% to 7%. In addition, the source current increased proportionally with the increase in input voltage, indicating that the circuit operated according to basic electronic principles. The stability of the output voltage also improved when the Zener diode operated in the optimal breakdown region. Based on these findings, the Zener Follower circuit is proven to be effective as a simple and stable voltage regulator, particularly for basic electronics laboratory practice and low-voltage power supply learning applications.

© 2026 The Author(s). Published by Physics Education, UIN Alauddin Makassar, Indonesia.

How to cite: Ali, M., Khuzaimah, A. U., & Ikbal, M. S. (2026). Analysis of the Use of a Zener Diode as a Voltage Regulator in a Zener Follower Circuit. *Al-Khazini: Jurnal Pendidikan Fisika*, 6(1). Retrieved from <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/alkhazini/article/view/64968>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap berbagai bidang kehidupan, seperti sistem komunikasi, perangkat medis, sistem kontrol otomatis, dan peralatan digital modern. Hampir seluruh perangkat elektronika membutuhkan sumber tegangan yang stabil agar dapat bekerja secara optimal. Ketidakstabilan tegangan dapat menyebabkan penurunan performa sistem, kesalahan kerja komponen, bahkan kerusakan pada perangkat elektronika yang sensitif. Oleh karena itu, sistem regulasi tegangan menjadi salah satu bagian penting dalam perancangan rangkaian elektronika, khususnya pada sistem catu daya bertegangan rendah.

Salah satu komponen yang banyak digunakan dalam sistem regulator tegangan adalah dioda Zener. Dioda Zener merupakan jenis dioda semikonduktor yang dirancang untuk bekerja pada kondisi bias balik (reverse bias) dan mampu mempertahankan tegangan tetap stabil pada nilai tertentu yang disebut tegangan breakdown atau tegangan Zener. Karakteristik tersebut membuat dioda Zener banyak dimanfaatkan sebagai referensi tegangan dan regulator sederhana pada berbagai rangkaian elektronika (Floyd, 2016). Selain memiliki konstruksi yang sederhana, penggunaan dioda Zener juga relatif ekonomis dan mudah diaplikasikan dalam pembelajaran elektronika dasar maupun praktikum laboratorium.

Dalam pengaplikasiannya, dioda Zener sering dikombinasikan dengan transistor untuk meningkatkan kemampuan regulasi arus dan kestabilan tegangan keluaran. Salah satu konfigurasi yang umum digunakan adalah rangkaian Zener Follower. Pada konfigurasi ini, transistor berfungsi sebagai buffer arus sehingga arus beban tidak langsung dibebankan pada dioda Zener. Dengan demikian, kestabilan tegangan keluaran dapat dipertahankan dengan lebih baik dibandingkan penggunaan dioda Zener secara langsung sebagai regulator tegangan (Prasetyo & Wibowo, 2018). Selain itu, rangkaian Zener Follower memiliki struktur yang sederhana sehingga mudah dipahami dan diterapkan dalam kegiatan praktikum elektronika dasar.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa performa regulator berbasis dioda Zener dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti variasi tegangan masukan, perubahan beban, toleransi resistor, serta karakteristik transistor yang digunakan. Penelitian oleh Yusuf (2020) menunjukkan bahwa kestabilan tegangan keluaran pada rangkaian Zener Follower dipengaruhi oleh pemilihan nilai resistor dan kondisi beban. Sementara itu, Wulandari (2021) menyatakan bahwa konfigurasi Zener Follower mampu menghasilkan tegangan keluaran yang relatif stabil

selama dioda Zener bekerja pada daerah breakdown. Penelitian lain juga menjelaskan bahwa penggunaan transistor pada regulator linier dapat meningkatkan kemampuan suplai arus terhadap beban tanpa mengurangi kestabilan tegangan referensi dari dioda Zener (Winarko, 2020).

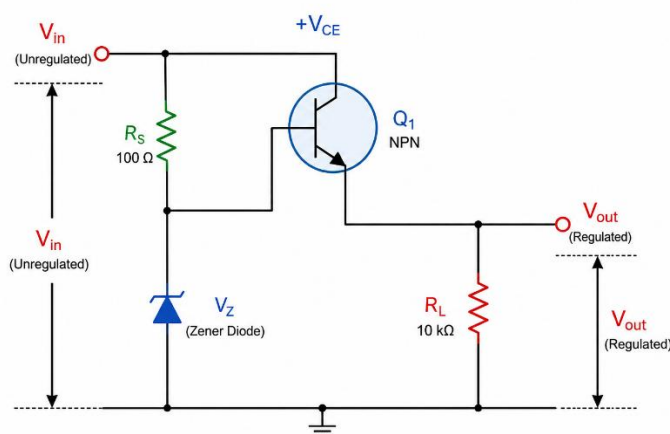
Meskipun penelitian mengenai dioda Zener telah banyak dilakukan, kajian mengenai performa rangkaian Zener Follower dalam konteks praktikum elektronika dasar masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada penggunaan dioda Zener sebagai komponen pendukung dalam sistem catu daya yang kompleks, sedangkan analisis eksperimental terhadap karakteristik tegangan keluaran, arus sumber, dan persentase deviasi tegangan pada konfigurasi Zener Follower masih belum banyak dibahas secara mendalam. Padahal, pemahaman mengenai karakteristik rangkaian ini sangat penting dalam pembelajaran elektronika karena berkaitan langsung dengan konsep regulator tegangan linier dan kerja transistor sebagai penguat arus.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja rangkaian Zener Follower sebagai regulator tegangan linier terhadap variasi tegangan masukan dengan konfigurasi hambatan beban lebih besar daripada hambatan seri ($R_L > R_S$). Analisis difokuskan pada hubungan antara tegangan masukan terhadap tegangan keluaran, arus sumber, dan persentase deviasi tegangan keluaran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik kerja rangkaian Zener Follower serta menjadi referensi dalam pengembangan pembelajaran elektronika dasar dan praktikum sistem catu daya tegangan rendah.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis karakteristik kerja rangkaian Zener Follower sebagai regulator tegangan linier. Desain penelitian yang digunakan adalah kuasi eksperimen dengan satu variabel bebas, yaitu variasi tegangan masukan (V_{in}). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi power supply DC, multimeter digital, breadboard, dan kabel penghubung. Adapun komponen utama yang digunakan terdiri atas dioda Zener, transistor NPN, resistor seri (R_S) sebesar $100\ \Omega$, dan resistor beban (R_L) sebesar $10\ k\Omega$. Konfigurasi rangkaian disusun dengan kondisi $R_L > R_S$ untuk mengamati kemampuan rangkaian dalam mempertahankan kestabilan tegangan keluaran.



Gambar 1. Skema Rangkaian Penelitian Zenner Follower

Skema rangkaian penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Rangkaian menggunakan konfigurasi Zener Follower, di mana dioda Zener berfungsi sebagai penstabil tegangan referensi dan transistor NPN berfungsi sebagai penguat arus (current buffer). Tegangan keluaran diambil pada terminal emitter transistor yang terhubung dengan resistor beban (R_L). Sementara itu, bentuk realisasi rangkaian penelitian yang digunakan dalam proses pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tegangan masukan (V_{in}), sedangkan variabel terikat meliputi tegangan Zener (V_Z), tegangan keluaran (V_{out}), dan arus sumber (I_S). Variabel kontrol yang dijaga konstan meliputi nilai resistor R_S dan R_L , jenis transistor dan dioda Zener yang digunakan, kondisi alat ukur, serta nilai tegangan basis–emitor transistor (V_{BE}) sebesar 0,5 V.

Prosedur penelitian diawali dengan merangkai seluruh komponen sesuai skema rangkaian Zener Follower pada Gambar 1. Setelah rangkaian selesai dirakit, dilakukan pengecekan koneksi untuk memastikan seluruh komponen terhubung dengan benar. Selanjutnya, tegangan masukan divariasikan pada empat level, yaitu 2,59 V; 5,26 V; 7,94 V; dan 10,66 V. Pada setiap variasi tegangan masukan dilakukan pengukuran terhadap tegangan Zener (V_Z), tegangan keluaran (V_{out}), dan arus sumber (I_S) menggunakan multimeter digital. Data hasil pengukuran kemudian dicatat dalam tabel pengamatan untuk dianalisis lebih lanjut.

Analisis data dilakukan secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap teori regulator tegangan linier dan karakteristik dioda Zener. Analisis difokuskan pada hubungan antara tegangan masukan (V_{in}) dengan tegangan keluaran (V_{out}) serta arus sumber (I_S). Selain itu, dilakukan perhitungan persentase deviasi antara tegangan keluaran aktual dan tegangan teoritis untuk mengetahui tingkat kestabilan dan keakuratan rangkaian. Hasil analisis selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan pembahasan untuk menjelaskan karakteristik kerja rangkaian Zener Follower sebagai regulator tegangan linier pada konfigurasi $R_L > R_S$.



Gambar 2. Rangkaian Penelitian Zenner Follower

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja rangkaian Zener Follower sebagai regulator tegangan linier dengan konfigurasi hambatan beban lebih besar daripada hambatan sumber ($R_L > R_S$). Pengujian difokuskan pada kemampuan rangkaian dalam mempertahankan kestabilan tegangan keluaran (V_{out}) terhadap variasi tegangan masukan (V_{in}). Tegangan basis–emitor transistor (V_{BE}) ditetapkan sebesar 0,5 V, sesuai karakteristik umum transistor NPN yang beroperasi pada daerah aktif.

Tabel 1. Pengukuran tegangan input dan tegangan keluaran jika $R_L > R_S$

No	V_{in} (V)	V_z (V)	V_{out} (V)	I_s (A)
1	2,59	2,96	2,77	0,0002
2	5,26	5,95	5,34	0,0005
3	7,94	8,75	7,72	0,0019
4	10,66	10,10	9,45	0,0035

Rangkaian yang diuji terdiri atas satu dioda Zener, satu transistor NPN, resistor seri $R_S = 100 \Omega$, dan resistor beban $R_L = 10 \text{ k}\Omega$. Konfigurasi ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa arus beban tidak langsung dibebankan pada dioda Zener, melainkan disuplai oleh transistor sebagai elemen penguat arus. Hasil pengukuran V_{in} , V_z , V_{out} , dan arus sumber (I_s) disajikan pada Tabel 1, sedangkan analisis deviasi tegangan keluaran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Data Hasil Penelitian % beda tegangan input dan keluaran pada *Zener follower*

No	I_s (A)	V_{out} (V)	% beda V_{out} (%)
1	0,0037	2,46	7
2	0,0069	5,45	2
3	0,0081	8,25	6
4	0,0056	9,6	1

Berdasarkan data pengukuran, terlihat bahwa peningkatan V_{in} menyebabkan peningkatan V_{out} secara hampir linier. Namun, nilai V_{out} selalu berada di bawah V_z . Hal ini menunjukkan bahwa tegangan keluaran mengikuti hubungan teoritis $V_{out} \approx V_z - V_{BE}$, di mana terdapat penurunan tegangan akibat sambungan basis–emitor transistor. Sebagai contoh, pada $V_{in} = 7,94 \text{ V}$ diperoleh $V_z = 8,75 \text{ V}$ dan $V_{out} = 7,72 \text{ V}$, sehingga terdapat selisih yang disebabkan oleh V_{BE} serta resistansi internal komponen dan toleransi alat ukur.

Analisis lebih lanjut terhadap selisih antara V_{out} hasil pengukuran dan nilai teoritis menunjukkan bahwa persentase deviasi berada pada rentang 1% hingga 7%, dan pada analisis lanjutan diperoleh deviasi maksimum sekitar 12,6% pada V_{in} rendah. Nilai deviasi terkecil terjadi pada V_{in} tertinggi, yaitu sekitar 1,56%, yang mengindikasikan bahwa kestabilan rangkaian meningkat ketika dioda Zener bekerja secara optimal di daerah breakdown.

Pembahasan

Hubungan Tegangan Masukan (V_{in}) terhadap Tegangan Keluaran (V_{out})

Grafik hubungan V_{in} terhadap V_{out} menunjukkan tren peningkatan yang konsisten, namun dengan gradien yang lebih kecil dibandingkan hubungan linier langsung. Hal ini

mengindikasikan bahwa perubahan V_{in} tidak sepenuhnya diteruskan ke V_{out} , melainkan dibatasi oleh tegangan referensi dioda Zener dan penurunan tegangan basis–emitor transistor. Karakteristik ini menegaskan fungsi rangkaian Zener Follower sebagai regulator tegangan, bukan sekadar pembagi tegangan.



Gambar 3: Grafik hubungan tegangan masukan (V_{in}) terhadap tegangan keluaran (V_{out})

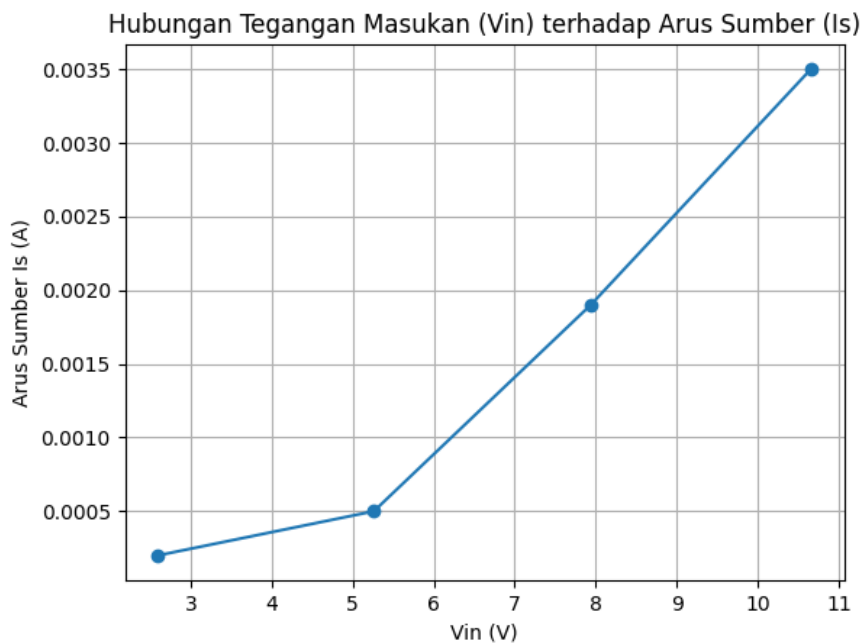
Grafik hubungan antara tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_{out}) menunjukkan bahwa V_{out} meningkat seiring dengan bertambahnya V_{in} . Namun, kenaikan V_{out} tidak bersifat linier sempurna terhadap V_{in} , melainkan mengikuti karakteristik rangkaian Zener Follower, di mana tegangan keluaran dikendalikan oleh tegangan Zener dan tegangan jatuh basis–emitor transistor.

Nilai V_{out} yang selalu berada di bawah V_{in} menunjukkan bahwa rangkaian tidak bekerja sebagai penguat tegangan, melainkan sebagai regulator tegangan linier. Ketika V_{in} meningkat, dioda Zener tetap mempertahankan tegangan referensi pada kondisi breakdown, sementara transistor berfungsi sebagai buffer arus untuk menyuplai beban. Hal ini menegaskan bahwa perubahan V_{in} yang cukup besar hanya menghasilkan perubahan V_{out} yang relatif terkendali, yang merupakan karakteristik utama regulator tegangan.

Hubungan Tegangan Masukan (V_{in}) terhadap Arus Sumber (I_s)

Grafik I_s terhadap V_{in} menunjukkan bahwa arus sumber meningkat seiring dengan bertambahnya V_{in} . Hal ini sesuai dengan hubungan:

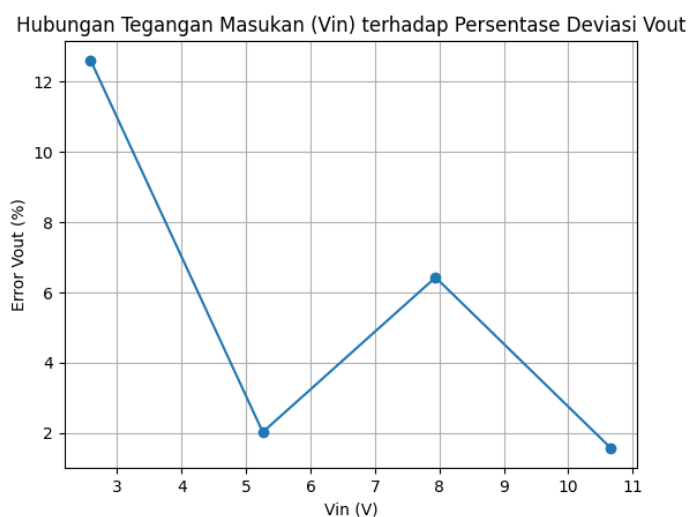
$$I_s = \left| \frac{V_{in} - V_z}{R_s} \right|$$

Gambar 4: Grafik Hubungan Tegangan (V_{in}) terhadap Arus Sumber (I_s)

Peningkatan I_s diperlukan untuk menjaga dioda Zener tetap berada pada daerah breakdown serta memastikan transistor dapat menyuplai arus beban. Selama arus yang mengalir masih berada dalam batas aman komponen, kestabilan tegangan keluaran tetap terjaga. Dengan demikian, grafik ini menunjukkan bahwa kestabilan V_{out} dicapai dengan konsekuensi peningkatan arus sumber.

Hubungan V_{in} terhadap Persentase Deviasi V_{out}

Grafik persentase deviasi V_{out} terhadap V_{in} menunjukkan bahwa error terbesar terjadi pada V_{in} rendah dan menurun secara signifikan pada V_{in} tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada V_{in} rendah, dioda Zener belum sepenuhnya berada pada kondisi breakdown stabil, sehingga tegangan referensi masih berfluktuasi. Ketika V_{in} meningkat, kestabilan V_{out} meningkat dan error relatif menurun.

Gambar 4: Grafik Hubungan Tegangan Masukan (V_{in}) terhadap dengan presentase Deviasi V_{out}

Ketidakpastian pengukuran dalam penelitian ini berasal dari resolusi alat ukur tegangan, toleransi resistor, serta variasi karakteristik komponen aktif. Ketidakpastian tegangan keluaran (ΔV_{out}) ditetapkan sebesar $\pm 0,05$ V berdasarkan resolusi voltmeter yang digunakan. Ketidakpastian arus (ΔI_s) dihitung berdasarkan toleransi resistor RS sebesar $\pm 5\%$.

Hasil analisis menunjukkan bahwa ketidakpastian relatif tegangan lebih besar pada V_{out} rendah dan semakin kecil pada V_{out} tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kesalahan pengukuran semakin berkurang ketika rangkaian bekerja pada kondisi V_{in} yang memadai. Ketidakpastian arus meningkat seiring dengan bertambahnya I_s , namun masih berada dalam batas yang dapat diterima dan tidak memengaruhi kesimpulan utama penelitian. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rangkaian Zener Follower dengan konfigurasi $RL > RS$ mampu menjaga kestabilan tegangan keluaran meskipun tegangan masukan mengalami variasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Prasetyo dan Wibowo (2018) serta Putra (2022) yang menyatakan bahwa regulator berbasis dioda Zener akan bekerja stabil selama dioda berada pada daerah breakdown dan beban tidak secara langsung membebani dioda.

Penelitian oleh Yusuf (2020) dan Wulandari (2021) juga melaporkan bahwa performa Zener Follower sangat dipengaruhi oleh pemilihan nilai RS dan RL. Konfigurasi RL yang jauh lebih besar dari RS terbukti efektif dalam meminimalkan pengaruh variasi beban terhadap tegangan keluaran. Selain itu, Winarko (2020) menunjukkan bahwa meskipun efisiensi regulator linier berbasis Zener lebih rendah dibandingkan IC regulator, rangkaian ini unggul dari sisi kesederhanaan dan kemudahan analisis, sehingga cocok digunakan sebagai media pembelajaran. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya konsisten dengan teori dan penelitian terdahulu, tetapi juga memperkuat bahwa Zener Follower merupakan model regulator tegangan linier sederhana yang efektif dan edukatif.

Secara keseluruhan, integrasi data pengukuran, analisis grafik, error bar, ketidakpastian kuantitatif, serta perbandingan dengan penelitian pendukung menunjukkan bahwa rangkaian Zener Follower bekerja stabil dan andal pada konfigurasi $RL > RS$. Transistor berfungsi efektif sebagai buffer arus, sementara dioda Zener mempertahankan tegangan referensi. Oleh karena itu, rangkaian ini layak digunakan baik sebagai sistem regulator tegangan linier sederhana maupun sebagai media praktikum elektronika untuk menjelaskan konsep regulasi tegangan, karakteristik dioda Zener, dan peran transistor dalam sistem catu daya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rangkaian Zener Follower dengan konfigurasi RL lebih besar dari RS mampu bekerja secara efektif sebagai regulator tegangan linier. Tegangan keluaran (V_{out}) yang dihasilkan tetap relatif stabil terhadap variasi tegangan masukan (V_{in}), dengan selisih yang konsisten terhadap tegangan zener (V_z) akibat adanya tegangan jepit basis-emitor (V_{BE}) pada transistor. Persentase deviasi antara tegangan output aktual dan teoritis berada dalam kisaran 1% hingga 7%, yang menunjukkan tingkat kestabilan dan keakuratan rangkaian masih berada dalam batas toleransi eksperimen. Peningkatan arus sumber yang proporsional terhadap kenaikan V_{in} juga memperkuat bukti bahwa sistem bekerja sesuai prinsip dasar kelistrikan dan elektronika daya rendah.

SARAN

Untuk meningkatkan performa dan akurasi rangkaian, disarankan agar penggunaan transistor mempertimbangkan jenis dengan karakteristik VBE yang lebih stabil atau mengaplikasikan konfigurasi Darlington untuk meningkatkan penguatan arus. Selain itu, penambahan kapasitor filter pada output dapat membantu meredam fluktuasi tegangan dan noise yang mungkin muncul. Penggunaan alat ukur digital dengan resolusi tinggi dan toleransi rendah juga sangat dianjurkan guna memperoleh data yang lebih presisi. Ke depan, penelitian serupa dapat dikembangkan dengan memvariasikan nilai beban RL atau mengintegrasikan sistem pengendali umpan balik untuk mengkaji lebih lanjut kestabilan dan respons dinamis rangkaian terhadap perubahan kondisi beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang, B. H., Sit, S., & Sari, R. S. (2025). *Elektronika semikonduktor: Dioda dan transistor*. Smart Global Nusantara.
- Basit, W. A., El-Ghanam, S. M., El-Masry, A. M. A., & Soliman, F. A. S. (2017). Performance of shunt voltage regulators based on Zener diodes at cryogenic temperatures. *Microelectronics Reliability*, 76–77, 526–531.
- Darmana, L. R. T. (2018). Perancangan rangkaian penguat daya dengan transistor. *Sutet*, 7(2), 88–92. <https://doi.org/10.33322/sutet.v7i2.81>
- Djukarna, D. (2025). *Buku elektronika dasar*. Unpar Press. https://fliphtml5.com/emvct/xhgy/buku_elektronika_dasar/
- Firmansyah, M. I., Suprianto, B., Kartini, U. T., & Joko, J. (2022). Kombinasi CD-ROM dan dioda Zener sebagai suplai energi listrik untuk LED 1,5 Volt. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 146–154. <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p146-154>
- Floyd, T. L. (2016). *Electronic devices* (10th ed.). Pearson Education.
- Hambley, A. R. (2019). *Electronics: Principles and applications* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Kurniawan, H., Izzuddin, A., & Wicaksono, I. (2020). Perbandingan tegangan keluaran sel surya berbahan dioda Zener dengan sel surya tipe monokristal berukuran 118×63 mm. *Energy: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 10(2). <https://doi.org/10.51747/energy.v10i2.1216>
- Liao, X., Guo, K., Xu, C., Liu, Y., Meng, F., Zhou, J., Ding, R., Li, J., Huang, K., & Yang, Y. (2025). Analysis and optimization of vertical NPN BJT for strong magnetic fields. *Micromachines*, 16(6), 671. <https://doi.org/10.3390/mi16060671>
- Mane, S. (2023). Zener diode: Theory, applications, and advancements. *International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM)*, 11(9).
- Miclaus, A., & Mercer, D. (2019). Zener diode regulator. *Analog Dialogue*, 53(4).
- Muda, I. (2013). *Elektronika dasar*. Gunung Samudera.

- Perkasa, D. B., Andromeda, T., & Riyadi, M. A. (2019). Perancangan perangkat keras alat uji Bipolar Junction Transistor berbasis mikrokontroler. *Transmisi*, 21(1), 19–24. <https://doi.org/10.14710/transmisi.21.1.19-24>
- Prasetyo, B., & Wibowo, S. (2018). Perancangan regulator tegangan menggunakan dioda Zener pada rangkaian catu daya. *Jurnal Elektro Terapan*, 2(1), 19–24.
- Putra, A. (2022). Analisis penggunaan dioda Zener dalam rangkaian regulator tegangan. *Jurnal Elektronika dan Instrumentasi*, 8(2), 45–53.
- Rahman, A., Sari, N., & Hidayat, D. (2018). Comparative analysis of voltage regulators using Zener diode and IC-based methods. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 65(4), 1245–1253. <https://doi.org/10.1109/TCAS.2018.2824367>
- Setiyo, M. (2017). *Listrik dan elektronika dasar otomotif*. Unimma Press.
- Sungkono, Kamajaya, L., Fitri, Hidayat, A. R., & Bryantono, A. A. (2023). Studi desain dan implementasi transistor curve tracer untuk analisis karakteristik transistor. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 10(2), 200–208. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i2.3014>
- Sutanto, R. (2016). Simulasi regulator tegangan berbasis dioda Zener dengan proteksi arus lebih. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 5(1), 33–38.
- Suwarto, D. (2015). Pengaruh variasi beban terhadap kestabilan tegangan output pada regulator berbasis dioda Zener. *Jurnal Energi Listrik*, 4(3), 21–26.
- Syahrul, H. (2020). Pemanfaatan dioda Zener sebagai stabilisator tegangan dalam perangkat elektronika rumah tangga. *Jurnal Ilmiah Teknologi Elektronika*, 6(1), 60–65.
- Tandioga, R., Yunus, M. Y., & Abadi, S. (2024). *Elektronika dasar: Dioda–transistor–tiristor*. Penerbit Adab.
- Van Niekerk, D., & Venter, J. (2024). Experimental approach for reliability analysis of medium-power Zener diodes under DC switching surge degradation. *Electronics*, 13(10), 1976. <https://doi.org/10.3390/electronics13101976>
- Wahyudi, M. (2021). Implementasi dioda Zener sebagai proteksi kelebihan tegangan pada power supply. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(2), 100–105.
- Widodo, E., & Gunawan, R. (2017). Desain sistem catu daya DC dengan regulator dioda Zener untuk mikrokontroler. *Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 4(3), 71–77.
- Winarko, H. (2020). Efisiensi regulator linier berbasis dioda Zener dibanding IC regulator 7805. *Jurnal Teknologi Elektronika*, 3(2), 84–89.
- Wirawan, D. A. (2019). Studi eksperimen penggunaan dioda Zener pada alat pengisi daya portable. *Jurnal Energi dan Sistem Elektronika*, 7(1), 55–61.
- Wulandari, S. (2021). Analisa simulasi Zener follower menggunakan Proteus dan LTSpice. *Jurnal Inovasi Teknologi*, 10(2), 122–128.

- Yan, X., Li, W., Islam, S. M., Pourang, K., Xing, H., Fay, P., & Jena, D. (2015). Polarization-induced Zener tunnel diodes in GaN/InGaN/GaN heterojunctions. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1508.05536>
- Yusuf, A. (2020). Analisis tegangan output Zener follower terhadap variasi beban. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, 8(2), 97–103.
- Zainuddin, F. (2022). Kajian teoritis dioda Zener dalam pengaturan tegangan output. *Jurnal Sistem Elektronik*, 6(1), 29–35.
- Zulfikar, M. (2019). Desain power supply dengan kombinasi Zener dan kapasitor filter. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 5(2), 40–46.