



Solution of Systems of Linear Equations Using Triangularization and Backward Substitution

(Solusi Sistem Persamaan Linear dengan Triangularisasi dan Backward – Substitusi)

Dewi Maulut Fajar¹ dan Ruslan Laisouw²✉

¹ Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara, Kota Ternate, Indonesia.

✉ Koresponden: laisouwruslan@gmail.com

Info Artikel:	☒ Artikel Penelitian	☐ Artikel Pengabdian	☐ Riview Artikel
*Diterima: 22 Juni 2026	*Disetujui: 18 Juli 2026	*Publikasi On-Line: 20 Juli 2026	

Abstract

Linear equation systems are fundamental concepts in mathematics that play a vital role across various scientific fields. This study aims to examine and analyze solution methods for linear systems using triangularization and backward substitution techniques. The research employs a literature review approach with a qualitative descriptive method, sourcing data from various scientific texts, theses, and relevant journal articles. The results indicate that the triangularization process effectively transforms a linear system into an upper triangular matrix form, simplifying and accelerating the solution process. Subsequently, backward substitution systematically determines variable values starting from the last equation moving backward. The combined use of these methods proves to be effective, structured, and efficient, especially for systems with many variables. A linear system is considered simple if all variable values can be obtained with less effort and faster than before simplification. This research contributes to enhancing the understanding of the mathematical concepts and procedures for solving linear systems and supports the development of numerical algorithms in science and technology fields.

Keywords: System of Linear Equations; Triangularization; Backward Substitution.

I. PENDAHULUAN

Banyak permasalahan dalam matematika murni atau terapan yang disajikan dalam sistem persamaan linear dengan beberapa variabel yang tak diketahui. Misalnya penerapan Hukum kirchoff dalam suatu rangkaian listrik, biasanya akan menghasilkan sistem persamaan linear dengan variabel arus listrik yang tak diketahui. Untuk menyelesaikan sistem persamaan linear dengan 2 variabel, biasanya digunakan metode substitusi atau eliminasi. Tetapi untuk sistem persamaan linear yang melibatkan 3 variabel atau lebih, penggunaan metode ini ternyata tidak efisien (Bambang Ruwanto, 2002).

Masalah dari sistem persamaan linear di atas adalah bagaimana mencari nilai pengganti

bagi variabel x_1 , x_2 , x_3 , dan x_4 sehingga semua persamaan diatas menjadi benar. Bila dalam penyelesaiannya kita menggunakan metode substitusi atau eliminasi maka tidak efisien dan memerlukan usaha yang memakan waktu lama. Langkah awal penyelesaian masalah tersebut adalah dengan melakukan penyederhanaan sistem persamaan linear untuk mendapatkan sistem persamaan linear yang lebih sederhana. Apa yang dimaksud sederhana dalam konteks ini ? suatu sistem persamaan linear dikatakan sederhana bila kita bisa mendapatkan seluruh nilai pengganti variabelnya dengan cara yang lebih mudah atau dengan usaha yang tidak memakan waktu lama dibandingkan sebelum disederhanakan. Sekali kita mendapatkan nilai pengganti bagi variabel x_4 , maka x_3 , x_2 dan x_1 akan

diperoleh dengan mudah dan cepat (Supriyanto, 2008). Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode eliminasi Gauss, yang mengubah matriks sistem menjadi bentuk segitiga atas melalui proses yang dikenal sebagai triangulasi. Setelah matriks berada dalam bentuk segitiga, solusi sistem tersebut dapat diperoleh dengan lebih mudah menggunakan metode substitusi mundur. Kombinasi kedua metode ini tidak hanya meningkatkan efisiensi komputasi, tetapi juga menjadi dasar bagi berbagai algoritma numerik dalam komputasi modern.

Selain itu, metode triangulasi dan substitusi mundur menawarkan keunggulan dalam implementasi komputasi, karena metode-metode tersebut dapat dengan mudah diadaptasi ke dalam bahasa pemrograman dan perangkat lunak matematika. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kedua metode ini memiliki struktur algoritmik yang sederhana dan berulang, sehingga sangat cocok untuk diprogram secara otomatis (Leon, 2006; Lay, 2016). Keunggulan ini membuat mereka menjadi pilihan populer dalam pengembangan algoritma numerik untuk sistem besar, seperti yang telah diaplikasikan dalam bidang rekayasa dan ilmu data, dimana efisiensi komputasi sangat dibutuhkan. Oleh karena itu, metode-metode tersebut sangat relevan bagi perkembangan teknologi dan kebutuhan analisis data berskala besar, karena mampu mendukung proses penyelesaian sistem persamaan linier secara cepat dan efisien dalam lingkungan komputasi modern.

Berdasarkan hal tersebut, penting untuk mengkaji secara mendalam proses penyelesaian sistem persamaan linier dengan menggunakan metode triangulasi dan substitusi mundur, baik dari segi konsep matematis maupun penerapannya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih sistematis serta menjadi acuan dalam pembelajaran dan pengembangan metode numerik yang lebih kompleks. Oleh karena itu, penulis bermaksud membahas topik "Penyelesaian Sistem Persamaan Linier Menggunakan Triangulasi dan Substitusi Mundur, Eliminasi Gauss, serta Faktorisasi Matriks" guna membandingkan berbagai metode dalam menyelesaikan sistem persamaan linier.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi pustaka (penelitian perpustakaan) dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Penelitian perpustakaan

adalah penelitian yang dilakukan dengan menelaah berbagai sumber literatur ilmiah seperti buku teks, artikel jurnal, prosiding, dan referensi akademis lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Hal ini dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut:

a. Koleksi Literatur

Pada tahap ini, literatur/referensi serta informasi relevan lainnya dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk sumber primer berupa artikel jurnal ilmiah dan buku teks aljabar linier, sedangkan sumber pendukungnya berupa tesis/laporan penelitian dan internet, yang semuanya membahas sistem persamaan linier, khususnya metode triangulasi dan metode substitusi mundur yang diperoleh dari faktor matriks.

b. Tinjauan Pustaka

Tahap ini merupakan proses meninjau, menganalisis, dan mensintesis berbagai sumber ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Dalam hal ini, hal tersebut dilakukan dengan mengelompokkan referensi, yaitu teori-teori mengenai sistem persamaan linier, metode triangulasi, dan konversi faktor matriks ke dalam metode substitusi mundur, serta hasil penelitian mengenai triangulasi dan substitusi mundur. Perbandingan penelitian dilakukan antara metode, hasil penelitian, serta kelebihan dan kelemahan penelitian dalam konteks suatu masalah penelitian.

c. Pengembangan Literatur

Tahap ini melibatkan penyampaian penjelasan dan uraian tambahan agar konsep-konsep yang ada lebih mudah dipahami. Dengan menyusun daftar pustaka secara kronologis, kita dapat dengan mudah mengelompokkannya berdasarkan topik penelitian, membandingkan hasil penelitian yang digunakan, dan menunjukkan keunikan penelitian tersebut.

d. Kompilasi Hasil Penelitian

Pengumpulan hasil penelitian berfungsi sebagai langkah awal dalam memberikan gambaran menyeluruh mengenai topik yang sedang dibahas. Hal ini dilakukan dengan mengumpulkan, mengelompokkan, membandingkan, menggabungkan, dan menarik kesimpulan dari hasil penelitian tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Persamaan Linier

Definisi (Howard Anton, 1987).

Persamaan linier menggambarkan sebuah garis pada bidang xy dan dapat dinyatakan secara aljabar dalam bentuk

$$a_1x + a_2y = b.$$

Persamaan semacam itu disebut persamaan linier dalam variabel x dan y. Secara umumnya, persamaan linier adalah n variabel $x_1, x_2, \dots, x_n$ didefinisikan sebagai persamaan yang dapat dinyatakan dalam bentuk

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = b$$

Dimana: $a_1, a_2, \dots, a_n$ dan konstanta bilangan bulat murni.

Suatu solusi dari persamaan linier adalah himpunan terurut dari n bilangan real $s_1, s_2, \dots, s_n$ sehingga persamaan tersebut terpenuhi apabila

$$x_1 = s_1, x_2 = s_2, \dots, x_n = s_n.$$

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam persamaan (1.1), kita memperoleh

$$a_1s_1 + a_2s_2 + \dots + a_ns_n = b.$$

Persamaan linier adalah persamaan yang mengandung variabel yang dipangkatkan satu. Persamaan ini juga disebut persamaan derajat pertama (persamaan linier dalam satu variabel). Dalam persamaan linier, penambahan atau pengurangan bilangan pada kedua sisi tidak akan mengubah nilai persamaan tersebut (Howard, 2025).

Persamaan linier adalah jenis persamaan aljabar yang suku-sukunya mengandung konstanta dan satu variabel. Persamaan ini disebut linier karena hubungan matematis tersebut digambarkan oleh garis lurus dalam sistem koordinat Kartesius (Carl, 2001). Persamaan linier dengan satu variabel hanya mengandung satu variabel yang dipangkatkan 1, yang merupakan kalimat terbuka yang dihubungkan oleh tanda =. Kalimat terbuka di sini berarti kalimat yang kebenarannya tidak diketahui, atau bisa benar maupun salah.

Seperti yang tersirat dari namanya, persamaan linier dua variabel adalah sistem persamaan yang terdiri dari dua variabel yang dipangkatkan 1. Persamaan linier dua variabel

menggunakan tanda = dan tidak mengalikan variabel dalam persamaan mana pun. Tanpa disadari, persamaan linier dua variabel ini sering digunakan untuk menyelesaikan masalah sederhana dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam kegiatan jual beli. Persamaan ini biasanya digunakan untuk menghitung keuntungan (David, 2025).

Persamaan linier dua variabel dapat diselesaikan dengan menggunakan dua metode: metode substitusi dan metode eliminasi. Metode substitusi melibatkan penggantian satu variabel dengan variabel lain dalam persamaan. Metode eliminasi menghilangkan salah satu variabel dalam persamaan. Persamaan-persamaan ini dapat diselesaikan dengan menggunakan metode substitusi, yang melibatkan pemilihan salah satu persamaan terlebih dahulu (Steven 2006).

3.2. Sistem Persamaan Linier

Definisi (Howard Anton, 1987).

Sistem persamaan linier adalah kumpulan dua atau lebih persamaan linier yang melibatkan variabel yang sama dan harus dipenuhi secara bersamaan. Menurut Howard Anton dalam bukunya *Elementary Linear Algebra* (2004), sistem persamaan linier adalah kumpulan persamaan linier yang melibatkan variabel yang sama dan untuk sistem tersebut dicari suatu solusi yang memenuhi semua persamaan secara bersamaan. Sebuah himpunan terbatas persamaan linier dalam variabel-variabel $x_1, x_2, \dots, x_n$ disebut sistem persamaan linier atau sistem linier.

Persamaan linier semacam itu sering muncul dalam matematika terapan untuk memodelkan fenomena tertentu. Misalnya, dalam pemrograman linier, laba biasanya dimaksimalkan dengan mempertimbangkan batasan-batasan tertentu yang berkaitan dengan tenaga kerja, ketersediaan waktu, dan sebagainya. Batasan-batasan ini dapat dinyatakan sebagai sistem persamaan linier.

3.3. Sistem Persamaan Linier Homogen

Sistem persamaan linier homogen adalah sistem persamaan linier di mana semua konstanta di sisi kanan bernilai nol. Sistem persamaan linier $AX = B$ dikatakan homogen jika semua suku konstan bernilai nol, yaitu $B = 0$. Dalam hal ini, sistem tersebut menjadi

$$AX = 0.$$

Dalam bentuk matriks, sistem tersebut dapat ditulis sebagai

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = 0$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = 0$$

$$\vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n = 0$$

Setiap sistem persamaan linier yang homogen merupakan sistem yang konsisten, karena

$$x_1 = 0, x_2 = 0, \dots, x_n = 0$$

selalu memenuhi sistem persamaan tersebut. Solusi ini disebut solusi trivial atau solusi nol.

Karena semua suku konstan bernilai nol, maka jika dilakukan OBE, suku konstan tersebut tetap bernilai nol; oleh karena itu, matriks lengkap dari sistem persamaan linier homogen ini sering kali tidak menyertakan kolom konstan pertama. Kasus khusus dari persamaan linier homogen adalah dua persamaan dengan dua variabel.

Sistem persamaan linier yang terdiri dari dua persamaan memiliki beberapa solusi. Hal ini karena dalam sistem persamaan linier homogen, sisi kanan setiap persamaan bernilai nol, sehingga ketika dilakukan operasi baris elementer (OBE), tidak akan terjadi perubahan. Oleh karena itu, untuk mencari solusinya, tidak perlu menggunakan matriks lengkap; cukup menggunakan matriks koefisien saja.

Salah satu aspek mendasar dalam aljabar linier adalah menyelesaikan sistem persamaan linier. Di antara sistem-sistem tersebut, sistem persamaan linier homogen memiliki arti penting tersendiri karena sifat-sifat uniknya serta penerapannya di berbagai bidang. Dalam artikel ini, kita akan memahami sistem persamaan linier homogen, mengkaji karakteristiknya, metode penyelesaiannya, serta implikasinya dalam kehidupan nyata.

3.4. Operasi Triangulasi dan Proses Backward Substitusi

Operasi triangulasi adalah proses mengubah sistem persamaan linier atau matriks koefisien menjadi matriks segitiga atas melalui operasi baris elementer. Metode dasar untuk menyelesaikan sistem persamaan linier adalah dengan mengganti sistem yang diberikan dengan sistem baru yang memiliki himpunan akar yang sama, namun lebih mudah diselesaikan. Sistem baru ini umumnya diperoleh melalui serangkaian langkah untuk menyederhanakan sistem persamaan linier dengan menerapkan tiga operasi dasar, yaitu:

1. Persamaan P_i dikalikan dengan suatu konstanta sembarang λ , dan hasilnya ditempatkan pada posisi persamaan P_i . Operasi ini dinyatakan dengan $(\lambda P_i) \rightarrow (P_i)$.
2. Persamaan P_i dikalikan dengan konstanta sembarang λ , kemudian dijumlahkan dengan persamaan P_i , dan hasilnya ditempatkan pada posisi persamaan P_i . Operasi ini dinyatakan dengan $(P_i + \lambda P_i) \rightarrow (P_i)$.
3. Persamaan P_i dan P_j dapat ditukar tempatnya. Operasi ini dilambangkan dengan rumus (Supriyanto, 2008) : $(P_i) \rightarrow (P_j)$.

Dimana : $i = 1, 2, 3, \dots, n$ dan $j = i + 1, i + 2, \dots, i + n$.

Triangulasi merupakan langkah awal dalam metode eliminasi Gauss, yang bertujuan untuk menyederhanakan suatu sistem persamaan dan memudahkan penyelesaiannya. Secara matematis, proses ini menghilangkan variabel secara bertahap, mulai dari variabel pertama hingga yang terakhir, sehingga menghasilkan sistem persamaan yang sederhana. Dengan menerapkan ketiga aturan operasional ini, sistem persamaan linier yang lebih sederhana dapat diperoleh. Tahap ini disebut sebagai operasi triangulasi.

Selanjutnya, dilakukan proses Backward substitusi. Backward Substitusi atau substitusi terbalik adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan solusi dari suatu sistem persamaan linier setelah matriks berada dalam bentuk segitiga atas. Melalui proses ini, nilai-nilai variabel ditentukan secara berurutan, dimulai dari variabel terakhir, sedemikian rupa sehingga nilai-nilai yang diperoleh memenuhi sistem persamaan linier asli sebelum penyederhanaan.

3.5. Penyelesaian dengan Menggunakan Triangulasi dan Backward Substitusi

Pertimbangkan sistem persamaan linier berikut ini:

$$P_1 : x_1 - x_2 + 2x_3 - x_4 - x_5 = -9$$

$$P_2 : -3x_1 + x_2 - 5x_3 + x_4 + 2x_5 = 14$$

$$P_3 : 2x_1 + 4x_2 - 2x_3 + 3x_4 + 2x_5 = -26$$

$$P_4 : x_1 - x_2 - 5x_3 + 2x_4 + 3x_5 = -13$$

$$P_5 : 2x_1 + x_2 + 3x_3 - 9x_4 + 3x_5 = 13$$

Berdasarkan aturan yang telah dijelaskan sebelumnya, penyelesaian sistem persamaan

linier di atas dapat diperoleh melalui langkah-langkah berikut:

Step 1

Gunakan persamaan P_1 untuk menghilangkan variabel x_1 dari persamaan P_2, P_3, P_4 , dan P_5 dengan menerapkan operasi-operasi berikut :

$$(P_2 + 3P_1) \rightarrow P_2, (P_3 - 2P_1) \rightarrow P_3,$$

$$(P_4 - P_1) \rightarrow P_4, (P_5 - 2P_1) \rightarrow P_5.$$

Sistem yang dihasilkan adalah:

$$P_1 : x_1 - x_2 + 2x_3 - x_4 - x_5 = -9$$

$$P_2 : -2x_2 + x_3 - 4x_4 - x_5 = -13$$

$$P_3 : -2x_2 - 2x_3 - x_4 + 4x_5 = -8$$

$$P_4 : 2x_2 - 7x_3 + 3x_4 - 2x_5 = -4$$

$$P_5 : 2x_2 - x_3 + 11x_4 + 5x_5 = 31$$

Step 2

Gunakan persamaan P_2 untuk menghilangkan variabel x_2 dari persamaan P_3, P_4 , dan P_5 dengan menerapkan

$$(P_3 - P_2) \rightarrow P_3, (P_4 + P_2) \rightarrow P_4, (P_5 + P_2) \rightarrow P_5.$$

Sistem yang dihasilkan menjadi:

$$P_1 : x_1 - x_2 + 2x_3 - x_4 - x_5 = -9$$

$$P_2 : -2x_2 + x_3 - 4x_4 - x_5 = -13$$

$$P_3 : -3x_3 + 3x_4 + 5x_5 = 5$$

$$P_4 : -6x_3 - x_4 - 3x_5 = -17$$

$$P_5 : -7x_4 + 4x_5 = 18$$

Step 3

Gunakan persamaan P_3 untuk menghilangkan variabel x_3 dari persamaan P_4 dengan menerapkan

$$(P_4 - 2P_3) \rightarrow P_4$$

Sistem tersebut menjadi:

$$P_1 : x_1 - x_2 + 2x_3 - x_4 - x_5 = -9$$

$$P_2 : -2x_2 + x_3 - 4x_4 - x_5 = -13$$

$$P_3 : -3x_3 + 3x_4 + 5x_5 = 5$$

$$P_4 : -7x_4 - 13x_5 = -27$$

$$P_5 : -7x_4 + 4x_5 = 18$$

Step 4

Gunakan persamaan P_4 untuk menghilangkan variabel x_4 dari persamaan P_5 dengan menerapkan

$$(P_5 + P_4) \rightarrow P_5.$$

Sistem yang dihasilkan adalah:

$$P_1 : x_1 - x_2 + 2x_3 - x_4 - x_5 = -9$$

$$P_2 : -2x_2 + x_3 - 4x_4 - x_5 = -13$$

$$P_3 : -3x_3 + 3x_4 + 5x_5 = 5$$

$$P_4 : -7x_4 - 13x_5 = -27$$

$$P_5 : -9x_5 = -9$$

Bentuk akhir dari sistem di atas dikenal sebagai bentuk segitiga. Hingga Langkah 4, sistem persamaan linier tersebut telah berhasil disederhanakan, sehingga memudahkan

penentuan nilai semua variabel, sebagaimana dijelaskan pada langkah berikutnya.

Step 5: Backward Substitusi

Selanjutnya, proses substitusi mundur diterapkan. Melalui proses ini, nilai x_5 diperoleh terlebih dahulu, diikuti oleh x_4 , kemudian x_3 , x_2 , dan akhirnya x_1 :

$$P_5 : x_5 = \frac{-9}{-9} = 1,$$

$$P_4 : x_4 = -(-27 + 13x_5) = -[-27 + 13(1)] = 2,$$

$$P_3 : x_3 = -(5 - 3x_4 - 5x_5) = -[5 - 3(2) - 5(1)] = 2,$$

$$P_2 : x_2 = -(-13 - x_3 + 4x_4 + x_5) = -[-13 - 2 + 4(2) + 1] = 3,$$

$$P_1 : x_1 = -9 + x_2 - 2x_3 + x_4 + x_5 = -9 + 3 - 2(2) + 2 + 1 = -7.$$

Dengan demikian, solusi dari sistem tersebut adalah:

$$x_1 = -7, x_2 = 3, x_3 = 2, x_4 = 2, x_5 = 1.$$

Triangularisasi dan substitusi mundur adalah dua langkah yang saling terkait dalam metode eliminasi Gauss. Triangularisasi menyederhanakan sistem persamaan menjadi bentuk segitiga atas, sedangkan substitusi mundur digunakan untuk memperoleh solusi akhir. Kombinasi kedua metode ini memberikan pendekatan yang sistematis, efisien, dan mudah diterapkan, baik secara manual maupun dengan komputer.

IV. PENUTUP

Berdasarkan hasil pembahasan yang dijelaskan di atas, penulis dapat menyimpulkan bahwa untuk menemukan solusi sistem persamaan linier dengan mudah, cepat, dan tanpa memakan waktu lama, Anda dapat menggunakan operasi triangulasi dan Backward substitusi. Sistem persamaan linier homogen merupakan bagian penting dari aljabar linier karena sistem tersebut selalu memiliki solusi trivial dan berpotensi memiliki solusi tak terhingga. Struktur solusi yang dihasilkan berkaitan erat dengan konsep ruang vektor, sehingga memiliki banyak aplikasi dalam bidang sains dan teknologi.

Triangulasi dan Backward substitusi merupakan metode yang efektif untuk menyelesaikan sistem persamaan linier. Dengan mengubah sistem tersebut ke dalam bentuk segitiga atas, penyelesaiannya dapat dilakukan secara bertahap dan terstruktur, sehingga metode ini sangat penting dalam studi aljabar linier dan perhitungan numerik.

Bahwa triangulasi dan Backward substitusi merupakan metode yang efektif dan efisien untuk menyelesaikan sistem persamaan linier. Kedua

metode ini tidak hanya penting secara teoritis, tetapi juga memainkan peran penting dalam aplikasi praktis dan komputasi modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Anton Howard. (1987). *Aljabar Linear Elementer* ". edisi kelima (Erlangga : Jakarta).
- Anton Howard, dkk. (2004). *Aljabar Linear Elementer Versi Aplikasi* ". edisi kedelapan jilid 1 (rlangga).
- Anton, Howard. (2005). *Elementary Linear Algebra (Applications Version)* (Edisi 9th), Wiley International.
- Gantmacher, F. R. (2005). *The Theory of Matrices*. AMS Chelsea Publishing. (Untuk teori matriks secara umum).
- H.S. Suryadi, (1991). *Pengantar Aljabar Linier dan Geometri Analitik*. (Gunadarma: Jakarta).
- Lay, D. C. (2016). *Linear Algebra and Its Applications* (5th ed.)
- Leon, Steven J. (2006). *Linear Algebra with Applications* (Edisi 7th), Pearson Prentice Hall
- Lay, David C. (2005). *Linear Algebra and Its Applications* (Edisi 3rd), Addison Wesley, ISBN 978-0-321-28713-7
- Lay, David C. (2016). *Linear Algebra and Its Applications*. 5th ed. Boston: Pearson.
- Levy, H. (2013). *Linear Algebra and Its Applications*. 3rd edition. New York: Dover Publications.
- Meyer, Carl D. (2001). *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra, Society for Industrial and Applied Mathematics* (SIAM). ISBN 978-0-89871-454-8, diarsipkan dari asli tanggal 2009-10-31, diakses tanggal 2017-11-28.
- Poole, David. (2006). *Linear Algebra: A Modern Introduction* (Edisi 2nd), Brooks/Cole, ISBN 0-534-99845-3.
- Ruwanto Bambang. (2002). *Matematika untuk Fisika dan Teknik* (Adicita).
- Suparno Supriyanto. (2008). *Komputasi untuk Sains dan Teknik*. Edisi II Revisi Terakhir. <http://supriyanto.fisika.ui.edu>.
- Strang, G. (2016). *Linear Algebra and Its Applications*. 5th edition. Boston: Brooks Cole.
- (Sebagai sumber tambahan yang sering dijadikan rujukan).
- Varga, R. S. (2009). *Matrix Iterative Analysis*. New York: Springer Verlag. (Untuk mendukung bagian teori matriks dan iterasi).



Copyright© Juli 2026. ????????, ????????, ????????

