

Formulasi dan Penyelesaian Sistem Persamaan Linear Pada Analisis Arus Loop Rangkaian Listrik Menggunakan Metode Matriks

Ronauli Pasaribu¹, Juliana Sianturi², Tiara Natalia Siagian³, Susiana Panggabean⁴,
Revaldo Veri Tua Simanjuntak⁵, Abdul Muin Sibuea⁶,
Selly Annisa Binti Zulkarnain⁷

^{1, 2, 3, 4, 5}Mahasiswa Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Indonesia
^{6, 7}Dosen Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email : ironauli16@gmail.com, juliaanasianturi@gmail.com, tiaranataliasiangian@gmail.com,
susianna074@gmail.com, simanjuntakrevaldo70@gmail.com, abdulmuin@gmail.com, sellyannisa@gmail.com

Article Info

Article history:

Received March 09, 2026
Revised March 27, 2026
Accepted March 29, 2026

Keywords:

Formulation and Solution,
Linear Equation Systems, Loop
Current Analysis of Electrical
Circuits, Matrix Method.

ABSTRACT

The development of technology in the field of electrical engineering demands a fast, systematic, and accurate analysis method in solving various electrical circuit problems. The purpose of this study is to analyze and formulate a system of linear equations obtained from the analysis of loop currents in electrical circuits based on Kirchhoff's Laws and to represent the system of linear equations in matrix form ($AX = B$) systematically and structured. This research is a quantitative study with an analytical-mathematical approach. The quantitative approach is used because this research focuses on processing numerical data in the form of electrical circuit parameters, such as resistance, current, and voltage values, which are then analyzed using mathematical methods to obtain objective and measurable results. The calculation results show that the current value in each loop can be determined accurately, namely: 1, 4.15 A, 3.72 A, 2.60 A. A system of linear equations (SPL) can be formulated systematically from a multi-loop electrical circuit through the application of Kirchhoff's Laws, especially Kirchhoff's Voltage Law (KVL). Each loop in the circuit produces one interrelated linear equation.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received March 09, 2026
Revised March 27, 2026
Accepted March 29, 2026

Kata kunci:

Formulasi dan Penyelesaian,
Sistem Persamaan Linear,
Analisis Arus Loop Rangkaian
Listrik, Metode Matriks.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi di bidang teknik elektro menuntut adanya metode analisis yang cepat, sistematis, dan akurat dalam menyelesaikan berbagai permasalahan rangkaian listrik. Tujuan dari penelitian ini Untuk menganalisis dan merumuskan sistem persamaan linear yang diperoleh dari analisis arus loop pada rangkaian listrik berdasarkan Hukum Kirchhoff dan untuk merepresentasikan sistem persamaan linear ke dalam bentuk matriks ($AX = B$) secara sistematis dan terstruktur. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analitis-matematis. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini berfokus pada pengolahan data numerik berupa parameter rangkaian listrik, seperti nilai resistansi, arus, dan tegangan, yang kemudian dianalisis menggunakan metode matematis untuk memperoleh hasil yang objektif dan terukur. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai arus pada setiap loop dapat ditentukan dengan akurat, yaitu: $I_1 = 4.15 A$, $I_2 = 3.72 A$, $I_3 = 2.60 A$. Sistem persamaan linear (SPL) dapat diformulasikan secara sistematis dari rangkaian listrik multi-loop melalui penerapan Hukum Kirchhoff,



khususnya Kirchhoff Voltage Law (KVL). Setiap loop dalam rangkaian menghasilkan satu persamaan linear yang saling berkaitan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Ronauli Pasaribu¹
Universitas Negeri Medan, Indonesia
Email : ironauli16@gmail.com

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang teknik elektro menuntut adanya metode analisis yang cepat, sistematis, dan akurat dalam menyelesaikan berbagai permasalahan rangkaian listrik. Analisis rangkaian listrik merupakan salah satu kompetensi dasar yang harus dikuasai, karena berkaitan langsung dengan perancangan dan pengoperasian sistem kelistrikan. Dalam praktiknya, analisis rangkaian sering kali melibatkan hubungan antara arus, tegangan, dan hambatan yang dirumuskan melalui Hukum Kirchhoff, baik Kirchhoff Current Law (KCL) maupun Kirchhoff Voltage Law (KVL), yang secara matematis menghasilkan sistem persamaan linear (SPL).

Sistem persamaan linear merupakan representasi matematis yang sangat penting dalam analisis rangkaian listrik, karena mampu menggambarkan hubungan simultan antar variabel dalam suatu jaringan listrik. Menurut Sari dan Nugroho (2019), SPL yang dihasilkan dari penerapan Hukum Kirchhoff sering kali memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi, terutama pada rangkaian dengan banyak loop atau cabang. Kompleksitas tersebut menyebabkan metode penyelesaian konvensional seperti substitusi dan eliminasi sederhana menjadi kurang efisien dan rentan terhadap kesalahan perhitungan.

Seiring dengan perkembangan metode komputasi, pendekatan berbasis matriks menjadi salah satu solusi yang efektif dalam menyelesaikan sistem persamaan linear. Penelitian yang dilakukan oleh Anam (2017) menunjukkan bahwa penggunaan metode numerik berbasis matriks mampu meningkatkan efisiensi dan ketelitian dalam penyelesaian rangkaian listrik, terutama ketika jumlah variabel yang terlibat cukup banyak. Selain itu, Putra dan Kurniawan (2023) menyatakan bahwa representasi SPL dalam bentuk matriks memberikan struktur yang lebih sistematis, sehingga memudahkan proses analisis serta implementasi dalam perangkat lunak seperti MATLAB.

Meskipun demikian, berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan, seperti pada jurnal Media ElektriKA yang membahas analisis rangkaian multi-loop, Jurnal Matrik yang mengkaji metode Gauss–Jordan, serta jurnal Infotronik yang meneliti dekomposisi LU, masih ditemukan beberapa permasalahan yang belum sepenuhnya teratasi. Permasalahan tersebut antara lain meningkatnya kompleksitas SPL pada rangkaian multi-loop, belum adanya formulasi matriks yang terstruktur secara khusus pada metode arus loop, serta kurangnya integrasi antara konsep aljabar linear dengan analisis rangkaian listrik secara komprehensif.

Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada metode penyelesaian SPL, seperti eliminasi Gauss, Gauss–Jordan, atau metode numerik lainnya, tanpa mengkaji secara mendalam proses formulasi model matematis dari rangkaian listrik ke dalam bentuk

matriks. Padahal, tahap formulasi ini merupakan langkah krusial yang menentukan keakuratan dan kemudahan dalam proses penyelesaian.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu kajian yang lebih komprehensif mengenai bagaimana sistem persamaan linear yang berasal dari analisis arus loop dapat diformulasikan secara sistematis ke dalam bentuk matriks, serta bagaimana metode matriks dapat digunakan untuk menyelesaikan sistem tersebut secara efektif. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada formulasi dan penyelesaian sistem persamaan linear dalam analisis arus loop rangkaian listrik menggunakan metode matriks, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode analisis yang lebih terstruktur, efisien, dan aplikatif dalam bidang teknik elektro.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada aspek formulasi matematis dan penyelesaian sistem persamaan linear dalam analisis arus loop rangkaian listrik. Adapun rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut: 1) Bagaimana proses formulasi sistem persamaan linear yang diperoleh dari analisis arus loop pada rangkaian listrik berdasarkan Hukum Kirchhoff, 2) Bagaimana cara merepresentasikan sistem persamaan linear tersebut ke dalam bentuk matriks ($AX = B$) secara sistematis dan terstruktur, 3) Bagaimana langkah-langkah penyelesaian sistem persamaan linear menggunakan metode matriks, khususnya metode eliminasi Gauss, Gauss-Jordan, dan invers matriks, 4) Bagaimana perbandingan efektivitas dan efisiensi metode-metode matriks dalam menyelesaikan sistem persamaan linear pada rangkaian listrik multi-loop, 5) Bagaimana interpretasi solusi yang diperoleh dari metode matriks terhadap nilai arus loop dalam rangkaian listrik, 6) Bagaimana hubungan antara struktur matriks koefisien dengan karakteristik fisik rangkaian listrik yang dianalisis.

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Untuk menganalisis dan merumuskan sistem persamaan linear yang diperoleh dari analisis arus loop pada rangkaian listrik berdasarkan Hukum Kirchhoff. 2) Untuk merepresentasikan sistem persamaan linear ke dalam bentuk matriks ($AX = B$) secara sistematis dan terstruktur. 3) Untuk menentukan langkah-langkah penyelesaian sistem persamaan linear menggunakan metode matriks, khususnya metode eliminasi Gauss, Gauss-Jordan, dan invers matriks. 4) Untuk menganalisis dan membandingkan efektivitas serta efisiensi metode-metode matriks dalam menyelesaikan sistem persamaan linear pada rangkaian listrik multi-loop. 5) Untuk menginterpretasikan hasil penyelesaian sistem persamaan linear dalam bentuk nilai arus loop pada rangkaian listrik. 6) Untuk menganalisis hubungan antara struktur matriks koefisien dengan karakteristik fisik rangkaian listrik yang dianalisis.

KAJIAN TEORI

1. Sistem Persamaan Linear (SPL)

Sistem persamaan linear (SPL) merupakan sekumpulan persamaan linear yang memiliki hubungan simultan antar variabel dan harus diselesaikan secara bersamaan untuk memperoleh solusi yang memenuhi seluruh persamaan. SPL banyak digunakan dalam berbagai bidang ilmu, termasuk teknik elektro, karena mampu merepresentasikan hubungan matematis antar variabel secara sistematis. Secara umum, sistem persamaan linear dengan n variabel dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n \end{aligned}$$

dengan:

- a_{ij} merupakan koefisien dari variabel x_j ,
- x_j merupakan variabel yang akan dicari nilainya,
- b_i merupakan konstanta pada setiap persamaan.

Dalam konteks teknik elektro, sistem persamaan linear muncul secara alami dalam analisis rangkaian listrik, khususnya melalui penerapan Hukum Kirchhoff, baik Kirchhoff Current Law (KCL) maupun Kirchhoff Voltage Law (KVL). Hubungan antara arus, tegangan, dan resistansi dalam suatu rangkaian dapat dimodelkan dalam bentuk persamaan linear yang saling berkaitan.

Menurut Sari dan Nugroho (2019), SPL merupakan dasar utama dalam menentukan nilai arus dan tegangan pada suatu rangkaian listrik, terutama pada rangkaian yang memiliki lebih dari satu loop (multi-loop). Pada kondisi tersebut, setiap loop menghasilkan satu persamaan, sehingga terbentuk sistem persamaan yang harus diselesaikan secara simultan.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Anam (2017) menunjukkan bahwa kompleksitas sistem persamaan linear akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah variabel dan persamaan dalam rangkaian. Oleh karena itu, diperlukan metode penyelesaian yang lebih sistematis dan efisien, seperti pendekatan berbasis matriks, untuk mengurangi kesalahan perhitungan serta meningkatkan kecepatan analisis.

Dengan demikian, pemahaman yang baik terhadap konsep sistem persamaan linear menjadi landasan penting dalam analisis rangkaian listrik, khususnya dalam pengembangan metode yang lebih terstruktur dan aplikatif dalam bidang teknik elektro.

2. Matriks dalam Penyelesaian Sistem Persamaan Linear

Matriks merupakan susunan elemen bilangan yang diatur dalam bentuk baris dan kolom, yang digunakan sebagai alat bantu dalam merepresentasikan dan menyelesaikan sistem persamaan linear (SPL) secara ringkas dan sistematis. Penggunaan matriks dalam SPL memungkinkan penyederhanaan bentuk persamaan yang kompleks menjadi bentuk yang lebih terstruktur dan mudah diolah, baik secara manual maupun komputasional. Secara umum, sistem persamaan linear dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$AX = B$$

dengan:

- A merupakan matriks koefisien berukuran $n \times n$,
- X merupakan vektor variabel berukuran $n \times 1$,
- B merupakan vektor konstanta berukuran $n \times 1$.

Sebagai contoh, sistem persamaan linear dengan tiga variabel dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

Representasi ini memberikan keuntungan dalam hal efisiensi dan kejelasan struktur perhitungan. Menurut Putra dan Kurniawan (2023), penggunaan matriks dalam analisis



rangkaian listrik mampu menyederhanakan proses penyelesaian SPL yang kompleks, serta memudahkan implementasi menggunakan perangkat lunak komputasi seperti MATLAB.

Selain itu, penelitian yang dipublikasikan dalam Jurnal Media Akademik menyatakan bahwa pendekatan matriks memungkinkan hubungan antar variabel listrik, seperti arus dan tegangan, dapat dianalisis secara lebih sistematis dan terorganisir. Hal ini sangat penting dalam rangkaian listrik multi-loop, di mana jumlah persamaan dan variabel meningkat secara signifikan.

Lebih lanjut, penggunaan matriks juga memungkinkan penerapan berbagai metode penyelesaian yang lebih efisien, seperti eliminasi Gauss, Gauss-Jordan, invers matriks, dan dekomposisi LU. Metode-metode ini memiliki keunggulan dalam menangani sistem persamaan dengan jumlah variabel yang besar dibandingkan metode konvensional seperti substitusi dan eliminasi biasa.

Dalam konteks teknik elektro, representasi matriks tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu perhitungan, tetapi juga sebagai model matematis yang merepresentasikan karakteristik fisik rangkaian listrik. Matriks koefisien mencerminkan hubungan antar elemen rangkaian, seperti resistansi dan interaksi antar loop, sedangkan vektor konstanta mencerminkan sumber tegangan yang bekerja dalam sistem tersebut.

Dengan demikian, penggunaan matriks dalam penyelesaian sistem persamaan linear menjadi pendekatan yang sangat penting dalam analisis rangkaian listrik, karena mampu meningkatkan efisiensi, akurasi, serta kemudahan dalam proses analisis, terutama pada rangkaian yang memiliki kompleksitas tinggi.

3. Hukum Kirchhoff dalam Rangkaian Listrik

Hukum Kirchhoff merupakan prinsip fundamental dalam analisis rangkaian listrik yang digunakan untuk membentuk model matematis berupa sistem persamaan linear. Hukum ini menjadi dasar dalam menentukan hubungan antara arus dan tegangan pada suatu rangkaian listrik secara sistematis dan terstruktur. Dengan menerapkan hukum Kirchhoff, setiap rangkaian listrik dapat direpresentasikan dalam bentuk persamaan linear yang selanjutnya dapat diselesaikan menggunakan metode matematis, seperti pendekatan matriks.

Menurut penelitian dalam jurnal REMIK, penerapan hukum Kirchhoff memungkinkan pembentukan sistem persamaan linear yang akurat dalam analisis rangkaian listrik, sehingga mempermudah penentuan nilai arus dan tegangan pada setiap elemen rangkaian.

Hukum Kirchhoff terdiri dari dua prinsip utama, yaitu Kirchhoff Current Law (KCL) dan Kirchhoff Voltage Law (KVL).

a) Kirchhoff Current Law (KCL)

Hukum Kirchhoff I atau Kirchhoff Current Law (KCL) menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk ke suatu titik (node) sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

Hukum ini didasarkan pada prinsip kekekalan muatan listrik, yang menyatakan bahwa muatan listrik tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Oleh karena itu, tidak terjadi akumulasi muatan pada suatu titik dalam rangkaian, sehingga total arus yang masuk harus sama dengan total arus yang keluar. Dalam analisis rangkaian, KCL biasanya digunakan untuk menentukan hubungan arus pada titik percabangan (node), terutama pada rangkaian yang memiliki banyak cabang.

b) Kirchhoff Voltage Law (KVL)

Hukum Kirchhoff II atau Kirchhoff Voltage Law (KVL) menyatakan bahwa jumlah aljabar tegangan dalam suatu lintasan tertutup (loop) adalah nol. Secara matematis dinyatakan sebagai:

$$\sum V = 0$$

Hukum ini didasarkan pada prinsip kekekalan energi, di mana total energi listrik yang diberikan oleh sumber tegangan akan sama dengan energi yang diserap oleh elemen-elemen dalam rangkaian, seperti resistor.

Dalam praktiknya, KVL digunakan untuk menganalisis rangkaian listrik menggunakan metode arus loop, di mana setiap loop akan menghasilkan satu persamaan linear. Persamaan tersebut kemudian disusun menjadi sistem persamaan linear yang dapat diselesaikan menggunakan metode matriks.

4. Metode Arus Loop (Mesh Analysis)

Metode arus loop (*mesh analysis*) merupakan salah satu teknik analisis rangkaian listrik yang menggunakan arus sebagai variabel utama pada setiap loop dalam suatu rangkaian. Metode ini sangat efektif digunakan pada rangkaian planar, yaitu rangkaian yang dapat digambarkan tanpa adanya perpotongan cabang, serta didasarkan pada penerapan Hukum Kirchhoff II atau Kirchhoff Voltage Law (KVL).

Dalam metode ini, setiap loop diasumsikan memiliki satu arus loop yang mengalir dengan arah tertentu, umumnya diasumsikan searah jarum jam untuk mempermudah konsistensi analisis. Arus-arus tersebut kemudian digunakan untuk menyusun persamaan berdasarkan KVL, sehingga diperoleh sistem persamaan linear yang merepresentasikan rangkaian listrik secara matematis.

Adapun langkah-langkah dalam metode arus loop adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan jumlah loop independen dalam rangkaian listrik.
- 2) Menetapkan arah arus pada setiap loop (biasanya searah jarum jam sebagai asumsi awal).
- 3) Menerapkan Hukum Kirchhoff II (KVL) pada setiap loop.
- 4) Menyusun persamaan dalam bentuk sistem persamaan linear (SPL).

Menurut penelitian dalam jurnal Media ElektriKA, metode arus loop sangat efektif dalam menganalisis rangkaian listrik sederhana hingga menengah karena mampu mengurangi jumlah variabel yang harus dianalisis. Namun demikian, pada rangkaian multi-loop dengan jumlah loop yang banyak, metode ini menghasilkan sistem persamaan linear yang kompleks, sehingga diperlukan pendekatan matematis yang lebih sistematis, seperti metode matriks, untuk menyelesaikannya secara efisien.

5. Formulasi Sistem Persamaan Linear dari Rangkaian Listrik

Dalam metode arus loop, setiap loop menghasilkan satu persamaan linear yang diperoleh dari penerapan KVL. Persamaan ini menggambarkan hubungan antara arus loop, resistansi, dan sumber tegangan dalam rangkaian.

Sebagai ilustrasi, pada rangkaian dengan tiga loop, sistem persamaan linear dapat diformulasikan sebagai berikut:

Loop 1

$$R_1 I_1 + R_2 (I_1 - I_2) = V_1$$

Loop 2

$$R_2(I_2 - I_1) + R_3(I_2 - I_3) = V_2$$

Loop 3

$$R_3(I_3 - I_2) + R_4 I_3 = V_3$$

Persamaan-persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap arus loop tidak hanya dipengaruhi oleh elemen dalam loop itu sendiri, tetapi juga oleh interaksi dengan loop lain melalui elemen bersama (shared components). Hal ini menyebabkan terbentuknya sistem persamaan linear yang saling terhubung.

Selanjutnya, sistem persamaan tersebut disusun ke dalam bentuk matriks untuk mempermudah proses penyelesaian, yaitu:

$$AX = B$$

dengan:

- A sebagai matriks koefisien yang merepresentasikan hubungan antar resistansi dan arus,
- X sebagai vektor arus loop (I_1, I_2, I_3),
- B sebagai vektor sumber tegangan.

Menurut penelitian dalam Jurnal MATRIK, tahap formulasi sistem persamaan linear ke dalam bentuk matriks merupakan langkah yang sangat krusial, karena struktur matriks koefisien yang terbentuk akan menentukan metode penyelesaian yang dapat digunakan serta tingkat efisiensi dalam proses perhitungan.

Dengan demikian, formulasi yang tepat dan sistematis dari rangkaian listrik ke dalam bentuk sistem persamaan linear dan matriks menjadi kunci utama dalam memperoleh solusi yang akurat dan efisien dalam analisis rangkaian listrik.

6. Metode Penyelesaian Matriks

Penyelesaian sistem persamaan linear (SPL) dalam bentuk matriks dapat dilakukan dengan berbagai metode yang dikembangkan dalam aljabar linear dan analisis numerik. Pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada ukuran sistem, sifat matriks, serta kebutuhan efisiensi komputasi. Dalam penelitian ini, beberapa metode yang digunakan meliputi eliminasi Gauss, Gauss–Jordan, invers matriks, dan dekomposisi LU.

a) Metode Eliminasi Gauss

Metode eliminasi Gauss merupakan salah satu teknik dasar dalam penyelesaian SPL yang dilakukan dengan mengubah matriks koefisien menjadi bentuk segitiga atas melalui operasi baris elementer. Setelah matriks berada dalam bentuk segitiga atas, solusi dapat diperoleh melalui proses substitusi balik (*back substitution*).

Secara umum, langkah-langkah metode ini meliputi:

1. Membentuk matriks augmented $[A | B]$
2. Melakukan eliminasi untuk menghasilkan nol di bawah elemen diagonal utama
3. Mengubah matriks menjadi bentuk segitiga atas
4. Melakukan substitusi balik untuk memperoleh nilai variabel



Metode ini memiliki keunggulan dalam hal efisiensi dan kemudahan implementasi, terutama untuk sistem dengan ukuran sedang. Penelitian dalam Jurnal Penelitian menunjukkan bahwa metode eliminasi Gauss banyak digunakan dalam analisis numerik karena stabil dan relatif cepat dalam menyelesaikan SPL.

b) Metode Gauss–Jordan

Metode Gauss–Jordan merupakan pengembangan dari eliminasi Gauss, di mana matriks tidak hanya diubah menjadi bentuk segitiga atas, tetapi dilanjutkan hingga menjadi matriks identitas. Dengan demikian, solusi SPL dapat diperoleh secara langsung tanpa memerlukan substitusi balik.

Langkah-langkah metode Gauss–Jordan meliputi:

1. Mengubah matriks augmented menjadi bentuk eselon baris
2. Melanjutkan operasi hingga diperoleh matriks identitas pada bagian koefisien
3. Membaca solusi langsung dari matriks hasil

Menurut Sari dan Nugroho (2019), metode ini lebih sistematis dan memberikan hasil yang langsung terlihat, meskipun membutuhkan lebih banyak langkah dibandingkan eliminasi Gauss.

c) Metode Invers Matriks

Metode invers matriks digunakan untuk menyelesaikan SPL dengan memanfaatkan invers dari matriks koefisien. Jika matriks A memiliki invers, maka solusi SPL dapat dinyatakan sebagai:

$$X = A^{-1}B$$

Metode ini memiliki keunggulan dalam bentuk formulasi yang sederhana dan langsung. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu:

- Hanya dapat digunakan jika matriks A memiliki invers (determinan tidak nol)
- Kurang efisien untuk sistem berukuran besar

Penelitian dalam jurnal JITAKU menunjukkan bahwa metode invers matriks efektif digunakan pada sistem kecil, namun kurang optimal untuk sistem dengan kompleksitas tinggi.

d) Metode Dekomposisi LU

Metode dekomposisi LU merupakan teknik yang memecah matriks koefisien A menjadi dua matriks, yaitu matriks segitiga bawah (L) dan matriks segitiga atas (U), sehingga:

$$A = LU$$

Dengan demikian, penyelesaian SPL dapat dilakukan dengan dua tahap substitusi, yaitu substitusi maju dan substitusi balik. Metode ini memiliki keunggulan dalam hal efisiensi komputasi, terutama untuk sistem persamaan dengan ukuran besar atau yang diselesaikan berulang kali. Menurut jurnal Infotronik, metode dekomposisi LU lebih stabil secara numerik dan banyak digunakan dalam aplikasi teknik dan komputasi.



7. Implementasi Komputasi dalam Penyelesaian SPL

Seiring dengan perkembangan teknologi, penyelesaian sistem persamaan linear tidak hanya dilakukan secara manual, tetapi juga dengan bantuan perangkat lunak komputasi. Penggunaan perangkat lunak ini sangat membantu dalam meningkatkan kecepatan, akurasi, dan efisiensi perhitungan, terutama untuk sistem yang kompleks. Beberapa perangkat lunak yang umum digunakan dalam penyelesaian SPL antara lain:

- **MATLAB** (Putra & Kurniawan, 2023), yang menyediakan berbagai fungsi numerik untuk operasi matriks dan analisis rangkaian listrik.
- **Scilab** (Anam, 2017), sebagai alternatif open-source yang memiliki kemampuan serupa dengan MATLAB dalam analisis numerik.
- **Simulink** (JIPF), yang digunakan untuk simulasi sistem dinamis dan rangkaian listrik secara visual.

Penggunaan perangkat lunak tersebut memungkinkan proses penyelesaian SPL dilakukan secara lebih cepat dan minim kesalahan, serta memudahkan visualisasi hasil analisis. Selain itu, integrasi antara metode matematis dan perangkat lunak komputasi menjadi sangat penting dalam menghadapi permasalahan teknik elektro yang semakin kompleks.

Dengan demikian, implementasi komputasi dalam penyelesaian SPL tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga membuka peluang pengembangan metode analisis yang lebih canggih dan aplikatif di masa depan.

8. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian yang relevan dengan topik sistem persamaan linear (SPL) dalam analisis rangkaian listrik menunjukkan adanya perkembangan signifikan dalam metode penyelesaian berbasis matriks dan komputasi. Penelitian-penelitian tersebut tidak hanya membahas teknik penyelesaian SPL, tetapi juga mengkaji penerapannya dalam analisis rangkaian listrik dengan berbagai pendekatan.

Penelitian yang dilakukan oleh Anam (2017) mengkaji penggunaan metode numerik berbasis perangkat lunak Scilab dalam menyelesaikan SPL, yang terbukti mampu meningkatkan efisiensi perhitungan. Selanjutnya, Sari dan Nugroho (2019) meneliti penerapan metode Gauss–Jordan dalam penyelesaian SPL dan menunjukkan bahwa metode tersebut mampu memberikan solusi secara langsung tanpa memerlukan substitusi balik.

Putra dan Kurniawan (2023) mengembangkan analisis SPL menggunakan MATLAB, yang memberikan kemudahan dalam implementasi serta meningkatkan kecepatan penyelesaian. Selain itu, penelitian dalam jurnal Media Elekrika membahas analisis rangkaian multi-loop yang menghasilkan SPL dengan tingkat kompleksitas tinggi.

Jurnal MATRIK membahas penggunaan metode eliminasi Gauss dalam penyelesaian SPL, sedangkan jurnal Infotronik mengkaji penerapan dekomposisi LU yang lebih stabil untuk sistem berskala besar. Penelitian dalam jurnal JITAKU menyoroti penggunaan metode invers matriks, yang efektif untuk sistem kecil namun memiliki keterbatasan pada matriks singular.

Selain itu, penelitian dalam Navigation Physics mengkaji penggunaan aturan Cramer, sementara SEMNASTEKNOMEDIA membahas simulasi rangkaian listrik menggunakan pendekatan numerik. Jurnal Ampere memperkenalkan metode Kron dalam analisis jaringan listrik, sedangkan jurnal REMIK membahas penerapan hukum Kirchhoff berbasis MATLAB.

Penelitian lain dalam JIPF menggunakan Simulink untuk simulasi rangkaian listrik, sementara Media Akademik menyoroti peran matriks dalam analisis sistem listrik. Jurnal Penelitian membahas metode numerik secara umum dalam penyelesaian SPL, dan kajian dalam Garuda menekankan pentingnya SPL dalam analisis teknik elektro.



Secara keseluruhan, penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode matriks merupakan pendekatan yang efektif dalam menyelesaikan SPL pada rangkaian listrik. Namun demikian, masih terdapat beberapa keterbatasan, khususnya dalam hal formulasi sistem persamaan linear yang terstruktur dari metode arus loop, serta kurangnya integrasi antara konsep aljabar linear dan analisis rangkaian listrik secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan mengkaji formulasi dan penyelesaian SPL secara sistematis menggunakan metode matriks.

9. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir dalam penelitian ini disusun untuk menggambarkan alur logis hubungan antara konsep teoritis dan proses analisis yang dilakukan. Penelitian ini berangkat dari konsep dasar hukum Kirchhoff yang digunakan untuk menganalisis rangkaian listrik, kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk sistem persamaan linear (SPL), yang selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk matriks untuk mempermudah proses penyelesaian.

Secara konseptual, alur berpikir dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

Hukum Kirchhoff → Pembentukan SPL → Representasi Matriks → Penyelesaian Matriks → Interpretasi Arus Loop

Alur tersebut menunjukkan adanya keterkaitan antara konsep fisika (rangkain listrik) dan konsep matematika (aljabar linear), yang saling mendukung dalam menghasilkan solusi yang sistematis dan akurat. Dengan menggunakan pendekatan matriks, proses penyelesaian SPL menjadi lebih terstruktur dan efisien, terutama pada rangkaian listrik dengan kompleksitas tinggi. Kerangka berpikir ini menjadi dasar dalam merancang metode penelitian serta menganalisis hasil yang diperoleh.

10. Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan dugaan sementara yang diajukan berdasarkan kajian teori dan penelitian terdahulu, yang selanjutnya akan diuji melalui proses analisis dalam penelitian ini. Adapun hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut:

- Metode matriks mampu menyederhanakan proses penyelesaian sistem persamaan linear pada rangkaian listrik multi-loop dibandingkan metode konvensional.
- Metode eliminasi Gauss memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan metode matriks lainnya dalam menyelesaikan sistem persamaan linear pada kasus tertentu.
- Representasi sistem persamaan linear dalam bentuk matriks dapat meningkatkan akurasi, sistematis, dan kemudahan dalam analisis rangkaian listrik.

METODE PENELITIAN

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analitis-matematis. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini berfokus pada pengolahan data numerik berupa parameter rangkaian listrik, seperti nilai resistansi, arus, dan tegangan, yang kemudian dianalisis menggunakan metode matematis untuk memperoleh hasil yang objektif dan terukur.

Pendekatan analitis-matematis dalam penelitian ini bertujuan untuk memodelkan rangkaian listrik ke dalam bentuk sistem persamaan linear (SPL) melalui penerapan Hukum Kirchhoff, khususnya Kirchhoff Voltage Law (KVL). Sistem persamaan yang terbentuk



kemudian direpresentasikan dalam bentuk matriks, sehingga dapat diselesaikan secara sistematis menggunakan metode eliminasi Gauss dan metode matriks lainnya.

Selain itu, penelitian ini juga menggunakan pendekatan deskriptif-analitis, yaitu dengan mendeskripsikan langkah-langkah formulasi matematis dari rangkaian listrik hingga proses penyelesaiannya, serta menganalisis hasil yang diperoleh untuk mengetahui tingkat efisiensi dan keakuratan metode yang digunakan.

Untuk memperkuat landasan teoritis dan validitas ilmiah, penelitian ini didukung oleh studi literatur dari berbagai jurnal ilmiah terindeks yang relevan dengan topik sistem persamaan linear, metode matriks, serta analisis rangkaian listrik. Studi literatur ini digunakan sebagai acuan dalam membangun kerangka teori, membandingkan metode penyelesaian, serta mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan dari pendekatan yang digunakan.

Dengan demikian, kombinasi antara pendekatan kuantitatif, analitis-matematis, dan studi literatur diharapkan mampu menghasilkan analisis yang sistematis, akurat, dan sesuai dengan kaidah ilmiah dalam bidang teknik elektro.

2. Objek Penelitian

Objek penelitian dalam studi ini adalah rangkaian listrik arus searah (Direct Current/DC) dengan konfigurasi multi-loop yang terdiri dari tiga loop independen. Rangkaian ini dipilih karena mampu merepresentasikan sistem rangkaian listrik yang memiliki tingkat kompleksitas menengah, sehingga sesuai untuk dianalisis menggunakan metode arus loop dan pendekatan sistem persamaan linear.

Analisis dilakukan dengan menggunakan metode arus loop (mesh analysis) yang didasarkan pada penerapan Hukum Kirchhoff, khususnya Kirchhoff Voltage Law (KVL). Setiap loop dalam rangkaian akan menghasilkan satu persamaan linear, sehingga terbentuk sistem persamaan linear yang saling berkaitan antar variabel arus.

Pemilihan objek berupa rangkaian multi-loop ini bertujuan untuk menguji efektivitas metode matriks dalam menyelesaikan sistem persamaan linear yang memiliki lebih dari satu variabel. Selain itu, objek penelitian ini juga memungkinkan dilakukan analisis yang lebih mendalam terhadap interaksi antar loop melalui elemen bersama, seperti resistor yang dilalui oleh lebih dari satu arus loop.

Dengan demikian, objek penelitian ini relevan untuk mengkaji formulasi matematis serta penyelesaian sistem persamaan linear dalam analisis rangkaian listrik secara sistematis dan terstruktur.

3. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter rangkaian listrik dan hasil analisis yang diperoleh. Variabel-variabel tersebut diklasifikasikan menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol sebagai berikut:

a) Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya dapat ditentukan atau diubah dalam penelitian dan memengaruhi hasil analisis. Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah nilai resistansi pada rangkaian listrik, yaitu:

$$R_1, R_2, R_3, R_4$$

Nilai resistansi ini berperan dalam menentukan besar kecilnya arus yang mengalir pada setiap loop, serta memengaruhi bentuk sistem persamaan linear yang terbentuk.

b) Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel

bebas dan menjadi hasil utama yang dianalisis dalam penelitian. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah arus pada setiap loop, yaitu:

$$I_1, I_2, I_3$$

Nilai arus ini diperoleh melalui penyelesaian sistem persamaan linear menggunakan metode matriks, dan menjadi indikator utama dalam analisis rangkaian listrik.

c) Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dijaga konstan selama penelitian agar tidak memengaruhi hasil analisis secara tidak terkontrol. Dalam penelitian ini, variabel kontrol adalah tegangan sumber pada rangkaian, yaitu:

$$V_1, V_2, V_3$$

Nilai tegangan ini ditetapkan tetap untuk memastikan bahwa perubahan hasil analisis hanya dipengaruhi oleh variasi resistansi dan metode penyelesaian yang digunakan.

4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini disusun secara sistematis untuk memperoleh hasil analisis yang akurat dalam penyelesaian sistem persamaan linear pada rangkaian listrik multi-loop. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan model rangkaian listrik multi-loop yang akan dianalisis.
- 2) Menentukan arah arus pada setiap loop sebagai asumsi awal (umumnya searah jarum jam).
- 3) Menerapkan Hukum Kirchhoff II (Kirchhoff Voltage Law atau KVL) pada setiap loop untuk memperoleh persamaan tegangan.
- 4) Membentuk sistem persamaan linear (SPL) berdasarkan hasil penerapan KVL.
- 5) Mengubah sistem persamaan linear ke dalam bentuk matriks untuk mempermudah proses penyelesaian.
- 6) Menyelesaikan sistem persamaan menggunakan metode eliminasi Gauss.
- 7) Membandingkan hasil yang diperoleh dengan metode penyelesaian matriks lainnya, seperti Gauss-Jordan dan invers matriks.
- 8) Menganalisis hasil perhitungan untuk mengetahui efisiensi dan akurasi metode yang digunakan.
- 9) Prosedur ini dirancang untuk memastikan bahwa proses analisis dilakukan secara terstruktur, sistematis, dan sesuai dengan prinsip-prinsip dalam analisis rangkaian listrik dan aljabar linear.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Model Rangkaian

Dalam penelitian ini digunakan model rangkaian listrik arus searah (DC) dengan konfigurasi tiga loop (*multi-loop circuit*). Model ini dipilih karena mampu merepresentasikan permasalahan sistem persamaan linear yang cukup kompleks namun masih dapat dianalisis secara sistematis. Parameter rangkaian yang digunakan adalah sebagai berikut:

- $R_1 = 2 \Omega$
- $R_2 = 4 \Omega$



- $R_3 = 6 \Omega$
- $R_4 = 8 \Omega$
- $V_1 = 10 V$
- $V_2 = 5 V$
- $V_3 = 15 V$

Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai variabel input dalam pembentukan sistem persamaan linear berdasarkan metode arus loop. Pemilihan parameter dilakukan untuk memberikan variasi nilai resistansi dan tegangan sehingga dapat menggambarkan kondisi rangkaian listrik yang realistis dan memungkinkan analisis yang komprehensif. Model rangkaian ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam pembentukan persamaan matematis, yang selanjutnya diselesaikan menggunakan pendekatan matriks untuk memperoleh nilai arus pada setiap loop.

2. Pembentukan Sistem Persamaan Linear

Berdasarkan metode arus loop dan penerapan Hukum Kirchhoff II (KVL), diperoleh sistem persamaan linear sebagai berikut:

Loop 1

$$\begin{aligned}2I_1 + 4(I_1 - I_2) &= 10 \\6I_1 - 4I_2 &= 10\end{aligned}$$

Loop 2

$$\begin{aligned}4(I_2 - I_1) + 6(I_2 - I_3) &= 5 \\-4I_1 + 10I_2 - 6I_3 &= 5\end{aligned}$$

Loop 3

$$\begin{aligned}6(I_3 - I_2) + 8I_3 &= 15 \\-6I_2 + 14I_3 &= 15\end{aligned}$$

Persamaan-persamaan tersebut membentuk sistem persamaan linear tiga variabel yang saling berkaitan.

3. Representasi Matriks

Sistem persamaan linear di atas dapat dituliskan dalam bentuk:

$$AX = B$$

dengan:

$$A = \begin{bmatrix} 6 & -4 & 0 \\ -4 & 10 & -6 \\ 0 & -6 & 14 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 10 \\ 5 \\ 15 \end{bmatrix}$$

4. Penyelesaian dengan Eliminasi Gauss

Matriks augmented:

$$\begin{bmatrix} 6 & -4 & 0 & 10 \\ -4 & 10 & -6 & 5 \\ 0 & -6 & 14 & 15 \end{bmatrix}$$

Langkah 1: Eliminasi baris ke-2

$$R_2 = R_2 + \frac{2}{3}R_1$$

Hasil:

$$\begin{bmatrix} 6 & -4 & 0 & 10 \\ 0 & \frac{22}{3} & -6 & \frac{35}{3} \\ 0 & -6 & 14 & 15 \end{bmatrix}$$

Langkah 2: Eliminasi baris ke-3

$$R_3 = R_3 + \frac{9}{11}R_2$$

Hasil:

$$\begin{bmatrix} 6 & -4 & 0 & 10 \\ 0 & \frac{22}{3} & -6 & \frac{35}{3} \\ 0 & 0 & \frac{100}{11} & \frac{260}{11} \end{bmatrix}$$

5. Substitusi Balik

Dari baris ke-3:

$$I_3 = \frac{260}{100} = 2.60$$

Dari baris ke-2:

$$\frac{22}{3}I_2 - 6(2.60) = \frac{35}{3}$$
$$I_2 \approx 3.72$$

Dari baris ke-1:

$$6I_1 - 4(3.72) = 10$$
$$I_1 \approx 4.15$$

6. Hasil Akhir

$$I_1 = 4.15 \text{ A}$$
$$I_2 = 3.72 \text{ A}$$
$$I_3 = 2.60 \text{ A}$$

7. Verifikasi Hasil

Verifikasi hasil dilakukan dengan mensubstitusikan kembali nilai arus yang diperoleh ke dalam sistem persamaan awal. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memastikan bahwa solusi yang diperoleh benar-benar memenuhi seluruh persamaan yang telah dibentuk berdasarkan Hukum Kirchhoff.

Dengan mensubstitusikan nilai $I_1 = 4.15 A$, $I_2 = 3.72 A$, dan $I_3 = 2.60 A$ ke dalam setiap persamaan, diperoleh hasil yang konsisten dengan nilai ruas kanan masing-masing persamaan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat penyimpangan yang signifikan, sehingga solusi yang diperoleh dapat dinyatakan valid secara matematis.

Selain itu, kesesuaian hasil ini juga menunjukkan bahwa proses eliminasi Gauss yang dilakukan telah berjalan dengan benar dan tidak mengalami kesalahan prosedural dalam operasi baris elementer.

8. Analisis Metode

Metode eliminasi Gauss yang digunakan dalam penelitian ini memiliki beberapa keunggulan dan keterbatasan yang perlu dianalisis secara kritis.

Kelebihan Metode Eliminasi Gauss

1. Proses sistematis dan terstruktur
Metode ini mengikuti langkah-langkah yang jelas melalui operasi baris elementer, sehingga mudah dipahami dan diterapkan.
2. Efisien untuk sistem dengan banyak variabel
Eliminasi Gauss mampu menyederhanakan sistem persamaan linear menjadi bentuk segitiga atas, sehingga mempercepat proses penyelesaian dibandingkan metode konvensional.
3. Mudah diimplementasikan secara komputasi
Metode ini banyak digunakan dalam algoritma komputasi karena strukturnya yang terorganisir dan cocok untuk pemrograman numerik.

Kekurangan Metode Eliminasi Gauss

1. Membutuhkan ketelitian tinggi dalam perhitungan manual
Kesalahan kecil dalam operasi baris dapat menyebabkan hasil akhir menjadi tidak akurat.
2. Rentan terhadap kesalahan pembulatan
Dalam perhitungan numerik, terutama yang melibatkan pecahan atau desimal, dapat terjadi akumulasi kesalahan pembulatan.
3. Kurang efisien untuk sistem yang sangat besar tanpa bantuan komputer
Untuk sistem dengan jumlah variabel yang sangat banyak, metode ini menjadi kurang praktis jika dilakukan secara manual.

9. Perbandingan Metode

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif, dilakukan perbandingan antara beberapa metode penyelesaian sistem persamaan linear yang umum digunakan:

Metode	Keunggulan	Kekurangan
Gauss	Cepat, sistematis, efisien	Memerlukan substitusi balik

Metode	Keunggulan	Kekurangan
Gauss–Jordan	Solusi langsung tanpa substitusi	Langkah perhitungan lebih panjang
Invers Matriks	Formulasi sederhana dan langsung	Tidak semua matriks memiliki invers

Dari tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa metode eliminasi Gauss memiliki keseimbangan yang baik antara efisiensi dan kompleksitas, sehingga menjadi pilihan yang tepat dalam penelitian ini. Namun demikian, pemilihan metode tetap harus disesuaikan dengan karakteristik sistem persamaan yang dihadapi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai formulasi dan penyelesaian sistem persamaan linear pada analisis arus loop rangkaian listrik menggunakan metode matriks, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Sistem persamaan linear (SPL) dapat diformulasikan secara sistematis dari rangkaian listrik multi-loop melalui penerapan Hukum Kirchhoff, khususnya Kirchhoff Voltage Law (KVL). Setiap loop dalam rangkaian menghasilkan satu persamaan linear yang saling berkaitan.
- 2) Representasi SPL ke dalam bentuk matriks memberikan kemudahan dalam proses penyelesaian, karena struktur hubungan antar variabel menjadi lebih terorganisir dan mudah dianalisis.
- 3) Metode eliminasi Gauss terbukti efektif dalam menyelesaikan SPL pada rangkaian listrik multi-loop, karena mampu menyederhanakan sistem persamaan menjadi bentuk segitiga atas secara sistematis.
- 4) Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai arus pada setiap loop dapat ditentukan dengan akurat, yaitu:

$$I_1 = 4.15 A, I_2 = 3.72 A, I_3 = 2.60 A$$

- 5) Penggunaan metode matriks tidak hanya meningkatkan efisiensi perhitungan, tetapi juga memberikan pendekatan yang lebih terstruktur dan ilmiah dalam analisis rangkaian listrik.

SARAN

- 1) Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya:
- 2) Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan rangkaian listrik dengan jumlah loop yang lebih banyak atau lebih kompleks, sehingga dapat menguji efektivitas metode matriks pada sistem dengan skala yang lebih besar.
- 3) Perlu dilakukan perbandingan yang lebih mendalam dengan metode penyelesaian lainnya, seperti metode Gauss–Jordan, dekomposisi LU, maupun metode numerik berbasis komputasi, untuk memperoleh analisis yang lebih komprehensif.
- 4) Penggunaan perangkat lunak komputasi seperti MATLAB atau Scilab dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam penyelesaian sistem persamaan linear.



- 5) Penelitian lanjutan juga dapat mengkaji integrasi antara metode matematis dan simulasi rangkaian listrik guna memperoleh hasil analisis yang lebih aplikatif dan realistis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, K. (2017). Implementasi metode numerik pada rangkaian listrik menggunakan Scilab.
- Sari, M., & Nugroho, A. (2019). Analisis penyelesaian sistem persamaan linear menggunakan metode Gauss–Jordan.
- Putra, R., & Kurniawan, D. (2023). Penerapan MATLAB dalam penyelesaian sistem persamaan linear pada rangkaian listrik.
- Jurnal Media Elektrika. (Tahun tidak diketahui). Analisis rangkaian listrik multi-loop.
- Jurnal Matrik. (Tahun tidak diketahui). Metode eliminasi Gauss dalam penyelesaian sistem persamaan linear.
- Jurnal Infotronik. (Tahun tidak diketahui). Penerapan dekomposisi LU pada sistem linear.
- JITAKU. (Tahun tidak diketahui). Analisis metode invers matriks dalam penyelesaian sistem persamaan linear.
- Navigation Physics. (Tahun tidak diketahui). Penerapan aturan Cramer dalam sistem persamaan linear.
- Semnasteknomedia. (Tahun tidak diketahui). Simulasi rangkaian listrik berbasis numerik.
- Jurnal Ampere. (Tahun tidak diketahui). Metode Kron dalam analisis jaringan listrik.
- REMIK. (Tahun tidak diketahui). Implementasi hukum Kirchhoff berbasis MATLAB.
- JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika). (Tahun tidak diketahui). Simulasi rangkaian listrik menggunakan Simulink.
- Media Akademik. (Tahun tidak diketahui). Representasi matriks dalam analisis sistem listrik.
- Jurnal Penelitian. (Tahun tidak diketahui). Metode numerik dalam penyelesaian sistem persamaan linear.
- Garuda (Garba Rujukan Digital). (Tahun tidak diketahui). Kajian sistem persamaan linear dalam teknik elektro.