

Penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada Analisis Rangkaian Listrik Menggunakan Software Electronics Workbench

Dena Anugrah

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.31331/jsitee.v1i1.kodeartikel>

Info Articles

Sejarah Artikel:

Disubmit 10 Oktober 2022
Direvisi 11 Nopember 2022
Disetujui 30 Desember 2022

Keywords:

*Electrical Circuit Analysis;
Electronics Workbench;
Kirchhoff's Law; Ohm's Law*

Abstrak

Mata kuliah rangkaian listrik menuntut mahasiswa untuk berpikir analitis dalam memahami konteks permasalahan yang terdapat di dalam rangkaian listrik. Penggunaan rumus dengan proses perhitungan yang cukup panjang serta banyaknya persamaan matematis yang digunakan untuk menganalisis rangkaian listrik menjadikan mahasiswa merasa kesulitan dalam mempelajari mata kuliah rangkaian listrik. Untuk membantu proses berpikir analitis mahasiswa, maka penelitian ini bertujuan untuk menerapkan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada metode analisis rangkaian listrik yang dilakukan dengan menggunakan simulasi software Electronics Workbench. Metode penelitian yang digunakan yaitu studi analisis deskriptif yang terdiri dari studi literatur, analisis, simulasi, dan evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm dapat diaplikasikan untuk mempermudah dalam menganalisis suatu rangkaian listrik. Rangkaian listrik dapat dianalisis menggunakan metode analisis node dan metode analisis supernode. Metode analisis rangkaian listrik dapat disimulasikan menggunakan software Electronics Workbench yang berperan dalam membuktikan kebenaran dari hasil analisis yang sudah dilakukan sehingga dapat diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran.

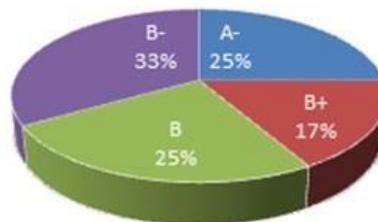
Abstract

Electrical circuit courses require students to think analytically in understanding the context of the problems contained in electrical circuits. The use of formulas with a long calculation process and the many mathematical equations used to analyze electrical circuits makes students find it difficult to study electrical circuits. To help students' analytical thinking processes, this study aims to apply Kirchhoff's Law and Ohm's Law to the electrical circuit analysis method which is carried out using the Electronics Workbench software simulation. The research method used is a descriptive analysis study consisting of literature studies, analysis, simulation, and evaluation. The results showed that the application of Kirchhoff's Law and Ohm's Law can be applied to make it easier to analyze an electric circuit. Electrical circuits can be analyzed using the node analysis method and the supernode analysis method. The electrical circuit analysis method can be simulated using the Electronics Workbench software which plays a role in proving the correctness of the results of the analysis that has been carried out so that it can be implemented in learning activities.

PENDAHULUAN

Rangkaian listrik merupakan salah satu mata kuliah dasar yang wajib ditempuh di semester 1 oleh mahasiswa Prodi Teknologi Rekayasa Elektro-medis Universitas PGRI Yogyakarta. Mata kuliah rangkaian listrik terdiri dari 1 sks teori dan 2 sks praktikum. Mata kuliah rangkaian listrik banyak membahas materi pembelajaran yang bersifat konseptual [1] seperti mempelajari tentang konsep dasar rangkaian listrik, hukum dasar rangkaian listrik, komponen rangkaian listrik, metode analisis rangkaian listrik, dan teorema rangkaian listrik. Mata kuliah rangkaian listrik menuntut mahasiswa untuk berpikir analitis dalam memahami konteks permasalahan yang terdapat di dalam rangkaian listrik. Selain itu, mahasiswa juga dituntut untuk teliti dalam menganalisis rangkaian listrik karena sering terjadi kesalahan dalam proses perhitungan [2]. Penggunaan rumus dengan proses perhitungan yang cukup panjang serta banyaknya persamaan matematis yang digunakan untuk menganalisis rangkaian listrik menjadikan mahasiswa merasa kesulitan dalam mempelajari mata kuliah rangkaian listrik.

Pada saat pandemi Covid-19, perkuliahan rangkaian listrik mengalami kesulitan karena proses pembelajarannya yang dilakukan secara daring sehingga kegiatan praktikum dilakukan secara virtual. Ketersediaan alat dan bahan juga menjadi kendala dalam perkuliahan rangkaian listrik. Selain itu latar belakang pendidikan mahasiswa yang beragam juga menjadi suatu tantangan besar untuk membelajarkan mahasiswa. Hal ini berimbas kepada hasil pembelajaran yang diperoleh mahasiswa. Berdasarkan hasil evaluasi pembelajaran untuk mata kuliah rangkaian listrik pada tahun ajaran 2020/2021 menunjukkan bahwa dari 12 mahasiswa, nilai B- paling banyak diperoleh mahasiswa dan belum ada satu pun mahasiswa yang memperoleh nilai A. Data nilai mata kuliah rangkaian listrik terdapat pada gambar 1.



Gambar 1. Nilai Mata Kuliah Rangkaian Listrik Mahasiswa Teknologi Rekayasa Elektro-medis UPY Angkatan 2020

Data pada gambar 1 menunjukkan bahwa mahasiswa merasa sulit ketika mempelajari mata kuliah rangkaian listrik. Buktinya belum adanya mahasiswa yang memperoleh nilai maksimum, meskipun seluruh mahasiswa dinyatakan lulus pada mata kuliah rangkaian listrik. Hal ini menjadi bahan evaluasi untuk memperbaiki kualitas hasil belajar mahasiswa yang tentunya diperlukan strategi khusus dalam menangani berbagai macam permasalahan yang terjadi, terutama pada saat proses pembelajaran yang dilakukan secara daring.

A. Analisis Rangkaian Listrik

Analisis rangkaian listrik merupakan suatu cara atau metode untuk membantu mahasiswa menyelesaikan suatu permasalahan dalam menganalisis rangkaian listrik. Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan untuk menganalisis rangkaian listrik, diantaranya yaitu analisis node dan analisis supernode. Node merupakan titik pertemuan dari dua atau lebih komponen pada rangkaian listrik [3].

Hal-hal yang perlu diperhatikan saat menganalisis rangkaian listrik menggunakan metode analisis node yaitu: 1) tentukan node referensi sebagai ground yang memiliki potensial sama dengan

nol; 2) tentukan tegangan node yang merupakan tegangan antara node nonreferensi dengan node referensi; serta 3) asumsikan tegangan node yang sedang dihitung memiliki nilai yang lebih tinggi daripada tegangan node manapun, sehingga arah arus akan keluar dari node tersebut [3].

Jika pada rangkaian listrik terdapat sumber tegangan, maka sumber tegangan tersebut berperan sebagai supernode atau menganggap sumber tegangan tersebut sebagai satu node. Hal-hal yang perlu diperhatikan saat menganalisis rangkaian listrik menggunakan metode analisis supernode yaitu: 1) tentukan node referensi sebagai ground yang memiliki potensial sama dengan nol; 2) tentukan tegangan node yang merupakan tegangan antara node nonreferensi dengan node referensi; 3) asumsikan tegangan node yang sedang dihitung memiliki nilai yang lebih tinggi daripada tegangan node manapun, sehingga arah arus akan keluar dari node tersebut; serta 4) anggap sumber tegangan pada rangkaian listrik sebagai satu node [3].

B. Hukum Kirchhoff

Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm sebagai hukum dasar rangkaian listrik dapat digunakan untuk menganalisis rangkaian listrik menggunakan metode analisis node dan analisis supernode [2]. Hukum Kirchhoff dikemukakan oleh Gustav Robert Kirchhoff. Hukum Kirchhoff terbagi menjadi dua, yaitu Hukum Kirchhoff 1 yang berisi tentang Kirchhoff Current Law (KCL) dan Hukum Kirchhoff 2 yang berisi tentang Kirchhoff Voltage Law (KVL) [4].

Hukum Kirchhoff 1 menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk melalui suatu titik percabangan (node) sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik percabangan (node) tersebut, atau bisa dikatakan pula bahwa jumlah seluruh arus pada suatu titik percabangan (node) sama dengan nol [5]. Secara matematis Hukum Kirchhoff 1 ditulis pada persamaan 1:

$$\sum I = 0 \tag{1}$$

Hukum Kirchhoff 2 menyatakan bahwa jumlah tegangan pada suatu rangkaian listrik yang tertutup sama dengan nol, atau bisa dikatakan pula bahwa penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk suatu rangkaian listrik yang tertutup akan bernilai sama dengan nol [5]. Secara matematis Hukum Kirchhoff 2 ditulis pada persamaan 2:

$$\sum V = 0 \tag{2}$$

Secara umum materi tentang Hukum Kirchhoff sudah dipahami oleh mahasiswa, namun kebanyakan dari mereka masih bingung untuk menerapkan hukum tersebut dalam konteks permasalahan rangkaian listrik. Mahasiswa sudah mengetahui persamaan matematis dari Hukum Kirchhoff, tetapi mereka belum bisa menerapkan hukum tersebut untuk menganalisis rangkaian listrik.

C. Hukum Ohm

Hukum Ohm dikemukakan oleh Georg Simon Ohm [4]. Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan yang melewati bahan pengantar berbanding lurus dengan arus yang mengalir melalui bahan tersebut [5]. Secara matematis Hukum Ohm ditulis pada persamaan 3:

$$V = I \cdot R \tag{3}$$

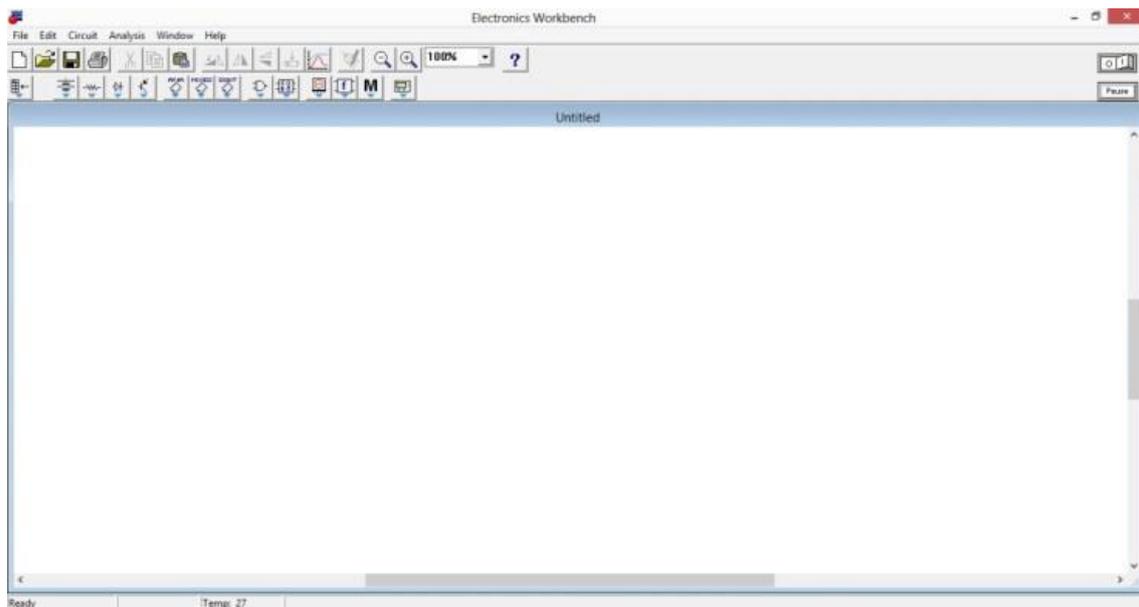
Secara umum materi tentang Hukum Ohm juga sudah dipahami oleh mahasiswa, namun kebanyakan dari mereka masih bingung untuk menerapkan hukum tersebut dalam konteks

permasalahan rangkaian listrik. Mahasiswa sudah mengetahui persamaan matematis dari Hukum Ohm, tetapi mereka belum bisa menerapkan hukum tersebut untuk menganalisis rangkaian listrik.

D. Electronics Workbench

Electronics Workbench merupakan suatu software elektronika yang bisa digunakan untuk mensimulasikan rangkaian listrik [6]. Dengan menggunakan Electronics Workbench, mahasiswa dapat belajar untuk merangkai rangkaian listrik dan melakukan simulasi secara virtual berbentuk animasi yang menarik serta memberikan gambaran cara kerja dari rangkaian listrik [7]. Selain itu, dengan menggunakan Electronics Workbench juga mahasiswa tidak perlu membeli komponen yang dibutuhkan untuk merangkai rangkaian listrik serta dapat mengurangi terjadinya kesalahan saat merangkai rangkaian listrik [8]. Electronics Workbench dapat digunakan dengan sangat mudah dan praktis, dimana semua komponennya akan ditampilkan pada lembar kerja berupa simbol elektronika dan diklasifikasikan berdasarkan jenisnya [9]. Electronics Workbench bisa di download secara gratis dan bisa juga dimanfaatkan untuk kegiatan pembelajaran [10]. Hal ini sangat mendukung proses pembelajaran yang dilakukan secara daring disaat kondisi pandemi Covid-19.

Electronics Workbench mampu memvisualisasikan konsep dasar dari dunia elektronika. Electronics Workbench menyediakan beberapa komponen yang tersaji secara virtual dan dapat dirangkai menjadi suatu rangkaian listrik [7]. Komponen tersebut dapat dirangkai menjadi suatu rangkaian listrik pada lembar kerja software Electronics Workbench seperti yang terdapat pada gambar 2.



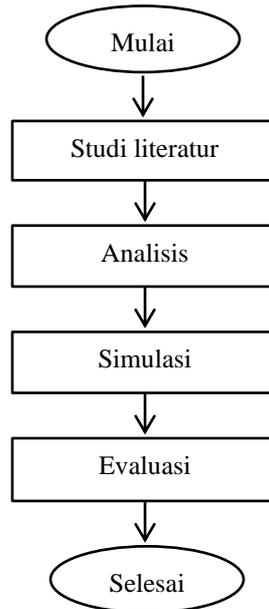
Gambar 2. Lembar Kerja Software Electronics Workbench

Penelitian terkait dengan penggunaan simulasi software Electronics Workbench sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian yang sudah dilakukan oleh Islahudin menyatakan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara pemanfaatan software Electronics Workbench sebagai laboratorium virtual terhadap pemahaman konsep elektronika dasar [7] serta dapat meningkatkan hasil belajar siswa [11]. Penelitian lainnya yang sudah dilakukan oleh Muhammad Zulfadhly menyatakan bahwa software Electronics Workbench dapat meningkatkan hasil belajar siswa pada mata pelajaran Dasar Listrik dan Elektronika [8]. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka

penelitian ini bertujuan untuk menerapkan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada metode analisis rangkaian listrik yang dilakukan dengan menggunakan simulasi software Electronics Workbench.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi analisis deskriptif terkait dengan penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada metode analisis rangkaian listrik menggunakan simulasi software Electronics Workbench. Penelitian ini dilakukan di Prodi Teknologi Rekayasa Elektro-medis Fakultas Sains dan Teknologi Universitas PGRI Yogyakarta. Proses pelaksanaan penelitian terdapat pada gambar 3.



Gambar 3. Proses Pelaksanaan Penelitian

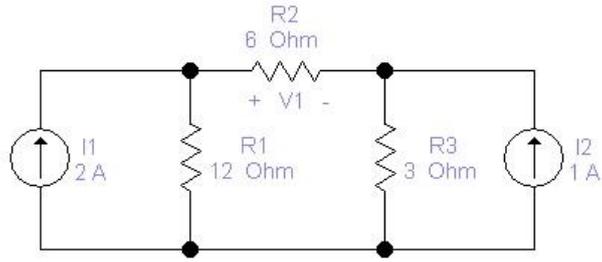
Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memperoleh informasi terkait dengan penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada metode analisis rangkaian listrik. Setelah informasi diperoleh, penelitian dilanjutkan dengan menganalisis rangkaian listrik menggunakan persamaan matematis. Hasil analisis tersebut disimulasikan menggunakan software Electronics Workbench. Penelitian ini diakhiri dengan melakukan evaluasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode analisis rangkaian listrik yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu metode analisis node dan metode analisis supernode. Kedua metode ini dipilih karena sering digunakan untuk menganalisis rangkaian listrik.

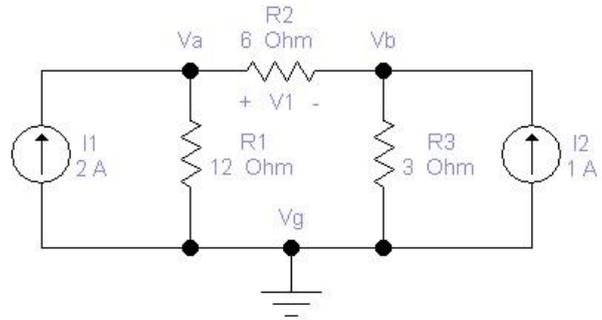
A. Metode Analisis Node

Metode analisis node dapat dilakukan ketika rangkaian listrik memiliki sumber arus dalam rangkaianannya seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Listrik dengan Sumber Arus

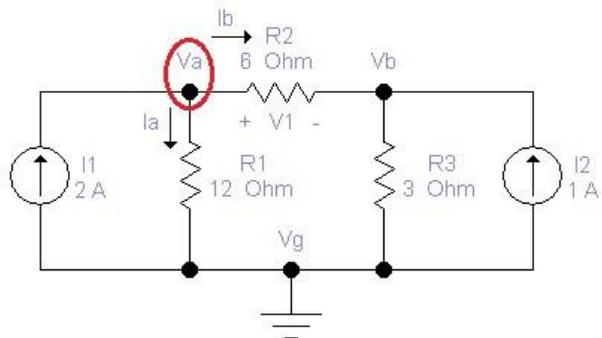
Untuk mendapatkan nilai V_1 pada gambar 4, maka dapat dilakukan dengan cara menentukan node ground (V_g) pada rangkaian listrik tersebut. Kemudian menentukan tegangan node (V_a dan V_b) pada rangkaian listrik tersebut seperti pada gambar 5. Selanjutnya mengasumsikan tegangan node yang sedang dihitung mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada tegangan node manapun, sehingga arah arus akan keluar dari node tersebut.



Gambar 5. Metode Analisis Node Pada Rangkaian Listrik

Hukum Kirchoff dan Hukum Ohm dapat diterapkan untuk menganalisis rangkaian listrik.

Analisis tegangan node V_a dengan menerapkan Hukum Kirchoff 1: $\sum I = 0$ seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Analisis Tegangan Node V_a Pada Rangkaian Listrik

$$I_a + I_b - I_1 = 0$$

Menerapkan Hukum Ohm: $I = \frac{V}{R}$

$$\frac{V_a - V_g}{R_1} + \frac{V_a - V_b}{R_2} - I_1 = 0$$

Karena $V_g = 0$, maka

$$\frac{V_a - 0}{12} + \frac{V_a - V_b}{6} - 2 = 0 \quad | \times 12$$

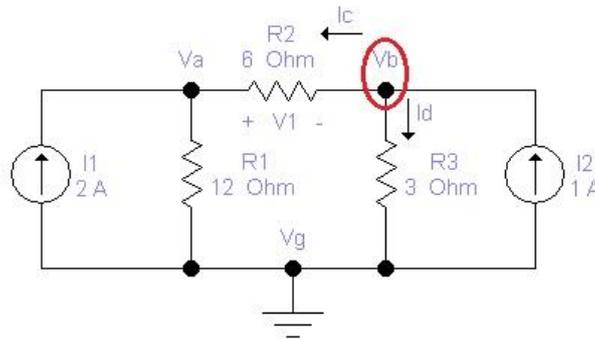
$$V_a + 2V_a - 2V_b - 24 = 0$$

$$3V_a - 2V_b - 24 = 0$$

$$3V_a - 2V_b = 24$$

(4)

Analisis tegangan node V_b dengan menerapkan Hukum Kirchoff 1: $\sum I = 0$ seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Analisis Tegangan Node V_b Pada Rangkaian Listrik

$$I_c + I_d - I_2 = 0$$

Menerapkan Hukum Ohm: $I = \frac{V}{R}$

$$\frac{V_b - V_a}{R_2} + \frac{V_b - V_g}{R_3} - I_2 = 0$$

Karena $V_g = 0$, maka

$$\frac{V_b - V_a}{6} + \frac{V_b - 0}{3} - 1 = 0 \quad | \times 6$$

$$V_b - V_a + 2V_b - 6 = 0$$

$$-V_a + 3V_b - 6 = 0$$

$$-V_a + 3V_b = 6$$

(5)

Eliminasi Persamaan (4) dan Persamaan (5)

$$3V_a - 2V_b = 24 \quad | \times 1 \quad \text{menjadi} \quad 3V_a - 2V_b = 24$$

$$-V_a + 3V_b = 6 \quad | \times 3 \quad \text{menjadi} \quad -3V_a + 9V_b = 18 \quad +$$

$$7V_b = 42$$

$$V_b = \frac{42}{7}$$

$$V_b = 6 \text{ V}$$

Substitusi nilai V_b ke Persamaan (4)

$$3V_a - 2V_b = 24$$

$$3V_a - 2(6) = 24$$

$$3V_a - 12 = 24$$

$$3V_a = 24 + 12$$

$$3V_a = 36$$

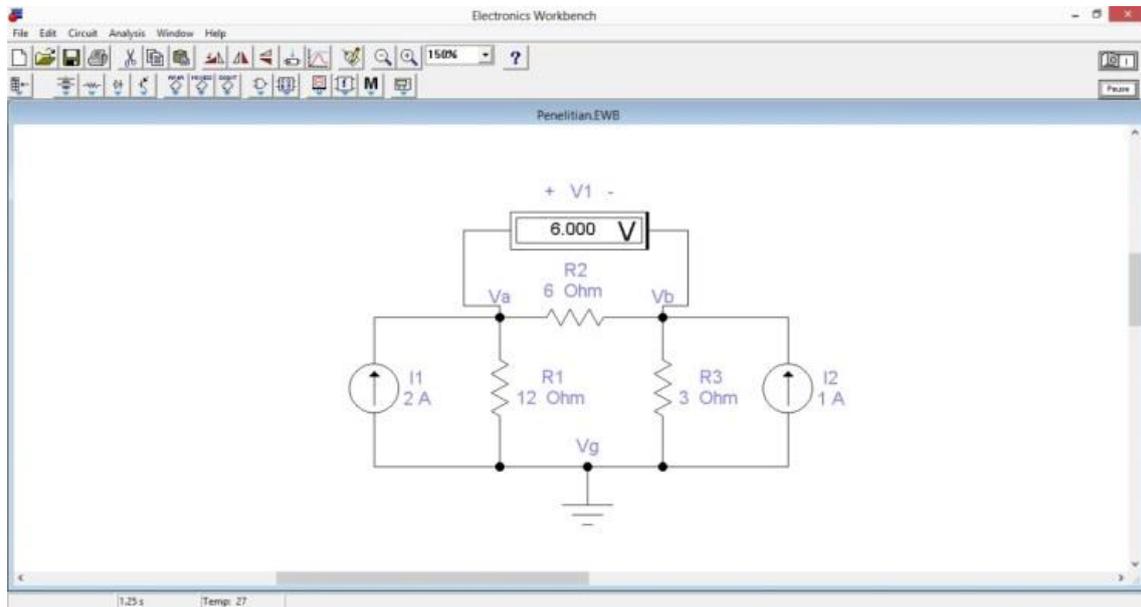
$$V_a = \frac{36}{3}$$

$$V_a = 12 \text{ V}$$

Nilai V_1 merupakan pengurangan dari nilai V_a dengan V_b

$$V_1 = V_a - V_b = 12 - 6 = 6 \text{ V}$$

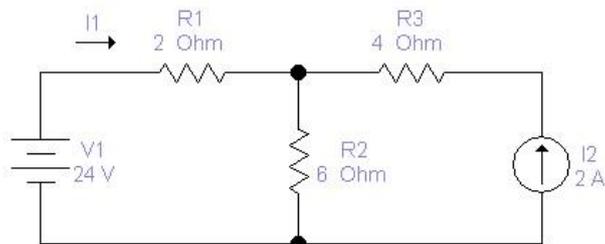
Hasil simulasi analisis node rangkaian listrik menggunakan software Electronics Workbench terdapat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil Simulasi Analisis Node Rangkaian Listrik Menggunakan Software Electronics Workbench

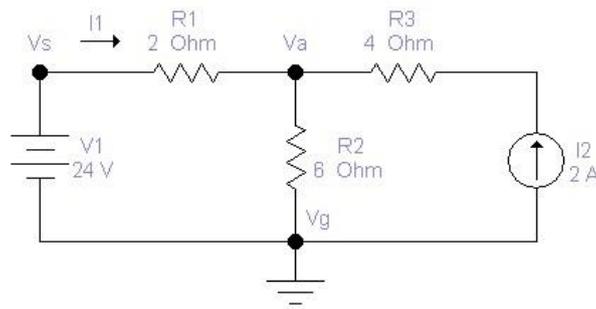
B. Metode Analisis Supernode

Metode analisis supernode dapat dilakukan ketika rangkaian listrik memiliki sumber arus dan sumber tegangan dalam rangkaiannya seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Listrik dengan Sumber Arus dan Sumber Tegangan

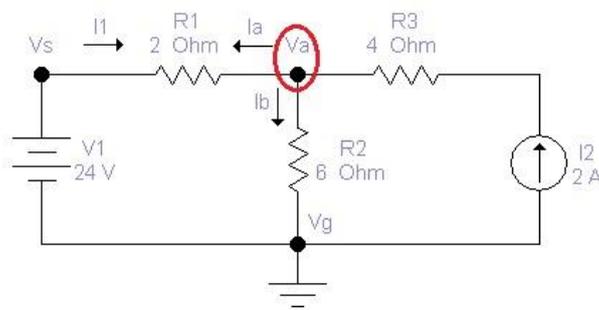
Untuk mendapatkan nilai I_1 pada gambar 9, maka dapat dilakukan dengan cara menentukan node ground (V_g) pada rangkaian listrik tersebut. Kemudian menentukan tegangan node (V_a) pada rangkaian listrik tersebut seperti pada gambar 10. Selanjutnya mengasumsikan tegangan node yang sedang dihitung mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada tegangan node manapun, sehingga arah arus akan keluar dari node tersebut. Lalu menentukan supernode (V_s) pada rangkaian listrik tersebut sebagai satu node.



Gambar 10. Metode Analisis Supernode pada Rangkaian Listrik

Hukum Kirchoff dan Hukum Ohm dapat diterapkan untuk menganalisis rangkaian listrik.

Analisis tegangan node Va dengan menerapkan Hukum Kirchoff 1: $\sum I = 0$ seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Analisis Tegangan Node Va pada Rangkaian Listrik

$$I_a + I_b - I_2 = 0$$

Menerapkan Hukum Ohm: $I = \frac{V}{R}$

$$\frac{V_a - V_s}{R_1} + \frac{V_a - V_g}{R_2} - I_2 = 0$$

Karena $V_s = 24$ dan $V_g = 0$, maka

$$\frac{V_a - 24}{2} + \frac{V_a - 0}{6} - 2 = 0 \quad | \times 6$$

$$3V_a - 72 + V_a - 12 = 0$$

$$4V_a - 84 = 0$$

$$4V_a = 84$$

$$V_a = \frac{84}{4}$$

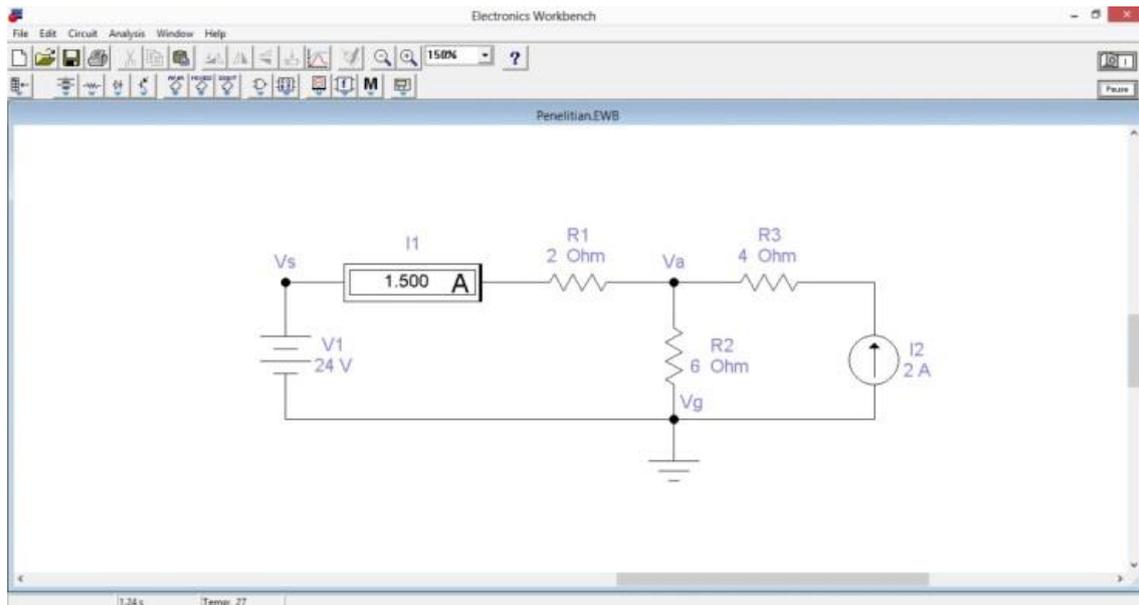
$$V_a = 21 \text{ V}$$

Nilai I_1 dapat dihitung dengan menerapkan Hukum Ohm:

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

$$I_1 = \frac{V_s - V_a}{R_1} = \frac{24 - 21}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ A}$$

Hasil simulasi analisis supernode rangkaian listrik menggunakan software Electronics Workbench terdapat pada gambar 12.



Gambar 12. Hasil Simulasi Analisis Supernode Rangkaian Listrik Menggunakan Software Electronics Workbench

Penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm menjadi dasar dalam menganalisis rangkaian listrik. Rangkaian listrik dapat dianalisis menggunakan metode analisis node dan metode analisis supernode. Sistem persamaan linear dua variabel dengan metode eliminasi dan substitusi juga digunakan untuk menyelesaikan persamaan rangkaian listrik. Metode eliminasi dapat menyelesaikan persamaan rangkaian listrik dengan cara menghilangkan salah satu variabel yang ada, sedangkan metode substitusi dapat menyelesaikan persamaan rangkaian listrik dengan cara memasukkan salah satu persamaan ke persamaan lainnya [12]. Penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm serta penggunaan sistem persamaan linear dua variabel dalam menganalisis rangkaian listrik disesuaikan dengan konteks rangkaiannya. Software Electronics Workbench berperan dalam melakukan simulasi dan membuktikan kebenaran dari hasil analisis rangkaian listrik yang telah dilakukan [8]. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada metode analisis rangkaian listrik menggunakan simulasi software Electronics Workbench dapat diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran.

SIMPULAN

Penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm dapat diaplikasikan untuk mempermudah dalam menganalisis rangkaian listrik. Rangkaian listrik yang dapat dianalisis dengan menerapkan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm yaitu metode analisis node dan metode analisis supernode. Metode analisis node dapat dilakukan ketika rangkaian listrik memiliki sumber arus dalam rangkaiannya. Metode analisis supernode dapat dilakukan ketika rangkaian listrik memiliki sumber arus dan sumber tegangan dalam rangkaiannya. Metode analisis rangkaian listrik tersebut dapat disimulasikan menggunakan software Electronics Workbench. Software ini dapat membuktikan kebenaran dari hasil analisis rangkaian listrik yang telah dilakukan sehingga dapat diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran.

Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm tidak hanya dapat diterapkan pada metode analisis node dan metode analisis supernode saja, tetapi dapat diterapkan pula pada metode analisis rangkaian listrik yang lainnya, sehingga diperlukan eksplorasi lebih jauh lagi terkait dengan penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm untuk menganalisis rangkaian listrik. Selain itu, metode eliminasi dan

substitusi hanya dapat menyelesaikan persamaan rangkaian listrik yang bersifat sederhana saja atau memiliki sedikit variabel, sehingga diperlukan metode lainnya yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan rangkaian listrik yang bersifat lebih kompleks atau memiliki banyak variabel. Untuk melatih keterampilan mahasiswa, penggunaan software simulasi elektronika yang lainnya juga diperlukan, mengingat software Electronics Workbench bukan satu-satunya software simulasi elektronika yang dapat digunakan untuk membuktikan hasil analisis rangkaian listrik. Berdasarkan hasil penelitian, kegiatan praktikum berbasis simulasi seperti ini perlu diterapkan dalam proses pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. T. P. Yanto, "Praktikalitas Media Pembelajaran Interaktif pada Proses Pembelajaran Rangkaian Listrik," *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 19, no. 1, pp. 75–82, Apr. 2019.
- [2] Nurullaeli, "Media Analisis Rangkaian Listrik Menggunakan Pendekatan Numerik Gauss-Jordan, Gauss-Seidel, dan Cramer," *Navig. Phys. J. Phys. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, Jun. 2020.
- [3] M. Ramdhani, *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga, 2008.
- [4] Wahyudi, "Analisis Hasil Belajar Mahasiswa pada Pokok Bahasan Hukum Ohm dan Kirchhoff dalam Matakuliah Elektronika Dasar I," *J. Pendidik. Fis. dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 129–134, Apr. 2015.
- [5] K. Anam and Y. Arnas, "Metoda Cramer untuk Solusi Analisa Rangkaian Listrik Menggunakan Scilab," *J. Ilm. Aviasi Langit Biru*, vol. 12, no. 1, pp. 61–68, Feb. 2019.
- [6] Mentari and J. B. Sinuraya, "Pengaruh Model Pembelajaran Inkuiri Berbantu Electronics Workbench Terhadap Hasil Belajar Fisika pada Materi Pokok Listrik Dinamis di Kelas X Semester II SMA Negeri 1 Binjai T.P. 2013/2014," *J. Inpaf*, vol. 3, no. 2, pp. 107–114, May 2015.
- [7] Islahudin and M. Isnaini, "Pemanfaatan Laboratorium Virtual Berbasis Software Electronics Workbench (EWB) untuk Menunjang Pemahaman Konsep Mahasiswa pada Mata Kuliah Elektronika Dasar I," *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 5, no. 2, pp. 96–100, Nov. 2019.
- [8] M. Zulfadhly and Hambali, "Penerapan Media Electronic Workbench Simulator pada Mata Pelajaran Dasar Listrik Elektronika di SMK N 5 Padang," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, pp. 352–360, Aug. 2020.
- [9] S. N. Hutagalung, A. Yanny, and S. A. Hutabarat, "Pelatihan Electronics Workbench (EWB) Dalam Pembelajaran Fisika Bagi Siswa/i di SMA Citra Harapan Percut," *J. Soc. Responsib. Proj.*, vol. 1, no. 1, pp. 9–11, Jul. 2020.
- [10] E. Yuni, Sulistyning, and A. Chandra, "Perbedaan Pengaruh Model Pembelajaran Discovery Learning dengan Inquiry Learning Berbasis Software EWB (Electronics Workbench) pada Mata Pelajaran Dasar Listrik dan Elektronika Terhadap Hasil Belajar Siswa," *JUPITER (Jurnal Pendidik. Tek. Elektro)*, vol. 4, no. 2, pp. 25–29, Sep. 2019.
- [11] Islahudin, S. Khaerani, and Zulkarnain, "Pemanfaatan Laboratorium Virtual Berbasis EWB (Electronics Workbench) Terhadap Peningkatan Hasil Belajar Fisika Siswa IPA Kelas XII IPA MA NW Darussalimin Sengkol, Batukliang Lombok Tengah Tahun Pelajaran 2018/2019," *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 4, no. 2, pp. 47–51, Nov. 2018.
- [12] Kristina, T. Willay, and W. Hutagaul, "Penerapan Metode Eliminasi dan Substitusi pada Rancangan Aplikasi Penyelesaian Sistem Persamaan Linier," *J. InTekSis*, vol. 7, no. 1, pp. 80–89, May 2020.