

Evaluasi Akurasi Metode Arus Cabang Melalui Pendekatan Teoritis, Simulasi EWB, dan Pengukuran Eksperimental

Ariyen Duri^{1)*}, Martina Pineng²⁾, Martati³⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Kabupaten Tana Toraja, 91811, Indonesia

³Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Bontang, Kota Bontang, 75321, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: ariyen@ukitoraja.ac.id

Diterima 21 Agustus 2025; Disetujui 23 Oktober 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi metode analisis arus cabang melalui tiga pendekatan, yaitu perhitungan teoritis, simulasi menggunakan Electronics Workbench (EWB), dan pengukuran eksperimental menggunakan multimeter digital. Rangkaian uji yang digunakan terdiri atas dua sumber tegangan DC sebesar 10 V dan tiga resistor ($R_1 = 2200 \, \Omega$, $R_2 = 2200 \, \Omega$, $R_3 = 1000 \, \Omega$) yang membentuk dua loop dengan tiga cabang arus (I_1 , I_2 , I_3). Analisis teoritis dilakukan dengan menerapkan Hukum Kirchhoff Arus (KCL) dan Hukum Kirchhoff Tegangan (KVL), sedangkan simulasi dilakukan pada perangkat lunak EWB dengan konfigurasi yang sama. Hasil pengukuran langsung diperoleh melalui pemasangan multimeter secara seri pada setiap cabang. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai arus dari simulasi sangat mendekati perhitungan teoritis dengan error relatif maksimum sebesar 0.0084% dengan akurasi 99%. Sementara itu, hasil pengukuran eksperimental memiliki deviasi yang lebih besar dibandingkan simulasi, yaitu berkisar antara 1-2% dengan akurasi 97 - 98%. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa metode arus cabang menghasilkan hasil yang konsisten antara perhitungan teoritis dan simulasi, sementara hasil pengukuran eksperimental menunjukkan deviasi yang masih dalam batas wajar akibat faktor-faktor toleransi komponen, resistansi koneksi, dan akurasi alat ukur.

Kata kunci : Analisis Arus Cabang, Hukum Kirchhoff, Simulasi EWB, Error, Pengukuran Eksperimental

ABSTRACT

This study aims to evaluate the accuracy of the branch current analysis method through three approaches: theoretical calculation, simulation using Electronics Workbench (EWB), and experimental measurement using a digital multimeter. The test circuit consists of two 10 V DC voltage sources and three resistors ($R_1 = 2200 \, \Omega$, $R_2 = 2200 \, \Omega$, $R_3 = 1000 \, \Omega$) forming two loops with three branch currents (I_1 , I_2 , I_3). The theoretical analysis was performed by applying Kirchhoff's Current Law (KCL) and Kirchhoff's Voltage Law (KVL), while the simulation was conducted in EWB software with the same configuration. Direct measurements were obtained by connecting the multimeter in series with each branch.

The results show that the simulated current values closely match the theoretical calculations, with a maximum relative error of 0.0084% and an accuracy of 99%. Meanwhile, the experimental measurements exhibit larger deviations compared to the simulation, ranging from 1% to 2%, with accuracies between 97% and 98%. Overall, the study demonstrates that the branch current method produces consistent results between theoretical calculations and simulations, while the experimental measurements show deviations that remain within acceptable limits due to component tolerances, connection resistance, and instrument accuracy.

Keywords : Branch Current Analysis, Kirchhoff's Laws, EWB Simulation, Error, Experimental Measurement

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia modern. Penggunaannya tidak hanya terbatas pada penerangan, melainkan juga untuk peralatan rumah tangga, transportasi, serta kebutuhan industri (Duri, 2023). Oleh karena itu, pemahaman mengenai konsep dasar sistem kelistrikan menjadi hal penting, khususnya

dalam menganalisis perilaku arus listrik pada suatu rangkaian listrik.

Salah satu keterampilan dasar yang harus dipahami dalam mempelajari kelistrikan adalah kemampuan menganalisis suatu rangkaian listrik, khususnya dalam konteks pemahaman distribusi arus dan tegangan dalam sistem kelistrikan (Dermawanda Lase, 2025). Salah satu metode yang digunakan adalah metode

arus cabang. Metode ini memanfaatkan prinsip hukum Kirchhoff arus (KCL) dan hukum Kirchhoff tegangan (KVL) untuk menentukan nilai arus pada setiap cabang dalam sebuah jaringan listrik. Metode ini memberikan pendekatan sistematis dalam menyelesaikan rangkaian yang terdiri dari beberapa cabang dan menjadi dasar penting dalam perancangan dan analisis sistem elektronik, telekomunikasi, hingga sistem tenaga.

Seiring dengan perkembangan teknologi, sehingga rangkaian listrik menjadi sangat kompleks dengan menggabungkan kombinasi komponen dalam rangkaian seri dan paralel serta lebih dari satu sumber tegangan. Sehingga dibutuhkan metode analisis yang akurat, efisien, dan aplikatif. Penggunaan perangkat lunak simulasi seiring berkembangnya teknologi pendidikan, menjadi penunjang dalam proses pembelajaran dan eksperimen virtual. Simulasi memberikan kemudahan dalam visualisasi konsep dan perhitungan arus dalam rangkaian. Meskipun telah tersedia perangkat simulasi yang memudahkan analisis secara virtual, pemahaman analisis manual tetap menjadi kompetensi utama. Selain itu pemahaman mendalam terhadap konsep rangkaian tertutup dan terbuka sangat penting dalam menjamin keamanan dan keandalan sistem. Penelitian yang dilakukan oleh (Siti Nurhidayah, Didik Aribowo, 2020) menunjukkan bahwa simulasi mampu memberikan hasil yang mendekati hasil perhitungan teoritis. Perangkat simulasi yang bisa digunakan misalnya *Electronics Workbench* (EWB), simulasi ini sangat praktis dan mudah dalam pengaplikasiannya serta dapat meminimalisir kesalahan dalam merangkai rangkaian listrik (Hutagalung & Panjaitan, 2024).

Praktik pembelajaran dan implementasi, terkadang mengakibatkan kebingungan dalam menerapkan metode arus cabang secara benar, terutama saat dihadapkan pada rangkaian dengan elemen resistif yang beragam dan lebih dari satu sumber tegangan. Di sisi lain, hasil simulasi sering kali dianggap sebagai kebenaran absolut, meskipun terdapat perbedaan nyata antara teori, simulasi, dan pengukuran langsung yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti toleransi komponen, resistansi sambungan, hingga keterbatasan akurasi alat ukur.

Penelitian sebelumnya terkait penggunaan simulasi *Electronics Workbench* telah

dilakukan, untuk mengetahui keefektifan simulasi terhadap perhitungan secara teoritis. Misalnya penelitian oleh (Anugrah, 2023), menyatakan bahwa simulasi *Electronics Workbench* dapat diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran rangkaian listrik karena dapat membuktikan hasil analisis rangkaian listrik.

Hasil pengukuran eksperimental sering kali menunjukkan nilai arus yang sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil teori maupun simulasi. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti toleransi nilai resistor, resistansi sambungan, dan akurasi alat ukur yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada evaluasi akurasi metode analisis arus cabang melalui tiga pendekatan utama, yaitu perhitungan teoritis berdasarkan hukum Kirchhoff, simulasi menggunakan *Electronics Workbench* (EWB) dengan konfigurasi identik, dan pengukuran eksperimental menggunakan multimeter digital.

Analisis error yang sistematis pada rangkaian dengan dua sumber identik dan resistor simetris, serta pengamatan terhadap kontribusi relatif setiap faktor penyebab deviasi (seperti toleransi komponen, resistansi koneksi, dan akurasi alat ukur). Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih nyata mengenai akurasi metode arus cabang dalam menganalisis rangkaian bercabang. Penelitian ini menguji metode arus cabang pada rangkaian dengan dua sumber tegangan DC yang sama besar serta resistor dengan nilai simetris ($R_1 = R_2$) dan asimetris (R_3). Tujuan utamanya adalah menilai tingkat akurasi metode ini dalam kondisi yang terkontrol dan mengenali sumber-sumber kesalahan yang dapat terjadi.

2. KAJIAN LITERATUR

Rangkaian listrik adalah susunan elemen-elemen listrik seperti sumber tegangan, resistor, kapasitor, induktor yang dihubungkan sehingga memungkinkan aliran arus listrik (Jaya & Aponno, 2023). Rangkaian listrik dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu rangkaian tertutup (*closed circuit*) di mana arus dapat mengalir, dan rangkaian terbuka (*open circuit*) di mana arus tidak dapat mengalir karena terdapat celah.

Hukum dasar dalam rangkaian listrik yang digunakan dalam metode arus cabang adalah Hukum Kirchhoff Arus dan Hukum Kirchhoff

Tegangan (Handayani & Huda, 2024). Hukum Kirchhoff Arus (*Kirchhoff's Current Law/KCL*) didasarkan pada prinsip kekekalan muatan listrik, yang menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk ke suatu simpul dalam suatu rangkaian listrik sama dengan jumlah arus yang keluar dari simpul tersebut. Dituliskan dengan Persamaan 1.

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar} \quad (1)$$

Hukum Kirchhoff Tegangan (*Kirchhoff's Voltage Law/KVL*) didasarkan pada prinsip kekekalan energi, yang menyatakan jumlah total tegangan dalam suatu loop tertutup sama dengan nol (Vrbik, 2022). Dituliskan dengan Persamaan 2.

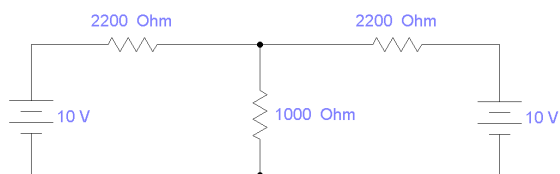
$$\sum V = 0 \quad (2)$$

Analisis arus cabang (*branch current analysis*) merupakan analisis rangkaian untuk menentukan besar arus listrik yang mengalir melalui setiap cabang dalam rangkaian listrik. Tujuan utama dalam analisis arus cabang adalah untuk menentukan besar arus yang mengalir pada setiap elemen dalam rangkaian, memahami distribusi arus dalam rangkaian kompleks, dan membantu mendeteksi gangguan atau kesalahan desain dalam sistem kelistrikan.

Metode yang digunakan adalah sebagai berikut: Hukum Kirchhoff Arus (KCL), digunakan untuk menyusun persamaan pada titik simpul. Hukum Kirchhoff Tegangan (KVL), digunakan untuk menyusun persamaan pada lintasan tertutup (loop).

3. METODE PENELITIAN

Rangkaian listrik yang digunakan terdiri atas dua loop dengan dua sumber tegangan dan tiga resistor. Skema rangkaian yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Rangkaian

Konfigurasi rangkaian seperti pada gambar 1, membentuk tiga cabang arus yang dianalisis, yaitu I_1 merupakan arus dari sumber 10 V mengalir melalui R_1 (2200 Ohm). I_2

merupakan arus dari sumber 10 V melalui R_2 (2200 Ohm). I_3 merupakan arus yang mengalir melalui resistor R_3 (1000 Ohm).

Penelitian dilakukan dengan tiga pendekatan, yaitu:

- Perhitungan Teoritis
 - Analisis arus cabang dilakukan dengan menggunakan hukum Kirchhoff Arus (KCL) dan Tegangan (KVL).
 - Sistem persamaan linear digunakan untuk menentukan nilai I_1 , I_2 , dan I_3 secara perhitungan.
 - Validasi dilakukan dengan menghitung tegangan jatuh pada setiap resistor untuk memastikan kesesuaian dengan hukum-hukum kelistrikan
- Simulasi dengan *Electronics Workbench* (EWB)
 - Rangkaian dengan konfigurasi dan nilai komponen yang sama disimulasikan pada software EWB.
 - Amperemeter virtual digunakan untuk membaca nilai arus pada setiap cabang.
 - Nilai arus simulasi dicatat sebagai hasil pembandingan
- Eksperimen pengukuran langsung menggunakan multimeter
 - Pengukuran arus dilakukan secara langsung menggunakan multimeter digital yang dipasang secara seri pada setiap cabang rangkaian.
 - Pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh data aktual dari kondisi nyata.
 - Hasil pengukuran mencerminkan pengaruh faktor-faktor fisik seperti toleransi komponen, resistansi koneksi, dan akurasi alat ukur.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil arus cabang yang diperoleh dari tiga pendekatan, yaitu perhitungan teoritis menggunakan hukum Kirchhoff, simulasi menggunakan EWB, dan pengukuran langsung menggunakan multimeter. Perbedaan hasil dari ketiga pendekatan tersebut dianalisis secara kuantitatif menggunakan rumus persentase *error relative* terhadap nilai teoritis sebagai acuan.

Nilai error simulasi terhadap teori dihitung menggunakan Persamaan 3, sedangkan error pengukuran terhadap teori dihitung menggunakan Persamaan 4. Selain itu, akurasi

metode dapat ditentukan dengan Persamaan 5. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut:
Error simulasi terhadap teori:

$$Error_{Simulasi} = \left(\frac{|I_{Simulasi} - I_{Teori}|}{I_{Teori}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Error pengukuran terhadap teori:

$$Error_{Peng} = \left(\frac{|I_{Pengukuran} - I_{Teori}|}{I_{Teori}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Akurasi metode:

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (5)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data arus cabang dari rangkaian listrik melalui tiga pendekatan, yaitu perhitungan teoritis, simulasi menggunakan EWB, dan pengukuran langsung menggunakan multimeter.

Perhitungan Teoritis

Berdasarkan Gambar 1, diketahui:

a. Data Rangkaian

$$E_1 = 10 \text{ V}$$

$$E_2 = 10 \text{ V}$$

$$R_1 = 2200 \, \Omega$$

$$R_2 = 2200 \, \Omega$$

$$R_3 = 1000 \, \Omega$$

b. Asumsi Arah Arus

Gunakan metode arus cabang:

I_1 : arus melalui E_1 melalui R_1 (kiri ke kanan)

I_2 : arus melalui E_2 melalui R_2 (kanan ke kiri)

I_3 : arus melalui R_3 (vertikal dari atas ke bawah)

Berdasarkan hukum Kirchhoff Arus (Handayani & Huda, 2024) maka didapatkan Persamaan 6.

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (6)$$

c. Persamaan Loop

Loop kiri (melewati E_1 , R_1 , R_3):

$$10 - 2200I_1 - 1000(I_1 + I_2) = 0$$

Maka didapatkan Persamaan 7.

$$3200I_1 + 1000I_2 = 10 \quad (7)$$

Loop kanan (melewati E_2 , R_2 , R_3) didapatkan Persamaan 8.

$$10 - 2200I_2 - 1000(I_1 + I_2) = 0$$

$$1000I_1 + 3200I_2 = 10 \quad (8)$$

d. Penyelesaian

Menyelesaikan persamaan dengan mengalikan Persamaan 7 dengan 1 dan kalikan Persamaan 8 dengan 3,2 sehingga mendapatkan Persamaan 9.

$$3200I_1 + 1000I_2 = 10 \quad (7)$$

$$3200I_1 + 10240I_2 = 32 \quad (9)$$

Dengan mengurangkan Persamaan 9 dengan persamaan 7 maka didapatkan

$$10240I_2 - 1000I_2 = 32 - 10 \rightarrow 9240I_2 = 22$$

$$I_2 = \frac{22}{9240} \approx 0.0023809 \text{ A} = 2.3809 \text{ mA}$$

Substitusi

$I_2 = 0.00238 \text{ mA}$ ke persamaan (7):

$$3200I_1 + 1000(0.00238) = 10$$

$$3200I_1 = 7.62$$

$$I_1 = \frac{7.62}{3200} \approx 0.00238125 \text{ A} = 2.3812 \text{ mA}$$

Maka, $I_1 + I_2 = I_3$ atau $I_3 = I_1 + I_2$

$$I_3 = 2.381 + 2.381 = 4.762 \text{ mA}$$

Sehingga didapatkan bahwa:

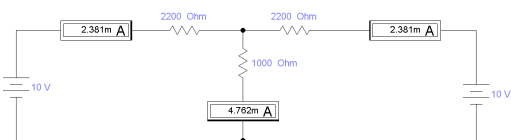
$$I_1 = 2.3809 \text{ mA}$$

$$I_2 = 2.3812 \text{ mA}$$

$$I_3 = 4.7621 \text{ mA}$$

Simulasi dengan Menggunakan Software EWB

Dilakukan simulasi rangkaian menggunakan EWB (*Electronics Workbench*) yang merepresentasikan kondisi nyata dari rangkaian listrik yang diuji. Hasil dari simulasi memberikan pembacaan arus ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Simulasi EWB

Berdasarkan Gambar 2, diketahui bahwa nilai masing-masing arus sebesar:

$$I_1 = 2.381 \text{ mA}$$

$$I_2 = 2.381 \text{ mA}$$

$$I_3 = 4.762 \text{ mA}$$

Pengukuran Langsung dengan Multimeter

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan multimeter secara seri pada setiap arus cabang. Arus pada cabang pertama (I_1), yang mengalir dari sumber 10 V melalui resistor 2200 Ω menunjukkan nilai arus sebesar 2.34 mA. Pada arus cabang kedua (I_2), yaitu arus dari sumber 10 V melalui resistor 2200 Ω menunjukkan nilai arus sebesar 2.33 mA. Dan, arus pada cabang ketiga (I_3) dengan resistor 1000 Ω menunjukkan nilai arus sebesar 4.66 mA.

Analisis Hasil

Dari data hasil pengukuran arus pada masing-masing cabang menggunakan tiga pendekatan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Arus

Arus	Teoritis (mA)	Simulasi EWB	Pengukuran (mA)
I_1	2.3812	2.381	2.34
I_2	2.3809	2.381	2.33
I_3	4.7621	4.762	4.66

Untuk mengetahui tingkat akurasi antara hasil perhitungan teoritis, hasil simulasi, dan hasil pengukuran, dilakukan analisis kuantitatif menggunakan rumus persentase *error* relatif dengan teori sebagai acuan utama. Nilai teoritis dianggap sebagai nilai ideal karena diperoleh dari perhitungan matematis berdasarkan hukum-hukum dasar rangkaian listrik seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perbandingan *Error* dan Akurasi

Arus	<i>Error</i> Sim-Teori (%)	Akurasi Simulasi (%)	<i>Error</i> Peng-Teori (%)	Akurasi Teori (%)
I_1	0.0084	99.9916	1.7302	98.2698
I_2	0.0042	99.9958	2.1378	97.8622
I_3	0.0021	99.9979	2.1440	98.8560

Berdasarkan data Tabel 2 di atas, hasil dari perhitungan teoritis dan simulasi EWB cukup akurat dan identik. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat lunak simulasi EWB mampu merepresentasikan hukum dasar rangkaian listrik (KVL dan KCL) secara presisi. Dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter memiliki selisih dibandingkan dengan perhitungan teori dan simulasi EWB. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti:

- Toleransi resistor, komponen resistor memiliki resistansi, misalnya $\pm 5\%$, sehingga resistansi bisa berbeda dari nilai

nominal. Sebagai estimasi, nilai resistansi R_1 dan R_2 yang masing-masing bernilai 2200 Ω dapat menyimpang hingga $\pm 110 \Omega$, sedangkan R_3 yang bernilai 1000 Ω dapat menyimpang hingga $\pm 50 \Omega$. Variasi ini secara teoritis dapat menyebabkan perubahan arus dengan deviasi pada orde yang sebanding dengan hasil pengukuran eksperimen, yaitu sekitar 1–3%. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil teori dan hasil eksperimen sangat mungkin disebabkan oleh toleransi komponen resistor dan faktor-faktor praktis dalam proses pengukuran.

- Alat ukur, multimeter memiliki batas akurasi yang menyebabkan selisih dalam pengukuran.
- Kontak sambungan, kabel yang kurang rapat bisa menambah resistansi.
- Efek lingkungan, suhu atau kondisi sekitar yang bisa memengaruhi pembacaan arus.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai arus cabang yang diperoleh melalui perhitungan teoritis dan simulasi menggunakan *Electronics Workbench* (EWB) sangat konsisten, dengan perbedaan yang tidak signifikan. Namun, sedikit perbedaan pada hasil pengukuran langsung menggunakan multimeter, yang masih berada dalam batas toleransi (Mustika et al., 2022).

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Jannah et al., 2024), yang menemukan bahwa hasil simulasi dengan TINA-TI memiliki tingkat akurasi tinggi dalam merepresentasikan rangkaian, meskipun terdapat perbedaan kecil dibandingkan dengan hasil eksperimen nyata. Penggunaan simulasi EWB juga diterapkan oleh (Kuron & Umboh, 2021) menunjukkan bahwa hasil EWB setara secara statistik dengan perhitungan teoritis.

Perbedaan hasil teoritis dan pengukuran langsung dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti toleransi komponen (Mustika et al., 2022), resistansi kontak, dan akurasi alat ukur. Penelitian oleh (Fuada et al., 2024) melakukan perbandingan dengan menggunakan Proto Circuit Android App, yang menunjukkan bahwa terdapat perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dan simulasi. Yang disebabkan faktor toleransi komponen, ketidaksempurnaan alat simulasi, dan faktor lain. Penelitian oleh (Noga, 2018) menekankan bahwa pentingnya penggunaan simulasi, karena memungkinkan untuk memahami

konsep-konsep dasar sebelum melakukan eksperimen nyata. Namun, meskipun simulasi menawarkan kemudahan dan efisiensi, pengukuran langsung tetap penting dilakukan untuk memvalidasi hasil dan memahami faktor-faktor praktis yang dapat mempengaruhi kinerja rangkaian.

Proses simulasi tidak mampu sepenuhnya merepresentasikan faktor-faktor fisik yang terjadi di dunia nyata, seperti adanya resistansi pada sambungan atau kabel penghubung, ketidakidealan sumber tegangan, serta perubahan nilai resistansi akibat pengaruh suhu. Simulasi sebagai alat bantu yang sangat efektif untuk menguji kebenaran konsep dan perhitungan teoritis, namun tidak dapat sepenuhnya menggantikan peranan eksperimen langsung. Dalam konteks ini, pendekatan menggunakan ketiga metode diantaranya perhitungan teoritis, simulasi dengan *Electronics Workbench* (EWB), dan pengukuran langsung menggunakan multimeter merupakan metode efektif untuk memastikan keakuratan dan keandalan analisis arus cabang. Pendekatan ini juga membantu dalam mengidentifikasi dan memahami kesalahan yang bisa terjadi dalam setiap metode.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan tiga pendekatan dalam menganalisis arus cabang pada rangkaian listrik, yaitu perhitungan teoritis, simulasi dengan *Electronics Workbench* (EWB), dan pengukuran langsung menggunakan multimeter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: perbandingan hasil perhitungan teoritis dan simulasi menunjukkan error yang sangat kecil ($0.0021\% - 0.0084\%$) dengan akurasi $\pm 99\%$. Hal ini membuktikan bahwa metode analisis arus cabang melalui hukum Kirchhoff dapat direpresentasikan dengan akurat menggunakan perangkat lunak *Electronics Workbench* (EWB). Hasil pengukuran eksperimental menunjukkan error yang lebih besar terhadap teori, yaitu berkisar antara $1.7302\% - 2.1440\%$ dengan akurasi $97 - 98\%$. Perbedaan ini disebabkan oleh faktor-faktor nyata seperti toleransi komponen resistor, resistansi koneksi, serta keterbatasan akurasi alat ukur.

6. REFERENSI

Anugrah, D. (2023). Penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada Metode

Analisis Rangkaian Listrik Menggunakan Simulasi Software Electronics Workbench. *JUPITER (Jurnal Pendidikan Teknik Elektro)*, 08, 47–57.

Dermawanda Lase, J. S. M. (2025). Analisis literatur tentang hukum kirchhoff dalam desain rangkaian listrik modern. *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan Dan Teknik*, 02(02), 15–21.

Duri, A. (2023). *Penerapan Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution pada Optimasi Ekonomis Pembangkit Listrik = The Application of Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution in the Economic Dispatch of Power Plants* [Universitas Hasanuddin]. https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/32355/2/D032202002_tesis_27-09-2023_bab_1-2.pdf

Fuada, S., Jannah, N. F., Zarkasyi, E. N., Hady, M. F., Cantika, R. I. N. A., & Nurizky, T. G. (2024). Analisis Rangkaian Mesh dengan Aplikasi Android Proto Circuit dan Pembuktiannya dengan Eksperimen Real. *Journal Of Electrical Engineering And Technology*, 5(1), 1–13.

Handayani, S., & Huda, D. N. (2024). Analisis Rangkaian Listrik Hukum Kirchhoff Menggunakan Solusi Simbolis di Matlab. *Remik: Riset Dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 8(2), 705–711.

Hutagalung, S. N., & Panjaitan, M. (2024). Pelatihan Rangkaian Listrik Dengan Menggunakan Software Electronic Workbench di SMA Negeri 14 Medan. *Jumas : Jurnal Masyarakat*, 03(1), 1–6.

Jannah, N. F., Fuada, S., Hasugian, L. P., & Heong, Y. M. (2024). Pemanfaatan Simulator TINA-TI Untuk Analisis Rangkaian Mesh dan Perbandingannya dengan Eksperimen Aktual. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 9(1), 8–16.

Jaya, G. W., & Aponno, S. V. (2023). Kajian Teori Arus Listrik dan Daya Listrik pada Rangkaian Resistor Seri dan Paralel Berdasarkan Jumlah Resistor yang Digunakan. *ORBITA. Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 9(1), 87–93.

Kuron, M., & Umbah, A. (2021). Pengaruh Virtualisasi Laboratorium Berbasis Electronics Workbench (EWB) pada Mata Kuliah Elektronika Dasar UNSRIT. *ORBITA. Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 7(1), 1–

7.
Mustika, R., Anam, M. K., & Abiyaksa, M. (2022). Analysis of Resistor Color Differences Against Resistance Values. *JEEE: Journal Of Educational Engineering and Environment*, 1(1), 31–33.
- Noga, K. M. (2018). The Simulation Laboratory Platform Based on Multisim for Electronic Engineering Education. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNALS AND ELECTRONIC SYSTEMS (ICSES)*, 269–274. <https://doi.org/10.1109/ICSES.2018.8507313>
- Siti Nurhidayah, Didik Aribowo, D. (2020). Penerapan Aplikasi Simulasi Electronic Workbench dan Proteus pada Materi Penerapan Rangkaian Elektronika bagi Siswa Kelas XI Teknik Elektronika Industri. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(2), 120–128.
- Vrbik, J. (2022). Solving Electrical Circuits via Graph Theory. *Applied Mathematics*, 13(1), 77–86. <https://doi.org/10.4236/am.2022.131007>