



## PENERAPAN METODE ESELON BARIS TEREDUKSI PADA REKAYASA VOLUME LALU LINTAS

Tetty Natalia Sipayung, Inne Kristina Gulo  
Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia

---

### ***Corresponding Author:***

Tetty Natalia Sipayung,  
Program Studi Pendidikan Matematika,  
Universitas Katolik Santo Thomas,  
Jl. Setia Budi No.479-F Tanjung Sari, Medan, Indonesia.  
Email: [tetty\\_sipayung@ust.ac.id](mailto:tetty_sipayung@ust.ac.id)  
Contact Person: 0821-6832-5206

### ***Informasi Artikel:***

Diterima : 16 Juli 2023  
Direvisi : 27 Juli 2023  
Diterima : 30 Juli 2023

---

### ***How to Cite:***

Sipayung, T. N., Gulo, I. K (2023). Penerapan Metode Eselon Baris Tereduksi pada Rekayasa Volume Lalu Lintas. *Jurnal Theorems (The Original Research of Mathematics)*. 8(1), 231-240.

---

### ABSTRAK

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu permasalahan transportasi darat dan menjadi pusat perhatian khususnya bagi pengguna lalu lintas di kota-kota besar. Melalui studi literatur dengan metode deskriptif dilakukan kajian dengan tujuan untuk memperkirakan volume lalu lintas pada setiap persimpangan dua kelompok jalan satu arah yang terhubung dan berpotongan. Langkah awal studi ini yaitu melakukan kajian literatur dan menyajikan beberapa definisi yang diperlukan. Kedua, membuat perumusan masalah rekayasa volume lalu lintas. Ketiga, menentukan variabel-variabel dan membuat asumsi. Terdapat empat variabel yang dilibatkan. Keempat, membentuk model matematis. Model yang dihasilkan adalah berbentuk sistem persamaan linear non homogen. Kelima, menentukan solusi dan interpretasi model. Model tersebut diinterpretasikan dalam bentuk matriks diperbesar dan melalui penerapan metode eselon baris tereduksi diperoleh hasil bahwa sistem tersebut konsisten dan memiliki rank yaitu tiga. Keenam, implementasi dengan bantuan MATLAB. Ketujuh, penarikan kesimpulan. Melalui studi ini disimpulkan bahwa volume jumlah kendaraan ketiga jalur bergantung pada satu jalur lainnya.

**Kata kunci:** Metode eselon baris, tereduksi, lalu lintas.

### ABSTRACT

Traffic congestion is one of the problems of land transportation and is the center of attention, especially for traffic users in big cities. Through a literature study using a descriptive method, a study was carried out with the aim of estimating the traffic volume at each intersection of two groups of connected and intersecting one-way roads. The initial step of this study is to conduct a literature review and provide some of the necessary definitions. Second, make the formulation of traffic volume engineering problems. Third, determine the variables and make assumptions. There are four variables involved. Fourth, form a mathematical model. The resulting model is in the form of a system of non-homogeneous linear equations. Fifth, determine the solution and interpretation of the model. The model is interpreted in the form of an enlarged matrix and through the application of the reduced row echelon method the result is that the system is consistent and has a rank of three. Sixth, implementation with the help of MATLAB. Seventh, drawing conclusions. Through this study, it was concluded that the volume of the number of vehicles in the three lanes depends on one other lane.

**Keywords:** Row echelon method, reduced, traffic.

## PENDAHULUAN

Persentase kepadatan penduduk yang tinggi menjadi indikator peningkatan jumlah mobil pribadi, peningkatan jumlah kendaraan angkutan barang, dan juga bertambahnya jumlah pejalan kaki di lalu lintas (Fedorov dkk., 2019). Pada umumnya khususnya di kota-kota modern, terdapat beberapa masalah yang dapat ditimbulkan berhubungan dengan populasi besar dan jumlah kendaraan seperti: kemacetan, kecelakaan, dan polusi udara (W. Chen dkk., 2015).

Setiap tahun sejumlah uang dialokasikan untuk memecahkan masalah transportasi di suatu negara khususnya di negara maju. Hal tersebut merupakan bagian dari perencanaan dalam pendistribusian APBN namun karena meningkatnya jumlah kepemilikan mobil bahkan lebih besar dari perkembangan perencanaan transportasi maka solusi atas masalah transportasi merupakan tetap dianggap sebagai salah satu tugas yang paling penting (Novikov dkk., 2019). Salah satu masalah di bidang transportasi adalah kemacetan lalu lintas dan itu menjadi isu global (Afrin & Yodo, 2020). Kecelakaan lalu lintas dapat dijadikan sebagai gambaran untuk memahami perbedaan manajemen lalu lintas dan seluruh system transportasi. Hal tersebut umumnya diketahui melalui penelitian dan angka statistik kecelakaan (Soehodho, 2017).

Sebagian besar klasifikasi penyebab kecelakaan lebih berfokus pada kesalahan pengguna jalan. Oleh karena itu diperlukan analisis komprehensif dari semua faktor yang berkontribusi terhadap penyebab kecelakaan lalu lintas dengan menyertakan latar belakang keadaan secara terperinci (Bucsuházy dkk., 2020). Terdapat beberapa faktor penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas. Beberapa diantaranya adalah: perilaku pengemudi, cuaca, dan kondisi jalan (Q. Chen dkk., 2016). Kecelakaan lalu lintas sering dikaitkan dengan perilaku dalam mengemudi terutama ditentukan oleh karakternya si pengemudi seperti: usia, pengalaman, dan gaya dalam mengemudi (Hu dkk., 2020).

Kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu musibah yang tidak dapat diduga terjadi dan dapat menimbulkan berbagai jenis kerugian seperti: kerugian materi, kerugian fisik, bahkan dapat merenggut nyawa manusia (Sugiyanto, 2017). Kecelakaan lalu lintas mempengaruhi arus dan operasi lalu lintas dan menyebabkan cedera yang serius bahkan menimbulkan kematian (Ali dkk., 2021), kerusakan yang tidak dapat diperbaiki (Zhang dkk., 2018). Insiden di jalan raya dapat menjadi faktor utama penyebab rendahnya efisiensi dan pemanfaatan jalan tersebut (Dogru & Subasi, 2018). Kecelakaan lalu lintas berdampak buruk terhadap kesehatan di seluruh dunia (Choi dkk., 2016).

Menurut info yang beredar selama dekade terakhir bahwa telah terjadi kemajuan luar biasa dalam transportasi dan rekayasa lalu lintas. Hal tersebut disebabkan karena penggunaan agen teknologi dalam bidang transportasi (Bazzan & Klügl, 2014). Selain itu prediksi lalu lintas dianggap sebagai topik yang penting dan menantang baik ditinjau dari sisi akademis maupun industri dan bermanfaat untuk membantu pengguna jalan dalam membuat keputusan perjalanan yang lebih baik, meningkatkan efisiensi operasi lalu lintas, mengurangi emisi karbon, dan mengurangi kemacetan lalu lintas (Tian dkk.,

2018). Studi dalam memprediksi lalu lintas tradisional menggunakan model matematika yaitu melalui pendekatan berbasis model dan pendekatan berbasis data (Yu dkk., 2017). Model arus lalu lintas dapat digunakan untuk memahami, menggambarkan dan memprediksi arus lalu lintas sejak awal abad ke-20 (Van Wageningen-Kessels dkk., 2015).

Salah satu contoh model yang dapat dibentuk yaitu berupa sistem persamaan linear. Sistem persamaan linear merupakan bagian dari ilmu aljabar. Beberapa studi terdahulu yang menerapkan aljabar yaitu studi permasalahan rangkaian listrik dengan metode Cramer dan scilab (Anam & Arnas, 2019) dan studi permasalahan berkaitan kesetimbangan kimia dengan metode eliminasi Gauss-Jordan (Krishna dkk., 2020). Namun dalam hal ini yang akan dikaji adalah rekayasa volume lalu lintas dengan metode eselon baris tereduksi.

Melalui sistem persamaan linear dapat dibentuk matriks. Dalam matriks terdapat property yang sangat penting yaitu rank (Lipschutz & Lipson, 2009). Kekonsistenan sistem dapat ditentukan melalui metode eselon baris tereduksi dari *augmented matrix* (Shankar, 2017). Banyaknya baris yang tidak nol dari *augmented matrix* tersebut disebut rank (Nicholson, 1995). Untuk lebih memperjelas pendefinisian istilah yang dilibatkan dalam studi ini maka disajikan definisi-definisi sebagai berikut:

**Definisi:** (Shores, 2018)

Suatu system linear dengan  $m$  persamaan pada  $n$  variable yang tidak diketahui  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  adalah suatu persamaan dari bentuk

$$\begin{aligned}
 a_{11}r_1 + a_{12}r_2 + a_{13}r_3 + \dots + a_{1j}r_j + \dots + a_{1n}r_n &= b_1 \\
 a_{21}r_1 + a_{22}r_2 + a_{23}r_3 + \dots + a_{2j}r_j + \dots + a_{2n}r_n &= b_2 \\
 a_{31}r_1 + a_{32}r_2 + a_{33}r_3 + \dots + a_{3j}r_j + \dots + a_{3n}r_n &= b_3 \\
 &\vdots \\
 a_{i1}r_1 + a_{i2}r_2 + a_{i3}r_3 + \dots + a_{ij}r_j + \dots + a_{in}r_n &= b_i \\
 &\vdots \\
 a_{m1}r_1 + a_{m2}r_2 + a_{m3}r_3 + \dots + a_{mj}r_j + \dots + a_{mn}r_n &= b_m
 \end{aligned} \tag{1}$$

**Definisi:** (Lipschutz & Lipson, 2009)

Secara umum, system (1) ekuivalen dengan persamaan matriks

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3j} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \vdots \\ r_j \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_i \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \text{ atau } AR = B \tag{2}$$

Dimana  $A = [a_{ij}]$  adalah matriks koefisien,  $R = [r_j]$  adalah vektor kolom yang tidak diketahui, dan  $B = [b_j]$  adalah konstanta vektor kolom. Secara umum persamaan  $AR = B$  yang mewakili sistem persamaan disebut homogen jika  $B$  nol. Jika tidak, maka persamaan tersebut disebut tidak homogen (Nur-E-Arefin, 2021)(Shankar, 2017). Suatu matriks yang berbentuk

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3j} & \dots & a_{3n} & b_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ a_{ij} & a_{i2} & a_{i3} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} & b_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} & b_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

dinamakan *augmented matrix* (Hidajati, 2010).

**Definisi:** (Lipschutz & Lipson, 2009)

Sistem persamaan linear dikatakan tidak konsisten apabila tidak mempunyai solusi, namun jika memiliki solusi setidaknya satu maka dinamakan system tersebut konsisten.

**Definisi:** (Anton & Rorres, 2014)

Jika suatu sistem persamaan linier memiliki tak berhingga banyaknya solusi maka himpunan persamaan parametrik dengan semua solusinya diperoleh melalui penetapan nilai numerik parameternya maka solusi tersebut disebut solusi umum dari sistem.

**Definisi:** (Nicholson, 1995)

Operasi baris elementer pada matriks meliputi: (i) pertukarkan dua baris, (ii) kalikan satu baris dengan suatu bilangan yang tidak nol; (iii) tambahkan suatu perkalian dari satu baris ke sebuah baris yang berbeda atau dapat menggunakan simbol-simbol dengan ketentuan sebagai berikut:

$E_{ij}$  : Pertukarkan baris  $i$  dan baris  $j$ .

$E_i(c)$  : Kalikan baris  $i$  dengan bilangan  $c$

$E_{ij}(d)$  : Tambahkan baris  $i$  dengan  $d$  kali baris  $j$

**Definisi:** (Lipschutz & Lipson, 2009)

Rank dari matriks  $A$  ditulis  $\text{rank}(A)$  sama dengan jumlah pivot dalam bentuk eselon matriks tersebut.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi literatur dengan metode deskriptif. Teknik analisis penelitian ini dengan menentukan solusi atas permasalahan dengan metode eselon baris tereduksi dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) membuat rekayasa lalu lintas sebagai rumusan masalah; (2) menentukan

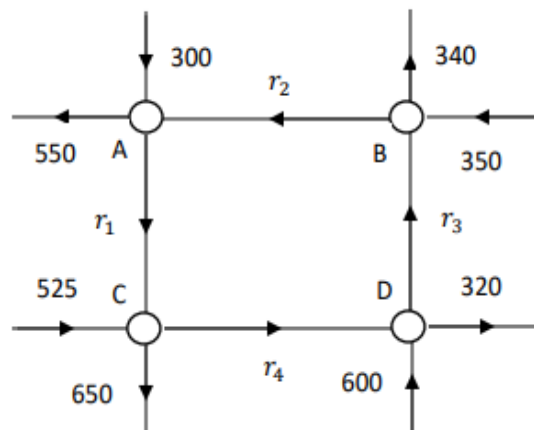
variabel operasional berupa titik persimpangan jalan dan titik lintasan dan menentukan asumsi yang digunakan; (3) membentuk model Sistem Persamaan Linear (SPL); (4) mencari solusi dan interpretasi model yaitu penentuan banyaknya kendaraan yang melintas dengan menerapkan metode eselon baris tereduksi dengan didasarkan model SPL non homogen yang telah terbentuk yang diinterpretasikan dalam *augmented matrix*; (5) melakukan implementasi dengan menggunakan software MATLAB; (6) melakukan penarikan kesimpulan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

Asumsi:

1. Pengambilan data volume lalu lintas tergambar selama satu jam dari pukul 16.00 Wib sampai pukul 17.00 Wib.
2. Setiap perempatan jalan yang berpotongan pada waktu tertentu terdapat dua kelompok jalan satu arah.
3. Jenis kendaraan meliputi: kendaraan beroda dua, beroda tiga, dan beroda empat.
4. Banyaknya kendaraan yang masuk sama dengan banyaknya kendaraan yang keluar pada setiap perempatan.



**Gambar 1.** Volume Lalu Lintas pada Setiap Perempatan Jalan Satu Arah

Keterangan:

$r_1$  : jumlah kendaraan pada jalur 1 (antara perempatan A dan C)

$r_2$  : jumlah kendaraan pada jalur 2 (antara perempatan A dan B)

$r_3$  : jumlah kendaraan pada jalur 3 (antara perempatan B dan D)

$r_4$  : jumlah kendaraan pada jalur 4 (antara perempatan C dan D)

A, B, C, D: perempatan dari dua kelompok jalan

Berdasarkan asumsi dan gambar diperoleh kesetimbangan dengan rumus:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{jumlah volume kendaraan} \\ \text{yang masuk} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{jumlah volume kendaraan} \\ \text{yang keluar} \end{array} \right\} \quad (4)$$

Dengan demikian, model volume atau arus lalu lintas yang terbentuk adalah sebagai berikut:

Pada perempatan A:

$$\begin{aligned} r_2 + 300 &= r_1 + 550 \rightarrow r_1 - r_2 = 300 - 550 \\ &\rightarrow r_1 - r_2 = -250 \end{aligned} \quad (5)$$

Pada perempatan B:

$$\begin{aligned} r_3 + 350 &= r_2 + 340 \rightarrow r_2 - r_3 = 350 - 340 \\ &\rightarrow r_2 - r_3 = 10 \end{aligned} \quad (6)$$

Pada perempatan C:

$$\begin{aligned} r_1 + 525 &= r_4 + 650 \rightarrow r_4 - r_1 = 525 - 650 \\ &\rightarrow r_1 - r_4 = 125 \end{aligned} \quad (7)$$

Pada perempatan D:

$$\begin{aligned} r_4 + 600 &= r_3 + 320 \rightarrow r_3 - r_4 = 600 - 320 \\ &\rightarrow r_3 - r_4 = 280 \end{aligned} \quad (8)$$

Keempat persamaan tersebut membentuk sistem persamaan linear dengan empat variabel yaitu sebagai berikut:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1 - r_2 = -250 \\ r_2 - r_3 = 10 \\ r_1 - r_4 = 125 \\ r_3 - r_4 = 280 \end{array} \right. \quad (9)$$

Dari sistem persamaan (9) tersebut dapat disajikan persamaan matriks yaitu  $AR = B$ .

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -250 \\ 10 \\ 125 \\ 280 \end{bmatrix}$$

Dengan demikian, matriks yang diperbesarnya (*augmented matrix*) yaitu

$$[A : B] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & -250 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 10 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 125 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 280 \end{bmatrix}$$

dengan bilangan yang tidak diketahui yaitu  $n = 4$  yaitu  $r_i$ ;  $i = 1,2,3,4$ .

Dalam menentukan penyelesaian sistem persamaan linear tersebut maka diterapkan metode eselon baris tereduksi pada matriks tersebut dengan tahapan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & -250 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 10 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 125 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 280 \end{bmatrix} \xrightarrow{E_{31}(-1)} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & -250 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 10 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 375 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 280 \end{bmatrix} \xrightarrow{E_{12}(1)} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & -240 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 10 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 365 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 280 \end{bmatrix} \\ & \xrightarrow{E_{43}(-1)} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & -240 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 365 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -85 \end{bmatrix} \xrightarrow{E_{13}(1)} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 125 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 375 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 365 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{E_4\left(-\frac{1}{85}\right)} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 125 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 375 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 365 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{E_{14}(-125)} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ & \xrightarrow{E_{24}(-375)} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{E_{34}(-365)} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Dengan demikian  $[A : B] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \text{rank } [A : B] = 3$

Hasil akhir matriks tersebut sesuai dengan hasil simulasi MATLAB berikut:

```
>> A=[1 -1 0 0 -250;0 1 -1 0 10;1 0 0 -1 125;0 0 1 -1 280];
>> R = rref(A);
>> [N,D] = rat(R);
>> N;
>> D;
>> format rat
>> R
```

```
R =
     1     0     0    -1     0
     0     1     0    -1     0
     0     0     1    -1     0
     0     0     0     0     1
```

## PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil akhir dari matriks tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut konsisten dan mempunyai banyak penyelesaian. Jika  $r_4 = 500$  maka dapat dicari  $r_1, r_2, r_3$  yaitu sebagai berikut:

$$r_1 - r_4 = 125 \rightarrow r_1 = 125 + r_4 = 125 + 500 = 625$$

$$r_1 - r_2 = -250 \rightarrow r_2 = 250 + r_1 = 250 + 625 = 875$$

$$r_2 - r_3 = 10 \rightarrow r_3 = r_2 - 10 = 875 - 10 = 865$$

$$r_3 - r_4 = 280 \rightarrow r_4 = r_3 - 280 = 865 - 280 = 585$$

Dengan demikian volume jumlah kendaraan pada jalur  $r_1, r_2, r_3$  tergantung pada  $r_4$ .

## KESIMPULAN

Volume lalu lintas yang dimodelkan dengan data yang ada membentuk system persamaan linear non homogen berbentuk  $AR = B$  melalui matriks diperbesarnya  $[A : B]$  dengan menggunakan metode eselon baris tereduksi menghasilkan sistem yang konsisten dan mempunyai tak hingga banyaknya solusi dimana volume jumlah kendaraan pada jalur  $r_1, r_2, r_3$  tergantung pada  $r_4$ . Selain itu diketahui juga rank  $[A : B] = 3$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Katolik Santo Thomas atas dukungannya dalam mempublikasikan tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrin, T., & Yodo, N. (2020). A Survey of Road Traffic Congestion Measures Towards a Sustainable and Resilient Transportation System. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su12114660>
- Ali, F., Ali, A., Imran, M., Naqvi, R. A., Siddiqi, M. H., & Kwak, K. S. (2021). Traffic Accident Detection and Condition Analysis Based on Social Networking Data. *Accident Analysis and Prevention*, *151*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.105973>
- Anam, K., & Arnas, Y. (2019). Metoda Cramer Untuk Solusi Analisa Rangkaian Listrik Menggunakan Scilab. *Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru*, *12*(1), 61–68.
- Anton, H., & Rorres, C. (2014). *Elementary Linear Algebra Applications Version* (11th Edition). Wiley.
- Bazzan, A. L. C., & Klügl, F. (2014). A Review on Agent-Based Technology for Traffic and Transportation. Dalam *Knowledge Engineering Review* (Vol. 29, Nomor 3, hlm. 375–403). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0269888913000118>
- Bucsuházy, K., Matuchová, E., Zůvala, R., Moravcová, P., Kostíková, M., & Mikulec, R. (2020). Human Factors Contributing to the Road Traffic Accident Occurrence. *Transportation Research Procedia*, *45*, 555–561. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.057>
- Chen, Q., Song, X., Yamada, H., & Shibasaki, R. (2016). Learning Deep Representation from Big and Heterogeneous Data for Traffic Accident Inference. *Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 338–344. [www.aaai.org](http://www.aaai.org)
- Chen, W., Guo, F., & Wang, F. Y. (2015). A Survey of Traffic Data Visualization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *16*(6), 2970–2984. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2436897>





- Choi, S. H., Gu, J. H., & Kang, D. H. (2016). Analysis of Traffic Accident-Related Facial Trauma. *Journal of Craniofacial Surgery*, 27(7), 1682–1685. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000002916>
- Dogru, N., & Subasi, A. (2018). Traffic Accident Detection Using Random Forest Classifier. *15th Learning and Technology Conference (L&T)*, 40–45.
- Fedorov, A., Nikolskaia, K., Ivanov, S., Shepelev, V., & Minbaleev, A. (2019). Traffic Flow Estimation with Data from a Video Surveillance Camera. *Journal of Big Data*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0234-z>
- Hidajati, N. W. (2010). Pendekatan Volume Lalu Lintas pada Setiap Perempatan dengan Metode Eselon Baris Tereduksi. *Jurnal Teknik*, 8(2), 68–73.
- Hu, L., Bao, X., Wu, H., & Wu, W. (2020). A Study on Correlation of Traffic Accident Tendency with Driver Characters Using In-Depth Traffic Accident Data. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/9084245>
- Krishna, Y. H., Bindu, P., Yaragani, V., Vijaya, N., & Makinde, O. D. (2020). Application of Gauss-Jordan Elimination Method in Balancing Typical Chemical Equations. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(01), 465–468. <https://doi.org/10.1021/ed074p1359>
- Lipschutz, Seymour., & Lipson, Marc. (2009). *Linear Algebra Schaum's Outlines* (Fourth). McGraw-Hill.
- Nicholson, W. K. (1995). *Linear Algebra with Applications* (Third). PWS Publishing Company.
- Novikov, A., Novikov, I., & Shevtsova, A. (2019). Modeling of Traffic-Light Signalization Depending on the Quality of Traffic Flow in the City. *Journal of Applied Engineering Science*, 17(2), 175–181. <https://doi.org/10.5937/jaes17-18117>
- Nur-E-Arefin, M. (2021). A Unique Approach to Solve the System of Linear Equations. *International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences www.IJITIS.org*, 4(1), 623–633. <https://doi.org/10.1515/IJITIS.2021.4.1.623-633>
- Shankar, P. M. (2017). Pedagogy of Solutions to a Set of Linear Equations Using a Matlab Workbook. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(3), 345–351. <https://doi.org/10.1002/cae.21803>
- Shores, T. S. (2018). *Applied Linear Algebra and Matrix Analysis* (Second). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74748-4>
- Soehodho, S. (2017). Public Transportation Development and Traffic Accident Prevention in Indonesia. Dalam *IATSS Research* (Vol. 40, Nomor 2, hlm. 76–80). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.05.001>



- Sugiyanto, G. (2017). The Cost of Traffic Accident and Equivalent Accident Number in Developing Countries (Case Study in Indonesia). *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(2), 389–397. [www.arpnjournals.com](http://www.arpnjournals.com)
- Tian, Y., Zhang, K., Li, J., Lin, X., & Yang, B. (2018). LSTM-Based Traffic Flow Prediction with Missing Data. *Neurocomputing*, 318, 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.08.067>
- Van Wageningen-Kessels, F., Van Lint, H., Vuik, K., & Hoogendoorn, S. (2015). Genealogy of Traffic Flow Models. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 4(4), 445–473. <https://doi.org/10.1007/s13676-014-0045-5>
- Yu, H., Wu, Z., Wang, S., Wang, Y., & Ma, X. (2017). Spatiotemporal Recurrent Convolutional Networks for Traffic Prediction in Transportation Networks. *Sensors*, 17(7), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s17071501>
- Zhang, Z., He, Q., Gao, J., & Ni, M. (2018). A Deep Learning Approach for Detecting Traffic Accidents from Social Media Data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86, 580–596. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.11.027>