

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

Oleh:

Rizkiyah Dwi Putri¹

Raffi Muhammad Dzulfikran²

Abdul Aziz³

Muhammad Nur Hadi⁴

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Alamat: JL. Raya Palka No.Km.3, Sindangsari, Kec. Pabuaran, Kota Serang, Banten
(42163)

Korespondensi Penulis: putririzkiah325@gmail.com, raffidzul31@gmail.com,
abdulazisoleng@gmail.com, mn.hadi@untirta.ac.id

***Abstract.** This study aims to analyze the relationship between voltage, current, and resistance in series and parallel electrical circuits using two methods, namely real experiments and PhET simulations. The experiment was conducted using two 1.5 V batteries connected in series, resulting in a total voltage of 3 V. In the PhET simulation of the series circuit, three resistors of 1 Ω each were used, giving a total circuit resistance of 3 Ω . Based on calculations using Ohm's Law ($I = V/R$), a current of 1.00 A was obtained, and the simulation results showed the same value as the theoretical calculation. In the real experimental test of the series circuit, three resistors of 2 Ω each were used, resulting in a total resistance of 6 Ω . Theoretically, the resulting current was 1.00 A. In the PhET simulation of the parallel circuit using three 1 Ω resistors, a total current of 8.99 A was obtained with a measured voltage of 26.97 V. Meanwhile, in the real experiment, the total current obtained was 4.5 A with a voltage of 13.5 V. The differences between the simulation and experimental results indicate that the PhET simulation*

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

provides ideal conditions, while real experiments are influenced by environmental factors and component characteristics. Although there are differences in the values obtained, the pattern of the relationship between voltage, current, and resistance remains consistent with Ohm's Law. Therefore, PhET simulations and real experiments can complement each other

Keywords: *Series Circuit, Parallel Circuit, Ohm's Law, Phet Simulation, Electrical Experiment*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan pada rangkaian listrik seri dan paralel melalui dua metode, yaitu eksperimen nyata dan simulasi PhET. Pengujian dilakukan menggunakan dua baterai 1,5 V yang disusun seri sehingga menghasilkan tegangan total sebesar 3 V. Pada rangkaian seri simulasi PhET digunakan tiga resistor masing-masing 1 Ω sehingga hambatan total rangkaian sebesar 3 Ω . Berdasarkan perhitungan menggunakan Hukum Ohm ($I = V/R$), diperoleh arus sebesar 1,00 A dan hasil simulasi menunjukkan nilai yang sama dengan perhitungan teori. Pada pengujian rangkaian seri secara eksperimen nyata digunakan tiga resistor masing-masing 2 Ω sehingga hambatan total rangkaian menjadi 6 Ω . Secara teori, arus yang dihasilkan sebesar 1,00 A. Pada rangkaian paralel simulasi PhET dengan tiga resistor 1 Ω diperoleh arus total sebesar 8,99 A dengan tegangan terukur 26,97 V. Sementara itu, pada eksperimen nyata diperoleh arus total sebesar 4,5 A dengan tegangan 13,5 V. Selisih hasil antara simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa simulasi PhET memberikan kondisi ideal, sedangkan eksperimen nyata dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan komponen. Meskipun terdapat perbedaan nilai, pola hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan tetap sesuai dengan Hukum Ohm, sehingga simulasi PhET dan eksperimen nyata dapat saling melengkapi dalam pembelajaran rangkaian listrik. **Kata Kunci:** Rangkaian Seri, Rangkaian Paralel, Hukum Ohm, Simulasi Phet, Eksperimen Listrik

LATAR BELAKANG

Listrik merupakan salah satu konsep dasar yang sangat penting dalam bidang fisika dan teknik elektro. Pemahaman mengenai hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan menjadi fondasi utama dalam perancangan serta analisis berbagai sistem

kelistrikan. Konsep tersebut secara matematis dijelaskan melalui Hukum Ohm, yang menyatakan bahwa besar arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian sebanding dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan. Oleh karena itu, pemahaman yang baik terhadap prinsip ini sangat diperlukan, terutama dalam pembelajaran rangkaian listrik dasar.

Dalam pembelajaran rangkaian listrik, rangkaian seri dan paralel merupakan dua bentuk konfigurasi yang paling umum digunakan. Kedua jenis rangkaian tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal pembagian arus, tegangan, dan hambatan. Pada rangkaian seri, arus yang mengalir pada setiap komponen bernilai sama, sedangkan tegangan terbagi sesuai dengan besar hambatan. Sebaliknya, pada rangkaian paralel, tegangan pada setiap cabang bernilai sama, sedangkan arus terbagi sesuai dengan hambatan masing-masing cabang. Perbedaan karakteristik ini perlu dipahami secara konseptual dan praktis agar peserta didik tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu mengaplikasikannya.

Pembelajaran rangkaian listrik tidak hanya dilakukan melalui perhitungan teoritis, tetapi juga melalui eksperimen nyata di laboratorium. Eksperimen memungkinkan peserta didik untuk mengamati langsung fenomena listrik serta memahami pengaruh faktor fisik seperti toleransi komponen, hambatan kabel, dan keterbatasan alat ukur. Namun, keterbatasan fasilitas laboratorium serta risiko kesalahan pengukuran sering menjadi kendala dalam pelaksanaan praktikum.

Seiring perkembangan teknologi, penggunaan media pembelajaran berbasis simulasi, seperti PhET Interactive Simulations, menjadi alternatif yang efektif dalam membantu pemahaman konsep kelistrikan. Simulasi PhET mampu menampilkan kondisi rangkaian listrik secara visual dan interaktif dalam kondisi ideal, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan tanpa dipengaruhi oleh faktor eksternal. Oleh karena itu, simulasi PhET sering digunakan sebagai pendamping eksperimen nyata dalam pembelajaran fisika dan teknik.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan pada rangkaian seri dan paralel melalui perbandingan antara eksperimen nyata dan simulasi PhET. Dengan mengombinasikan kedua metode tersebut, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

mengenai karakteristik rangkaian listrik serta mengetahui sejauh mana simulasi PhET mampu merepresentasikan kondisi nyata di lapangan.

KAJIAN TEORITIS

Arus listrik adalah aliran muatan listrik dalam suatu rangkaian tertutup yang dipengaruhi oleh tegangan dan hambatan. Tegangan berfungsi sebagai gaya pendorong arus, sedangkan hambatan membatasi besar arus yang mengalir. Hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dijelaskan oleh Hukum Ohm, yaitu:

$$I = V/R$$

Pada rangkaian seri, arus yang mengalir pada setiap komponen bernilai sama, sedangkan hambatan total merupakan penjumlahan seluruh hambatan dan tegangan terbagi pada tiap resistor. Hambatan total rangkaian seri dirumuskan sebagai:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3$$

Pada rangkaian paralel, tegangan pada setiap cabang bernilai sama dengan tegangan sumber, sedangkan arus terbagi sesuai nilai hambatan masing-masing cabang. Hambatan total rangkaian paralel selalu lebih kecil dari hambatan terkecilnya dan dirumuskan sebagai:

$$1/R_{total} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

Simulasi PhET digunakan untuk memvisualisasikan rangkaian listrik dalam kondisi ideal, sedangkan eksperimen nyata menunjukkan pengaruh faktor fisik seperti toleransi komponen dan keterbatasan alat ukur. Penggunaan kedua metode ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap rangkaian seri dan paralel.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis perbedaan hasil pengukuran listrik antara eksperimen fisik dan simulasi PhET saat dilakukan penggantian nilai resistor dalam konfigurasi rangkaian seri dan paralel. Metode ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menilai seberapa besar

kesesuaian antara kondisi nyata dan simulasi digital, serta mengetahui faktor apa saja yang dapat menyebabkan perbedaan hasil.

Desain Penelitian:

Desain penelitian ini adalah eksperimen komparatif dua kondisi, yaitu:

1. Eksperimen Fisik

Eksperimen dilakukan menggunakan komponen elektronik nyata seperti kardus bekas, kabel jumper, resistor, solder, dan multimeter. Hasil dari pengukuran fisik dianggap sebagai hasil real-world yang mewakili kondisi nyata.

2. Simulasi Menggunakan PhET

Simulasi dilakukan menggunakan PhET Circuit Construction Kit: DC, sebuah platform simulasi yang menyediakan komponen listrik virtual. Seluruh rangkaian, nilai resistor, dan sumber tegangan disamakan dengan eksperimen fisik untuk menjaga validitas perbandingan.

Alat dan Bahan

1. Alat dan Bahan Eksperimen Fisik:

1. Kardus bekas
2. Kabel jumper
3. Resistor 1Ω , 1Ω , 1Ω , 2Ω (atau sesuai kebutuhan penelitian)
4. Solder untuk menyambungkan atau menyatukan komponen
5. Multimeter digital untuk mengukur arus dan tegangan
6. Baterai 1,5V

2. Alat pada Simulasi PhET

1. Aplikasi PhET Circuit Construction Kit: DC
 2. Resistor virtual dengan nilai yang sama seperti resistor fisik
 3. Voltmeter atau ammeter virtual
 4. Sumber tegangan virtual dengan nilai yang sama seperti pada eksperimen fisik
- Penggunaan alat yang sama dalam bentuk fisik dan digital dilakukan untuk menjaga konsistensi penelitian.

Prosedur Penelitian :

Prosedur dibagi menjadi tiga tahap utama: tahap persiapan, tahap eksperimen fisik, dan tahap simulasi.

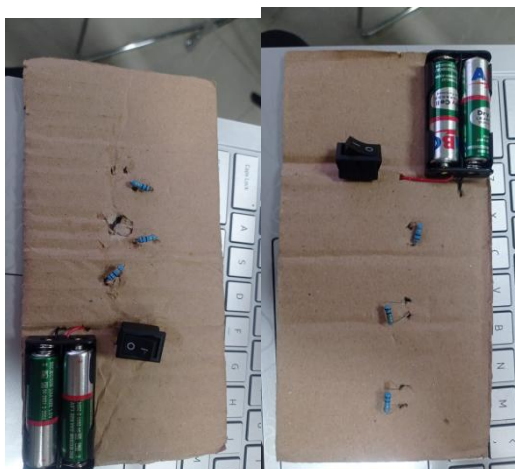
ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

Tahap Persiapan

1. Menentukan dua jenis konfigurasi rangkaian yang akan diuji:
 - Rangkaian seri
 - Rangkaian paralel
2. Memeriksa resistor secara manual menggunakan multimeter untuk memastikan nilai aktualnya sesuai dengan kode warna.
3. Menentukan besar tegangan yang akan digunakan, misalnya 1,5 V, dan memastikan bahwa tegangan tersebut akan digunakan pada kedua metode (fisik dan simulasi).
4. Menyusun rencana tabel data yang akan digunakan untuk mencatat hasil pengukuran arus dan tegangan secara sistematis.

Tahap Eksperimen Fisik

1. Menyusun rangkaian seri menggunakan resistor yang telah ditentukan.
2. Menghubungkan rangkaian ke catu daya DC
3. Mengukur
 - Arus total rangkaian
 - Tegangan pada setiap resistor Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital.
4. Mengulangi proses yang sama untuk rangkaian paralel.
5. Setiap rangkaian diukur tiga kali untuk mengurangi kesalahan acak dan meningkatkan reliabilitas.
6. Semua hasil dicatat dalam tabel pengamatan lengkap dengan satuan dan keterangan.



Gambar 1. Tampilan rangkaian seri-paralel dalam eksperimen langsung

Penelitian fisik ini memungkinkan pengamat melihat bagaimana kualitas sambungan, toleransi resistor, serta kondisi alat ukur dapat mempengaruhi hasil.

Tahap Simulasi Menggunakan PhET

1. Membuka aplikasi PhET dan memilih Circuit Construction Kit: DC.
2. Menyusun rangkaian seri dan paralel dengan konfigurasi yang identik dengan percobaan fisik.
3. Mengatur nilai resistor dan tegangan agar sepenuhnya sama dengan eksperimen nyata.
4. Menggunakan voltmeter dan ammeter virtual untuk mengukur arus dan tegangan.
5. Melakukan tiga kali pengukuran pada setiap rangkaian untuk menjaga konsistensi data.
6. Semua hasil dicatat dalam tabel data simulasi.



Gambar 2. Tampilan rangkaian seri-paralel dalam simulasi PhET

Keunggulan simulasi PhET adalah tidak adanya error fisik seperti kabel longgar, hambatan internal multimeter, atau toleransi resistor, sehingga hasil yang diperoleh lebih ideal.

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran fisik dan simulasi.

1. Perhitungan Resistansi total

Untuk rangkaian seri:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Untuk rangkaian paralel:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

2. Perhitungan Arus, Tegangan, dan Hambatan

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

Menggunakan hukum Ohm:

$$V = I \times R$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

Perhitungan ini digunakan sebagai pembandingan terhadap hasil fisik dan simulasi.

Analisis Deviasi

Deviasi digunakan untuk mengetahui perbedaan hasil antar metode:

$$\text{Deviasi (\%)} = \frac{|X_{\text{simulasi}} - X_{\text{eksperimen}}|}{X_{\text{eksperimen}}} \times 100\%$$

Nilai deviasi yang kecil menunjukkan bahwa simulasi PhET sangat mendekati kondisi nyata.

Interpretasi Hasil

Analisis dilakukan untuk:

- Menilai sejauh mana simulasi dapat merepresentasikan kondisi fisik.
- Menentukan faktor penyebab perbedaan, misalnya:
- Toleransi resistor
- Hambatan internal multimeter
- Kualitas sambungan pada kardus bekas
- Model ideal pada simulasi digital
- Menarik kesimpulan apakah PhET dapat digunakan sebagai alternatif praktikum nyata

Output yang Dihasilkan

Penelitian ini menghasilkan:

- Tabel perbandingan data (fisik vs simulasi)
- Perhitungan resistansi total
- Nilai arus teoretis
- Grafik hubungan tegangan–arus

- Analisis deviasi dan pembahasan
- Kesimpulan tentang akurasi simulasi PhET

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran pada rangkaian seri menunjukkan bahwa besar arus yang mengalir sangat dipengaruhi oleh nilai hambatan total rangkaian. Pada rangkaian seri, seluruh resistor tersusun dalam satu jalur sehingga hambatan total merupakan hasil penjumlahan semua resistor. Dengan menggunakan dua baterai masing-masing satu baterai bernilai 1,5 volt, tegangan total rangkaian menjadi 3 volt. Perhitungan arus dilakukan menggunakan rumus $I = V/R$, di mana V adalah tegangan sumber dan R adalah hambatan total rangkaian

Tabel 1. Hasil dan Perhitungan Rangkaian Seri (Simulasi PhET)

Keterangan	Nilai
Baterai	$1,5\text{ V} + 1,5\text{ V} = 3\text{V}$
Resistor	$1,0 + 1,0 + 1,0 = 3\text{ Ohm}$
Rt	$1 + 1 + 1 = 3\text{ Ohm}$
Tegangan	$1 + 1 + 1 = 3\text{ V}$
Hambatan	$3/1,00 = 3\text{ Ohm}$
Arus	$3/3 = 1,00\text{ A}$

Berdasarkan Tabel 1, simulasi PhET menunjukkan bahwa rangkaian seri dengan hambatan total $3\ \Omega$ menghasilkan arus sebesar $1,00\text{ A}$. Nilai ini sesuai dengan perhitungan teori, karena simulasi tidak dipengaruhi oleh hambatan kabel, sambungan, maupun ketidakstabilan sumber tegangan. Arus yang mengalir pada setiap resistor bernilai sama, sesuai dengan karakteristik rangkaian seri.

Percobaan selanjutnya dilakukan pada rangkaian seri secara eksperimen nyata. Pada percobaan ini digunakan tiga resistor dengan nilai masing-masing $2\ \Omega$ sehingga hambatan total rangkaian meningkat menjadi $6\ \Omega$. Tegangan sumber tetap sebesar 3 volt. Secara teori, peningkatan hambatan total seharusnya menyebabkan arus yang mengalir menjadi lebih kecil.

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

Tabel 2. Hasil dan Perhitungan Rangkaian Seri (Eksperimen)

Keterangan	Nilai
Baterai	$1,5 + 1,5 = 3 \text{ V}$
Resistor	$2 + 2 + 2 = 6 \text{ Ohm}$
Rt	$2 + 2 + 2 = 6 \text{ Ohm}$
Tegangan	$1,0 \text{ A} \times 6 \text{ V} = 6 \text{ Ohm}$
Hambatan	$6 \times 1,00 = 6 \text{ Ohm}$
Arus	$6/6 = 1,00 \text{ A}$

Dari hasil antara arus teori dan arus hasil pengukuran tidak ada perbedaan arus. Selain rangkaian seri, dilakukan juga pengamatan pada rangkaian paralel. Pada rangkaian paralel, tegangan pada setiap cabang bernilai sama, sedangkan arus terbagi sesuai dengan besar hambatan masing-masing cabang. Simulasi PhET digunakan untuk melihat perilaku rangkaian paralel secara ide

Tabel 3. Hasil dan Perhitungan Rangkaian Paralel (Simulasi PhET)

Resistor	$1,0 + 1,0 + 1,0 = 3 \text{ Ohm}$
Rt	$3/1 = 3 \text{ Ohm}$
Tegangan	$8,99 \text{ A} \times 3 \text{ Ohm} = 26,97 \text{ V}$
Hambatan	$26,97/ 8,99 = 3 \text{ Ohm}$
Arus	$26,97/3 = 8,99 \text{ A}$

Berdasarkan Tabel 3, rangkaian paralel pada simulasi menghasilkan arus total yang sangat besar, yaitu 8,99 A. Hal ini menunjukkan bahwa hambatan total rangkaian paralel lebih kecil dibandingkan rangkaian seri, sehingga arus yang mengalir menjadi lebih besar. Simulasi PhET kembali menunjukkan hasil yang stabil dan mendekati kondisi ideal.

Pengukuran rangkaian paralel kemudian dilakukan secara eksperimen nyata. Walaupun menggunakan susunan resistor dan sumber tegangan yang sama, hasil pengukuran menunjukkan nilai yang berbeda dibandingkan simulasi.

Tabel 4. Hasil dan Perhitungan Rangkaian Paralel (Eksperimen)

Keterangan	Nilai
Baterai	$1,5\text{ V} + 1,5\text{ V} = 3\text{ V}$
Resistor	$1,0 + 1,0 + 1,0 = 3\text{ Ohm}$
Rt	$3/1 = 3\text{ Ohm}$
Tegangan	$4,5\text{ A} \times 3\text{ Ohm} = 13,5\text{ V}$
Hambatan	$13,5 \times 4,5 = 3\text{ Ohm}$
Arus	$13,5/3 = 4,5\text{ A}$

Hasil eksperimen menunjukkan arus total sebesar 4,5 A, sedangkan pada simulasi arus mencapai 8,99 A. Dengan demikian, selisih arus antara simulasi dan eksperimen pada rangkaian paralel adalah sebesar $8,99\text{ A} - 4,5\text{ A} = 4,49\text{ A}$. Selisih ini cukup besar dan disebabkan oleh adanya hambatan tambahan dari kabel dan sambungan, keterbatasan alat ukur, serta ketidakstabilan sumber tegangan pada percobaan nyata. Meskipun nilai arus berbeda, karakteristik rangkaian paralel tetap terlihat, yaitu arus terbagi pada setiap cabang dan arus total merupakan penjumlahan arus dari masing-masing cabang.

Secara keseluruhan, hasil simulasi PhET dan eksperimen nyata menunjukkan pola perubahan yang sama baik pada rangkaian seri maupun paralel. Simulasi memberikan hasil yang lebih ideal dan stabil, sedangkan eksperimen nyata menunjukkan adanya selisih akibat faktor fisik. Perbandingan dan selisih nilai yang diperoleh dalam percobaan ini menunjukkan bahwa simulasi PhET dapat digunakan sebagai alat bantu pembelajaran, sementara eksperimen nyata tetap penting untuk memahami kondisi sebenarnya di lapangan.

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rangkaian listrik seri dan paralel memiliki karakteristik yang berbeda dalam hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan. Pada rangkaian seri, hambatan total merupakan penjumlahan seluruh resistor. Hasil simulasi PhET dan hasil eksperimen nyata menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan perhitungan teori menggunakan Hukum Ohm, Pada rangkaian paralel, tegangan pada setiap cabang bernilai sama, sedangkan arus terbagi sesuai dengan besar hambatan masing-masing cabang. Hasil simulasi PhET menghasilkan arus total yang lebih besar dibandingkan hasil eksperimen nyata. Selisih ini disebabkan oleh adanya hambatan tambahan pada kabel dan sambungan, toleransi nilai resistor, serta ketidakstabilan sumber tegangan dan alat ukur. Meskipun demikian, pola pembagian arus dan perubahan arus total tetap sesuai dengan teori rangkaian paralel.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar pengujian selanjutnya menggunakan komponen dengan toleransi yang lebih kecil serta alat ukur dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi untuk meminimalkan selisih hasil pengukuran. Selain itu, penggunaan simulasi PhET sebaiknya terus dipadukan dengan eksperimen nyata dalam kegiatan pembelajaran, karena simulasi membantu memahami konsep secara ideal, sedangkan eksperimen memberikan pengalaman langsung terhadap kondisi rangkaian sebenarnya. Serta eksperimen saling melengkapi simulasi memberikan kondisi ideal sementara eksperimen menunjukkan kondisi nyata. Penelitian ini diharapkan dapat membantu memahami perbedaan antara teori dan praktik dalam pembelajaran rangkaian listrik. Pengalaman nyata mengenai faktor-faktor fisik yang memengaruhi rangkaian. Hasil ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pembelajaran elektronika serta memperkuat pemahaman mahasiswa mengenai perbedaan teori dan praktik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dan kontribusi yang memungkinkan terselesaikannya penelitian kali ini. Selain itu, penulis menyampaikan terimakasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada Muhammad Nur Hadi S.T., M.T. selaku dosen mata kuliah Matematika Teknik atas bimbingan, arahan, dan masukan konstruktif yang diberikan selama proses pelaksanaan dan analisis

data proyek ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan pemahaman konse.

DAFTAR REFERENSI

- D. A. Putri et al., “Analisis hubungan tegangan dan arus dalam rangkaian seri dan paralel berdasarkan Hukum Ohm,” PHYDAGOGIC: Jurnal Fisika dan Pembelajarannya, 2023. [Online]. Available: <https://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/phy/article/view/4558>.
- R. P. Anindya et al., “Analisis arus dan tegangan pada rangkaian seri dan paralel berdasarkan Hukum Ohm,” PHYDAGOGIC: Jurnal Fisika dan Pembelajarannya, 2023. [Online]. Available: <https://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/phy/article/view/4575>
- A. Suhadi et al., “Analysis of series and parallel circuit based on virtual simulation using PhET,” in Proceedings of the International Conference on Education Research, 2024. [Online]. Available: <https://conference.uin-suka.ac.id/index.php/Pic/article/view/1448>
- D. M. Yuliana and H. N. Widyaryanti, “Analisa karakteristik arus dan tegangan pada rangkaian listrik seri dan paralel,” Media Soerjo, vol. 33, no. 1, pp. 1–8, 2023. [Online]. Available: <https://jurnalunsoer.com/index.php/media-Soerjo/article/view/28>
- N. C. Masruroh et al., “Application of PhET simulation to electrical circuits material in online learning,” Journal of Physics Education, 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/347220853>.
- F. K. Nisa et al., “Analisis pemahaman konsep rangkaian listrik seri dan paralel melalui praktikum sederhana,” Jurnal BELAINDIKA, 2025. [Online]. Available: <https://belaindika.nusaputra.ac.id/article/view/213>

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGANTIAN RESISTOR DALAM EKSPERIMEN RANGKAIAN LISTRIK DAN MENGGUNAKAN SIMULASI PHET

- I. Nurjaya, I. G. Ratnaya, and I. P. S. Arsa, “Pengembangan media pembelajaran rangkaian listrik seri dan paralel,” *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPTE/article/view/50336>
- D. T. Saputri et al., “Pengaruh tegangan terhadap besar arus listrik berbasis simulasi PhET,” *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.politeknikpratama.ac.id/index.php/jtmei/article/view/4843>
- M. Erfan et al., “Profil kemampuan pembedaan rangkaian seri dan paralel,” *EduSains: Jurnal Pendidikan Sains dan Matematika*, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.iain-palangkaraya.ac.id/index.php/edusains/article/view/1907>
- E. Fitriani et al., “Pengenalan rangkaian listrik seri dan paralel dalam pembelajaran,” *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Bina Darma*, vol. 3, no. 1, 2023. [Online]. Available: <https://journal.binadarma.ac.id/index.php/pengabdian/article/view/2386KIT>