



IMPLEMENTASI METODE ELIMINASI *GAUSS-JORDAN* DAN DEKOMPOSISI *CROUT* DALAM MEMPREDIKSI VOLUME LALU LINTAS

Eva Lailatul Munawaroh✉, Isnarto

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima September 2021
Disetujui November 2021
Dipublikasikan November 2021

Keywords:

Volume Lalu Lintas;
Eliminasi Gauss-Jordan;
Dekomposisi Crout

Abstrak

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang lewat pada suatu titik di ruas jalan pada periode waktu tertentu. Tujuan pokok penelitian ini adalah memprediksi volume lalu lintas di Jalan Pemuda Kota Semarang dengan menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *Crout* dan menentukan alternatif solusi untuk mengatasi kemacetan. Pengambilan data dilakukan dengan *traffic counting* pada setiap persimpangan di sepanjang Jalan Pemuda, Jalan Imam Bonjol, dan Jalan Kapten Pierre Tendean Kota Semarang. Model sistem persamaan linear dibentuk berdasarkan data yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan kedua metode tersebut untuk menentukan banyaknya kendaraan yang melintas. Penelitian ini memberikan simpulan bahwa volume lalu lintas yang diperoleh menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *Crout* pada setiap titik lintasan di sepanjang Jalan Pemuda Kota Semarang dari pagi hari menuju siang dan sore hari secara keseluruhan mengalami kepadatan. Dari kedua metode tersebut menunjukkan bahwa metode eliminasi *Gauss-Jordan* lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan metode dekomposisi *Crout*. Perbandingan kedua metode tersebut dapat dilihat dari banyaknya langkah penyelesaian, banyaknya operasi aritmatika, dan ketepatan memperoleh solusi.

Abstract

Traffic volume is the number of vehicles passing at a point on a particular road at a certain period of time. The main purpose of this study was to predict the volume of traffic on Pemuda Street Semarang City using Gauss-Jordan elimination and Crout decomposition methods and determine alternative solutions to overcome congestion. Data collection is done by traffic counting at every intersection along Pemuda Street, Imam Bonjol Street, and Kapten Pierre Tendean, Semarang City. The linear equation system model is formed based on the data that has been obtained and then processed using both methods to find the number of vehicles passing through. This study concluded that the volume of traffic obtained using the Gauss-Jordan elimination and Crout decomposition at each track point along Pemuda Street overall from morning to noon and evening experiencing density. From both methods show that the Gauss-Jordan elimination method is more effective and efficient. The comparison of the two methods can be seen from the many steps of completion, the number of arithmetic operations, speed, and accuracy of obtaining a solution.

How to cite:

Munawaroh, E.L., Isnarto. 2021. Implementasi Metode Eliminasi *Gauss-Jordan* dan Dekomposisi *Crout* dalam Memprediksi Volume Lalu Lintas (Studi Kasus: Jalan Pemuda Kota Semarang). *UNNES Journal of Mathematics*. 10(2):28-42.

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan komponen utama dalam kehidupan bermasyarakat. Kinerja transportasi di suatu wilayah dapat dipengaruhi oleh kondisi sosial demografis di wilayah tersebut. Kemampuan transportasi dalam melayani kebutuhan masyarakat bergantung pada tingkat kepadatan penduduk yang secara signifikan berpengaruh terhadap kelancaran lalu lintas (Aminah, 2018). Permasalahan transportasi masih menjadi permasalahan utama pada setiap negara, khususnya negara berkembang (Mardiati, 2014).

Menurut Tamin (1992), dalam perancangan, perencanaan, dan penetapan berbagai kebijaksanaan sistem transportasi, teori pergerakan arus lalu lintas memegang peranan yang sangat penting. Arus lalu lintas merupakan interaksi antara individu pengendara dan kendaraan yang satu dengan yang lainnya pada suatu ruas jalan dan lingkungannya. Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan atau lingkungan memiliki karakteristik yang bervariasi baik berdasarkan lokasi maupun waktunya. Keadaan fisik dari suatu jalan, baik kualitas maupun kuantitas serta karakteristik operasional lalu lintasnya berdampak pada kemampuan jalan menampung arus lalu lintas (Tamin, 1992).

Teori arus lalu lintas sangat berhubungan erat dengan volume lalu lintas. Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pada ruas jalan tertentu, pada periode waktu tertentu, diukur dalam satuan kendaraan per satuan waktu tertentu (Julianto, 2010, 152). Volume lalu lintas dapat dinyatakan dengan banyaknya kendaraan per satuan waktu atau dinyatakan dengan cara lain yaitu satuan mobil penumpang (smp) tiap satuan waktu. Volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) sering digunakan sebagai dasar untuk perencanaan jalan raya dan pengamatan secara umum terhadap kecenderungan pola perjalanan. LHR diperoleh dengan cara pengamatan volume lalu lintas selama 24 jam pada suatu ruas jalan tertentu. Pengamatan tersebut dilakukan dalam beberapa hari kemudian hasilnya dirata-ratakan sehingga menjadi lalu lintas harian rata-rata (Hidajati, 2010).

Perubahan kondisi lalu lintas disebabkan oleh peningkatan atau penurunan volume lalu lintas. Volume lalu lintas yang makin tinggi akan menyebabkan kemacetan lalu lintas. Secara umum, kemacetan lalu lintas terjadi akibat panjangnya antrian kendaraan karena

terhambatnya arus lalu lintas. Penyebab terhambatnya arus lalu lintas tersebut dikarenakan oleh dua faktor, yaitu karena terbatasnya kapasitas jalan atau karena jumlah kendaraan yang terlalu banyak (Harahap dkk., 2018).

Menurut Anggarani, dkk (2016), perkembangan kota-kota besar di negara berkembang tidak terlepas dari kemacetan arus lalu lintas, karena pertumbuhan kendaraan yang pesat dan kurangnya penambahan ruas-ruas jalan. Kota Semarang merupakan salah satu daerah perkotaan dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat dengan luas 373,73 km². Dengan bertambahnya jumlah penduduk berarti aktifitas masyarakat juga makin meningkat. Hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan hidup sehingga jumlah perjalanan di ruas-ruas jalan Kota Semarang makin bertambah, yang berakibat jumlah kendaraan yang turun ke jalan makin banyak. Tingginya pertumbuhan kendaraan yang beroperasi di jalan umumnya didominasi oleh meningkatnya kendaraan pribadi baik mobil maupun sepeda motor.

Kebutuhan transportasi akan terus meningkat seiring dengan berkembangnya daerah perkotaan (Ardiyanto, dkk, 2014). Dalam sistem transportasi perkotaan wilayah Semarang merupakan salah satu kota yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi sehingga menimbulkan kemacetan lalu lintas. Hal ini juga ditambah dengan adanya hambatan samping, seperti kendaraan keluar masuk, kendaraan henti, parkir di pinggir jalan, pejalan kaki, maupun penyeberang jalan (Mudiyono & Anindyawati, 2017). Selain itu, Kota Semarang yang sarat akan berbagai fasilitas, sarana dan prasarana secara logis tentu memiliki kepadatan lalu lintas yang tinggi dibanding dengan wilayah yang berada di luarnya. Kepadatan lalu lintas yang tinggi berakibat pada meningkatnya volume lalu lintas.

Di Kota Semarang, kemacetan sering terjadi salah satunya di sepanjang Jalan Pemuda. Jalan Pemuda merupakan salah satu jalan utama di Kota Semarang yang membentang sepanjang 2,4 km dari Jembatan Berok hingga Tugu Muda. Jalan Pemuda terdiri dari 2 jenis jalan, yaitu jalan dua arah dan jalan satu arah. Di antara dua jenis jalan ini dihubungkan oleh Jalan Imam Bonjol (satu arah) dan Jalan Kapten Pierre Tendean (satu arah). Keadaan Jalan Pemuda saat ini sering terjadi kemacetan pada kisaran waktu puncak baik pagi, siang maupun sore hari dikarenakan adanya beberapa pusat

perbelanjaan, perkantoran, kawasan oleh-oleh, dan pusat pendidikan serta fasilitas umum lainnya. Berdasarkan masalah tersebut maka volume lalu lintas dapat diprediksi untuk dijadikan sebagai salah satu acuan untuk kebijakan pemerintah untuk kelancaran lalu lintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang. Untuk memprediksi volume lalu lintas pada setiap persimpangan dari suatu jalan pada suatu waktu tertentu dapat diketahui dengan metode eselon baris tereduksi, metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan metode dekomposisi *Crout* dengan catatan diketahui volume kendaraan yang keluar dan masuk dari setiap persimpangan jalan tersebut.

Kajian tentang lalu lintas sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Hidajati (2010) yang mengkaji pendekatan volume lalu lintas pada setiap perempatan dengan menggunakan metode eselon baris tereduksi. Dalam kajian tersebut dijelaskan bahwa untuk memprediksi volume lalu lintas pada setiap perempatan dari dua kelompok jalan satu-arah yang saling berpotongan pada suatu waktu tertentu dapat diketahui dengan metode eselon baris tereduksi dengan catatan diketahui volume kendaraan yang keluar dan masuk dari arah jalan perempatan tersebut. Sejauh ini data yang digunakan hanya pada setiap perempatan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan dengan menggunakan data pada setiap persimpangan jalan. Sehingga volume lalu lintas di sepanjang jalan dari perhitungan menggunakan data pada setiap persimpangan jalan dapat diketahui.

Berdasarkan hal ini, peneliti ingin membahas mengenai implementasi metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan metode dekomposisi *Crout* pada sistem persamaan liner non homogen dalam memprediksi volume lalu lintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang secara manual dan menggunakan program Matlab. Penulis berharap penelitian ini dapat menjadi informasi dasar untuk perencanaan, desain, manajemen, dan pengoperasian jalan untuk optimalisasi dan efisiensi lalu lintas kendaraan serta meminimalkan masalah kemacetan di Jalan Pemuda.

Volume Lalu Lintas

Volume (*flow*) lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melintas pada suatu ruas jalan, pada periode waktu tertentu, diukur dalam satuan kendaraan per satuan waktu (Julianto, 2010). Volume lalu lintas dapat dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Pada umumnya kendaraan

yang melintas pada ruas jalan terdiri dari berbagai jenis kendaraan. Sehingga, untuk memperoleh volume lalu lintas dalam satuan smp/jam dibutuhkan faktor konversi dari berbagai jenis kendaraan yaitu faktor rkivalensi mobil penumpang (emp). Nilai ekivalensi mobil penumpang (emp) menurut (MKJI 1997) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai emp menurut MKJI 1997

Jenis Kendaraan	Nilai emp
Kendaraan berat (HV)	1,3
Kendaraan ringan (LV)	1,0
Sepeda motor (MC)	0,5

Kapasitas Jalan

Kapasitas jalan adalah arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu (Kayori, 2013). Kapasitas jalan dapat ditetapkan pada suatu lokasi jaringan jalan yang sangat kompleks dan dinyatakan dalam satuan smp/jam. Kapasitas akan menjadi lebih tinggi apabila suatu jalan mempunyai kondisi yang lebih baik dari kondisi standar, sebaliknya bila suatu jalan kondisinya lebih buruk dari kondisi standar maka kapasitasnya akan menjadi lebih rendah (Kurniawan, 2016).

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam menentukan tingkat pelayanan ruas jalan yang diteliti. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah ruas tersebut menunjukkan masalah kapasitas atau tidak (Kurniawan, 2016). Secara teoritis, besarnya derajat kejenuhan tidak bisa melebihi nilai 1 (satu), yang berarti apabila nilai derajat kejenuhan mendekati nilai 1 maka kondisi lalu lintas yang terjadi mendekati padat dengan kecepatan rendah (Kayori, 2013). Menurut MKJI 1997, nilai derajat kejenuhan (DS) yang diperbolehkan untuk transportasi perkotaan maksimal senilai 0,75 (Mudiyono & Anindyawati, 2017, 349).

$$DS = \frac{Q}{C} \tag{1}$$

dimana

DS= derajat kejenuhan

Q = volume arus lalu lintas (smp/jam)

C = kapasitas (smp/jam)

Sistem Persamaan Linear (SPL)

Secara umum persamaan linear dari *n* variabel x_1, x_2, \dots, x_n dapat diekspresikan dalam bentuk:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = b \quad (2)$$

di mana a_1, a_2, \dots, a_n dan b adalah konstanta, dan a_i tidak semuanya nol. Dalam hal ini, variabel yang dimaksud bukan merupakan fungsi trigonometri, fungsi logaritma ataupun fungsi eksponensial. Pada kasus khusus dimana $b = 0$, persamaan linear akan berbentuk:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = 0 \quad (3)$$

yang dinamakan dengan **persamaan linear homogen** pada variabel x_1, x_2, \dots, x_n (Anton & Rorres, 2013). Sedangkan, pada kasus dimana $b \neq 0$ dinamakan dengan **persamaan linear non homogen**.

Sistem persamaan linear adalah himpunan berhingga dari persamaan linear. Dengan demikian maka suatu sistem linear dari m persamaan dalam n variabel tak diketahui dapat ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ \vdots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m \end{aligned} \quad (4)$$

di mana a_{ij} dan b_i seluruhnya adalah bilangan real. Sistem linear tersebut merupakan sistem linear yang memiliki matriks berordo $m \times n$.

Jika sistem persamaan linear yang terdiri dari m persamaan dengan n variabel, dalam bentuk perkalian ekuivalen menjadi.

$$AX = B \quad (5)$$

dimana

A = Matriks koefisien

X = Matriks variabel

B = Matriks konstanta

Sehingga diperoleh:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dalam bentuk lebih singkatnya dapat ditulis:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & b_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

Bentuk matriks pada (2.13) disebut sebagai matriks diperbesar atau *Augmented Matrix*.

Eliminasi Gauss-Jordan

Menurut Munir (2015), metode eliminasi Gauss-Jordan merupakan variasi dari metode eliminasi Gauss. Dalam hal ini, matriks A dieliminasi menjadi matriks identitas I . Di sini tidak diperlukan lagi teknik substitusi mundur untuk memperoleh solusi SPL. Solusinya langsung diperoleh dari vektor kolom b hasil eliminasi.

$$AX = B \rightarrow IX = B' \quad (8)$$

Dalam bentuk matriks, eliminasi Gauss-Jordan ditulis sebagai:

$$\left[\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} & b_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} & b_n \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & b_1' \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & b_2' \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & b_3' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & b_n' \end{array} \right]$$

Untuk menentukan nilai-nilai x_1, x_2, \dots, x_n pada metode eliminasi Gauss-Jordan maka *augmented matrix* di atas harus diubah kedalam bentuk eselon baris tereduksi dengan Operasi Baris Elementer (OBE). Solusinya yaitu:

$$\begin{aligned} x_1 &= b_1' \\ x_2 &= b_2' \\ &\dots \\ x_n &= b_n' \end{aligned}$$

Dekomposisi Crout

Metode Dekomposisi Crout merupakan suatu algoritma untuk memecahkan A atas L dan U . Metode Dekomposisi Crout dapat diturunkan dengan menggunakan perkalian matriks untuk menghitung persamaan $A = LU$ dan memberikan hasil $l_{i1} = a_{i1}$, untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$ dan $u_{ij} = \frac{a_{ij}}{l_{i1}}$, untuk $j = 2, 3, 4, \dots, n$. Sehingga untuk $j = 2, 3, 4, \dots, n$ dan $i = j, j + 1, \dots, n$ maka (Supriyono & Syamsudin, 2005):

$$l_{ij} = a_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} l_{ik} \cdot u_{kj}, \quad (9)$$

untuk $i = j, j + 1, \dots, n$

$$u_{jk} = \frac{a_{jk} - \sum_{i=1}^{j-1} l_{ik} \cdot u_{ik}}{l_{jj}}, \quad (10)$$

untuk $k = j + 1, j + 2$

$$l_{nn} = a_{nn} - \sum_{k=1}^{n-1} l_{nk} \cdot u_{kn}, \quad (11)$$

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode pengumpulan data lalu lintas dengan *traffic counting*. Objek penelitian ini adalah jenis kendaraan sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV) yang melintasi Jalan Pemuda, Jalan Imam Bonjol (satu arah), dan Jalan Kapten Pierre Tendean (satu arah) Kota Semarang. Pengumpulan data dilakukan dengan penyebaran titik-titik perhitungan pada masing-masing persimpangan jalan. Pada setiap persimpangan jalan tersebut dapat diperoleh data berupa banyaknya kendaraan yang masuk dan banyaknya kendaraan yang keluar. Pengumpulan data dilakukan pada Rabu, 17 Maret 2021 dalam rentang waktu 1 jam yaitu pukul 07.00-08.00 WIB, 09.00-10.00

Pukul 09.00 – 10.00

$x_1 = 1268$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -439$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 547$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = -28$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -328$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -349$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -792$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 1180$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -1072$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -250$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 1730$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -269$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 57$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = 95$	Persamaan N

(13)

Pukul 12.00 – 13.00

$x_1 = 1214$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -536$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 578$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = -23$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -369$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -307$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -885$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 1203$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -1131$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -200$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 1871$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -203$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 49$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = -35$	Persamaan N

(14)

Pukul 14.00 – 15.00

$x_1 = 1233$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -487$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 594$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = -1$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -397$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -289$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -814$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 1185$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -1097$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -261$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 1792$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -234$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 35$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = -58$	Persamaan N

(15)

Pukul 16.00 – 17.00

$x_1 = 1217$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -559$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 589$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = 14$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -412$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -296$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -893$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 1218$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -1135$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -256$	Persamaan J

(16)

$x_{10} - x_{11} = 1884$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -219$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 34$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = -39$	Persamaan N

2. Jenis kendaraan ringan (LV) Sistem Persamaan Linear (SPL) yang terbentuk berdasarkan data banyaknya jenis kendaraan ringan (LV) yang melintas pada masing-masing titik, yaitu:

Pukul 07.00 – 08.00

$x_1 = 432$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -242$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 173$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = 57$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -101$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -24$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -357$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 763$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -482$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -365$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 782$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -206$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 40$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = -38$	Persamaan N

(17)

Pukul 09.00 – 10.00

$x_1 = 489$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -197$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 192$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = 65$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -130$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = 30$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -489$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 824$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -568$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -450$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 937$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -222$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 58$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = -22$	Persamaan N

(18)

Pukul 12.00 – 13.00

$x_1 = 594$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -100$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 157$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = 40$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -102$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = 24$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -540$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 896$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -666$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -473$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 1094$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -265$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 44$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = -85$	Persamaan N

(19)

Pukul 14.00 – 15.00

$x_1 = 544$	Persamaan A
-------------	-------------

$x_1 - x_2 = -143$	Persamaan B	$x_7 - x_8 = 41$	Persamaan H
$x_2 - x_3 = 179$	Persamaan C	$x_8 - x_9 = -39$	Persamaan I
$x_3 - x_4 = 71$	Persamaan D	$x_9 - x_{10} = -9$	Persamaan J
$x_4 - x_5 = -173$	Persamaan E	$x_{10} - x_{11} = 45$	Persamaan K
$x_5 - x_6 = -18$	Persamaan F	$x_{11} - x_{12} = -6$	Persamaan L
$x_6 - x_7 = -522$	Persamaan G	$x_{12} - x_{13} = 2$	Persamaan M
$x_7 - x_8 = 873$	Persamaan H	$x_{13} - x_{14} = 1$	Persamaan N
$x_8 - x_9 = -637$	Persamaan I		
$x_9 - x_{10} = -555$	Persamaan J		
$x_{10} - x_{11} = 988$	Persamaan K		
$x_{11} - x_{12} = -234$	Persamaan L		
$x_{12} - x_{13} = 68$	Persamaan M		
$x_{13} - x_{14} = -22$	Persamaan N		

Pukul 16.00 – 17.00

$x_1 = 571$	Persamaan A	$x_1 = 63$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -160$	Persamaan B	$x_1 - x_2 = -24$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 168$	Persamaan C	$x_2 - x_3 = 37$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = 60$	Persamaan D	$x_3 - x_4 = 2$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -124$	Persamaan E	$x_4 - x_5 = -18$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -40$	Persamaan F	$x_5 - x_6 = -16$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -501$	Persamaan G	$x_6 - x_7 = -30$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 930$	Persamaan H	$x_7 - x_8 = 44$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -673$	Persamaan I	$x_8 - x_9 = -46$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -545$	Persamaan J	$x_9 - x_{10} = -18$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 1022$	Persamaan K	$x_{10} - x_{11} = 56$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -352$	Persamaan L	$x_{11} - x_{12} = -9$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 59$	Persamaan M	$x_{12} - x_{13} = -2$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = -56$	Persamaan N	$x_{13} - x_{14} = -1$	Persamaan N

Pukul 14.00 – 15.00

3. Jenis kendaraan ringan (MC)
Sistem Persamaan Linear (SPL) yang terbentuk berdasarkan data banyaknya jenis kendaraan berat (HV) yang melintas pada masing-masing titik persimpangan, yaitu:

$x_1 = 53$	Persamaan A	$x_1 = 57$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -13$	Persamaan B	$x_1 - x_2 = -24$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 23$	Persamaan C	$x_2 - x_3 = 35$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = 2$	Persamaan D	$x_3 - x_4 = -1$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -15$	Persamaan E	$x_4 - x_5 = -14$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -18$	Persamaan F	$x_5 - x_6 = -19$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -25$	Persamaan G	$x_6 - x_7 = -28$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 37$	Persamaan H	$x_7 - x_8 = 39$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -38$	Persamaan I	$x_8 - x_9 = -52$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -7$	Persamaan J	$x_9 - x_{10} = -9$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 49$	Persamaan K	$x_{10} - x_{11} = 52$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -8$	Persamaan L	$x_{11} - x_{12} = -7$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 0$	Persamaan M	$x_{12} - x_{13} = 1$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = 7$	Persamaan N	$x_{13} - x_{14} = 4$	Persamaan N

Pukul 16.00 – 17.00

$x_1 = 53$	Persamaan A	$x_1 = 65$	Persamaan A
$x_1 - x_2 = -13$	Persamaan B	$x_1 - x_2 = -32$	Persamaan B
$x_2 - x_3 = 23$	Persamaan C	$x_2 - x_3 = 39$	Persamaan C
$x_3 - x_4 = 2$	Persamaan D	$x_3 - x_4 = -1$	Persamaan D
$x_4 - x_5 = -15$	Persamaan E	$x_4 - x_5 = -16$	Persamaan E
$x_5 - x_6 = -18$	Persamaan F	$x_5 - x_6 = -20$	Persamaan F
$x_6 - x_7 = -25$	Persamaan G	$x_6 - x_7 = -26$	Persamaan G
$x_7 - x_8 = 37$	Persamaan H	$x_7 - x_8 = 43$	Persamaan H
$x_8 - x_9 = -38$	Persamaan I	$x_8 - x_9 = -46$	Persamaan I
$x_9 - x_{10} = -7$	Persamaan J	$x_9 - x_{10} = -10$	Persamaan J
$x_{10} - x_{11} = 49$	Persamaan K	$x_{10} - x_{11} = 53$	Persamaan K
$x_{11} - x_{12} = -8$	Persamaan L	$x_{11} - x_{12} = -11$	Persamaan L
$x_{12} - x_{13} = 0$	Persamaan M	$x_{12} - x_{13} = 0$	Persamaan M
$x_{13} - x_{14} = 7$	Persamaan N	$x_{13} - x_{14} = 1$	Persamaan N

Pukul 09.00 – 10.00

$x_1 = 50$	Persamaan A		
$x_1 - x_2 = -23$	Persamaan B		
$x_2 - x_3 = 25$	Persamaan C		
$x_3 - x_4 = -1$	Persamaan D		
$x_4 - x_5 = -13$	Persamaan E		
$x_5 - x_6 = -18$	Persamaan F		
$x_6 - x_7 = -24$	Persamaan G		

Banyaknya kendaraan yang melintas di setiap titik lintasan pada ruas Jalan Pemuda, Jalan Imam Bonjol (satu arah), dan Jalan Kapten Pierre Tendean Kota Semarang berdasarkan

model SPL masing-masing jenis kendaraan menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *CROUT* disajikan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 2 Banyaknya Jenis Kendaraan Sepeda Motor (MC)

Titik	Waktu				
	07.00	09.00	12.00	14.00	16.00
	-	-	-	-	-
	08.00	10.00	13.00	15.00	17.00
x_1	1188	1268	1214	1233	1217
x_2	1645	1707	1750	1720	1776
x_3	1110	1160	1172	1126	1187
x_4	1132	1188	1195	1127	1173
x_5	1517	1516	1564	1524	1585
x_6	1831	1865	1871	1813	1881
x_7	2544	2657	2756	2627	2774
x_8	1513	1477	1554	1442	1556
x_9	2380	2549	2684	2539	2691
x_{10}	2608	2799	2884	2800	2947
x_{11}	966	1069	1013	1008	1063
x_{12}	1157	1338	1216	1242	1282
x_{13}	1207	1281	1167	1207	1248
x_{14}	1167	1186	1202	1265	1287

Tabel 3 Banyaknya Jenis Kendaraan Ringan (LV)

Titik	Waktu				
	07.00	09.00	12.00	14.00	16.00
	-	-	-	-	-
	08.00	10.00	13.00	15.00	17.00
x_1	432	489	594	544	571
x_2	674	686	694	687	731
x_3	501	494	537	508	563
x_4	444	429	497	437	503
x_5	545	559	599	610	627
x_6	569	529	575	628	667
x_7	926	1018	1115	1150	1168
x_8	163	194	219	277	238
x_9	645	762	885	914	911
x_{10}	1010	1212	1358	1469	1456
x_{11}	228	275	264	481	434
x_{12}	434	497	529	715	786
x_{13}	394	439	485	647	727
x_{14}	432	461	570	669	783

Tabel 4 Banyaknya Jenis Kendaraan Berat (MC)

Titik	Waktu				
	07.00	09.00	12.00	14.00	16.00
	-	-	-	-	-
	08.00	10.00	13.00	15.00	17.00
x_1	53	50	63	57	65
x_2	66	73	87	81	97
x_3	43	48	50	46	58
x_4	41	49	48	47	59
x_5	56	62	66	61	75
x_6	74	80	82	80	95

x_7	99	104	112	108	121
x_8	62	63	68	69	78
x_9	100	102	114	121	124
x_{10}	107	111	132	130	134
x_{11}	58	66	76	78	81
x_{12}	66	72	85	85	92
x_{13}	66	70	87	84	92
x_{14}	59	69	88	80	91

Volume lalu lintas di setiap titik lintasan Jalan Pemuda pada Rabu, 17 Maret 2021 yang diperoleh menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *CROUT* dalam satuan *kendaraan/jam* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Volume Lalu Lintas di Jalan Pemuda (*kendaraan/jam*)

Titik	Waktu				
	07.00	09.00	12.00	14.00	16.00
	-	-	-	-	-
	08.00	10.00	13.00	15.00	17.00
x_1	1673	1807	1871	1834	1853
x_2	2385	2466	2531	2488	2604
x_3	1654	1702	1759	1680	1808
x_4	1617	1666	1740	1611	1735
x_5	2118	2137	2229	2195	2287
x_6	2474	2474	2528	2521	2643
x_7	3569	3779	3983	3885	4063
x_8	1738	1734	1841	1788	1872
x_{11}	1252	1410	1353	1567	1578
x_{12}	1657	1907	1830	2042	2160
x_{13}	1667	1790	1739	1938	2067
x_{14}	1658	1716	1860	2014	2161

Untuk memperoleh volume dalam *smp/jam*, maka dibutuhkan faktor konversi dari ketiga jenis kendaraan menjadi satuan mobil penumpang yaitu nilai ekivalensi mobil penumpang (*emp*) yang disajikan pada Tabel 1. Volume lalu lintas di setiap titik lintasan Jalan Pemuda pada Rabu, 17 Maret 2021 yang diperoleh menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *CROUT* dalam satuan *smp/jam* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Volume Lalu Lintas di Jalan Pemuda (*smp/jam*)

Titik	Waktu				
	07.00-08.00	09.00-10.00	12.00-13.00	14.00-15.00	16.00-17.00
	x_1	1095	1188	1283	1236
x_2	1583	1635	1683	1653	1746
x_3	1112	1137	1188	1131	1233
x_4	1064	1088	1158	1063	1167
x_5	1377	1398	1447	1452	1518
x_6	1582	1566	1618	1639	1732
x_7	2327	2483	2639	2605	2713

x_8	1001	1015	1085	1088	1118
x_{11}	787	896	870	1087	1072
x_{12}	1099	1260	1248	1447	1547
x_{13}	1085	1171	1183	1361	1471
x_{14}	1093	1144	1286	1406	1546

Volume arus lalu lintas dapat digunakan untuk menentukan tingkat kinerja ruas jalan. Faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan adalah dengan menghitung nilai derajat kejenuhan (DS). Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas jalan yang dinyatakan dalam smp/jam. Nilai derajat kejenuhan (DS) menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah pada kapasitas jalan atau tidak. Secara teoritis, besarnya derajat kejenuhan tidak bisa melebihi nilai 1 (satu), yang berarti apabila nilai derajat kejenuhan mendekati nilai 1 maka kondisi lalu lintas yang terjadi mendekati padat dengan kecepatan rendah. Nilai derajat kejenuhan untuk masing-masing titik lintasan di sepanjang Jalan Pemuda disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Derajat Kejenuhan pada Ruas Jalan Pemuda

Titik	Waktu				
	07.00-08.00	09.00-10.00	12.00-13.00	14.00-15.00	16.00-17.00
x_1	0,42	0,46	0,50	0,48	0,49
x_2	0,61	0,63	0,65	0,64	0,68
x_3	0,43	0,44	0,46	0,44	0,48
x_4	0,41	0,42	0,45	0,41	0,45
x_5	0,53	0,54	0,56	0,56	0,59
x_6	0,61	0,61	0,63	0,64	0,67
x_7	0,41	0,44	0,46	0,46	0,48
x_8	0,39	0,39	0,42	0,42	0,43
x_{11}	0,31	0,35	0,34	0,42	0,42
x_{12}	0,43	0,49	0,48	0,56	0,60
x_{13}	0,42	0,45	0,46	0,53	0,57
x_{14}	0,42	0,44	0,50	0,54	0,60

Berdasarkan hasil wawancara dengan Kepala Seksi Manajemen Rekayasa Lalu Lintas Dinas Perhubungan Kota Semarang, jika derajat kejenuhan mencapai kurang dari atau sama dengan 50% maka ruas jalan dikategorikan lancar, jika derajat kejenuhan mencapai nilai antara 50% dan 75% maka ruas jalan dikategorikan padat, dan jika derajat kejenuhan mencapai lebih dari atau sama dengan 75% maka ruas jalan dikategorikan macet.

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, volume arus lalu lintas Rabu, 17 Maret 2021 pukul 07.00-08.00 WIB di sepanjang Jalan Pemuda pada titik lintasan x_1 sebesar **1095 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik

lintasan x_2 sebesar **1582 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,61** atau **61%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_3 sebesar **1112 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,43** atau **43%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_4 sebesar **1064 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,41** atau **41%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_5 sebesar **1377 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,53** atau **53%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_6 sebesar **1582 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,61** atau **61%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_7 sebesar **2327 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,41** atau **41%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_8 sebesar **1001 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,39** atau **39%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{11} sebesar **787 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,31** atau **31%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{12} sebesar **1099 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,43** atau **43%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{13} sebesar **1085 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{14} sebesar **1093 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Nilai volume arus lalu lintas rata-rata yang melintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang pada hari Rabu, 17 Maret 2021 pukul 07.00-08.00 sebesar **1267 smp/jam**.

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, volume arus lalu lintas Rabu, 17 Maret 2021 pukul 09.00-10.00 WIB di sepanjang Jalan Pemuda pada titik lintasan x_1 sebesar **1188 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,46** atau **46%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_2 sebesar **1635 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,63** atau **63%** yang artinya

lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_3 sebesar **1137 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,44** atau **44%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_4 sebesar **1088 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_5 sebesar **1398 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,54** atau **54%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_6 sebesar **1566 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,61** atau **61%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_7 sebesar **2483 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,44** atau **44%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_8 sebesar **1015 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,39** atau **39%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{11} sebesar **896 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,35** atau **35%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{12} sebesar **1260 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,49** atau **49%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{13} sebesar **1171 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,45** atau **45%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{14} sebesar **1144 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,44** atau **44%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Nilai volume arus lalu lintas rata-rata yang melintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang pada hari Rabu, 17 Maret 2021 pukul 09.00-10.00 sebesar **1332 smp/jam**.

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, volume arus lalu lintas Rabu, 17 Maret 2021 pukul 12.00-13.00 WIB di sepanjang Jalan Pemuda pada titik lintasan x_1 sebesar **1283 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan sama dengan 50% atau sebesar 0,5 yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_2 sebesar **1683 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,65** atau **65%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_3 sebesar **1188 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,46**

atau **46%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_4 sebesar **1158 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,45** atau **45%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_5 sebesar **1447 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,56** atau **56%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_6 sebesar **1618 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,63** atau **63%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_7 sebesar **2639 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,46** atau **46%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_8 sebesar **1085 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{11} sebesar **870 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,34** atau **34%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{12} sebesar **1248 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,48** atau **48%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{13} sebesar **1183 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,46** atau **46%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{14} sebesar **1286 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan sama dengan 50% atau sebesar 0,5 yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Nilai volume arus lalu lintas rata-rata yang melintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang pada hari Rabu, 17 Maret 2021 pukul 12.00-13.00 sebesar **1391 smp/jam**.

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, volume arus lalu lintas Rabu, 17 Maret 2021 pukul 14.00-15.00 WIB di sepanjang Jalan Pemuda pada titik lintasan x_1 sebesar **1236 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,48** atau **48%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_2 sebesar **1653 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,64** atau **64%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_3 sebesar **1131 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,44** atau **44%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_4 sebesar **1063 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,41**

atau **41%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_5 sebesar **1452 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,56** atau **56%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_6 sebesar **1639 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,64** atau **64%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_7 sebesar **2605 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,46** atau **46%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_8 sebesar **1088 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{11} sebesar **1087 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{12} sebesar **1447 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,56** atau **56%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_{13} sebesar **1361 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,53** atau **53%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_{14} sebesar **1406 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,54** atau **54%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Nilai volume arus lalu lintas rata-rata yang melintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang pada hari Rabu, 17 Maret 2021 pukul 14.00-15.00 sebesar **1431 smp/jam**.

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, volume arus lalu lintas Rabu, 17 Maret 2021 pukul 16.00-17.00 WIB di sepanjang Jalan Pemuda pada titik lintasan x_1 sebesar **1265 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari 50% yaitu sebesar **0,49** atau **49%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_2 sebesar **1746 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,68** atau **68%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_3 sebesar **1233 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,48** atau **48%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_4 sebesar **1167 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,45** atau **45%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_5 sebesar **1518 smp/jam** dengan nilai derajat

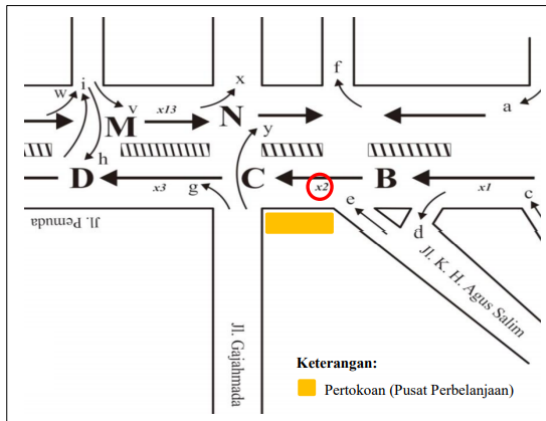
kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,59** atau **59%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_6 sebesar **1732 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,67** atau **67%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_7 sebesar **2713 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,48** atau **48%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_8 sebesar **1118 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,43** atau **39%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{11} sebesar **1072 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan kurang dari **50%** yaitu sebesar **0,42** atau **42%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi lancar. Titik lintasan x_{12} sebesar **1547 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,60** atau **60%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_{13} sebesar **1471 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,57** atau **57%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Titik lintasan x_{14} sebesar **1546 smp/jam** dengan nilai derajat kejenuhan antara 50% dan 75% yaitu sebesar **0,60** atau **60%** yang artinya lintasan tersebut dalam kondisi padat. Nilai volume arus lalu lintas rata-rata yang melintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang pada hari Rabu, 17 Maret 2021 pukul 16.00-17.00 sebesar **1511 smp/jam**.

Dari hasil perhitungan data pada Rabu, 17 Maret 2021 di Jalan Pemuda Kota Semarang, secara keseluruhan derajat kejenuhan pada pagi hari menuju siang dan sore hari mengalami peningkatan. Selain nilai derajat kejenuhan di setiap ruas jalan, kinerja suatu ruas jalan juga dipengaruhi oleh adanya hambatan samping, seperti kendaraan henti, parkir di pinggir jalan, pejalan kaki, maupun penyeberang jalan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif untuk menurunkan nilai derajat kejenuhan (DS) dengan upaya meningkatkan nilai kapasitas jalan dan mengurangi hambatan samping di setiap ruas jalan.

Solusi Mengatasi Kemacetan

Volume lalu lintas berdasarkan data Rabu, 17 Maret 2021 dapat menunjukkan kondisi lalu lintas pada setiap titik lintasan di ruas Jalan Pemuda. Berdasarkan hasil wawancara dengan Kepala Seksi Manajemen Rekayasa Lalu Lintas Dinas Perhubungan Kota Semarang, jika derajat kejenuhan mencapai

kurang dari atau sama dengan 50% maka ruas jalan dikategorikan lancar, jika derajat kejenuhan mencapai nilai antara 50% dan 75% maka ruas jalan dikategorikan padat, dan jika derajat kejenuhan mencapai lebih dari atau sama dengan 75% maka ruas jalan dikategorikan macet. Titik lintasan di sepanjang Jalan Pemuda dengan kondisi padat terjadi di titik lintasan x_2 , titik lintasan x_5 , dan titik lintasan x_6 . Sketsa titik lintasan x_2 , titik lintasan x_5 , dan titik lintasan x_6 berdasarkan Gambar 1 jika diperbesar disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



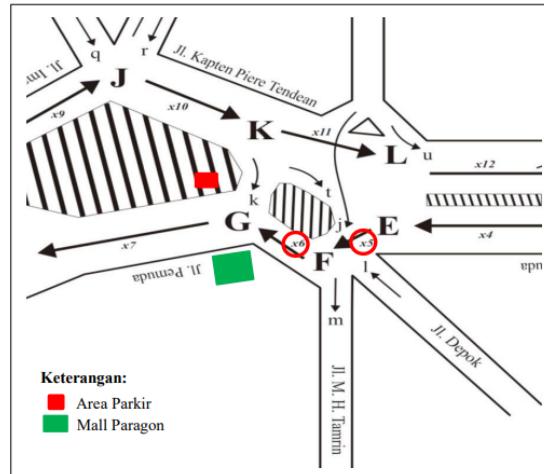
Gambar 2. Sketsa Titik Lintasan x_2

Jika pada titik lintasan x_2 mengalami kemacetan dengan derajat kejenuhan mencapai lebih dari atau sama dengan 75%, maka solusi yang dapat direkomendasikan adalah pengalihan arus lalu lintas ke Jalan K.H. Agus Salim atau ke Jalan Kolonel Sugiono. Peralihan arus lalu lintas dapat dilakukan dengan catatan volume lalu lintas pada Jalan K.H. Agus Salim dan Jalan Kolonel Sugiono dalam kondisi lancar atau ketika derajat kejenuhan mencapai kurang dari atau sama dengan 50%, agar tidak menimbulkan masalah kemacetan pada kedua ruas jalan tersebut. Peralihan arus lalu lintas dapat dilakukan ketika derajat kejenuhan pada titik lintasan x_2 telah mencapai lebih dari atau sama dengan 75%. Sehingga peralihan arus lalu lintas dapat dilakukan sebesar $n\%$, dengan n merupakan derajat kejenuhan pada titik lintasan x_2 dikurangi 75%.

Volume lalu lintas di Jalan Pemuda pada titik lintasan x_2 pukul 07.00-08.00 WIB sebesar 1583 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,61 atau 61%. Pukul 09.00-10.00 WIB diperoleh volume lalu lintas sebesar 1635 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,63 atau 63%. Pada pukul 12.00-13.00 WIB volume lalu lintas sebesar 1683 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,65 atau 65%. Volume lalu lintas pada pukul 14.00-15.00 WIB sebesar 1653 *smp/jam* dengan derajat

kejenuhan 0,64 atau 64%. Sedangkan pada pukul 16.00-17.00 WIB sebesar 1746 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,68 atau 68%.

Hambatan utama pada titik lintasan x_2 adalah penggunaan bahu jalan sebagai lahan parkir, karena di sepanjang titik lintasan tersebut terdapat pusat perbelanjaan. Oleh karena itu, salah satu rekomendasi untuk mencegah atau mengatasi kemacetan di sepanjang titik lintasan tersebut adalah dengan mengalihfungsikan bahu jalan sebagai lahan parkir menjadi lajur kendaraan. Langkah tersebut dapat direalisasikan dengan menyediakan lahan atau gedung khusus untuk parkir umum. Sehingga para pengguna kendaraan yang ingin mengunjungi bangunan di area jalan tersebut dapat memarkir kendaraannya di lahan khusus parkir dan akses untuk mengunjungi pusat perbelanjaan dilakukan dengan berjalan kaki. Menurut penelitian ini, rekomendasi tersebut dapat diterapkan di sepanjang Jalan Pemuda dengan tipe 4/2 UD. Dengan begitu, Jalan Pemuda dengan tipe 4/2 UD dapat menjadi jalan dengan tipe 6/2 UD. Selanjutnya, agar arus lalu lintas tidak terhambat para pejalan kaki diwajibkan untuk melakukan penyeberangan melalui jembatan penyeberangan yang tersedia pada titik lintasan x_2 .



Gambar 3. Sketsa Titik Lintasan x_5 dan Titik Lintasan x_6

Jika pada titik lintasan x_5 dan x_6 mengalami kemacetan dengan derajat kejenuhan mencapai lebih dari atau sama dengan 75%, maka solusi yang dapat direkomendasikan adalah pengalihan arus lalu lintas ke Jalan M.H. Tamrin. Peralihan arus lalu lintas dapat dilakukan dengan catatan volume lalu lintas pada Jalan M.H. Tamrin dalam kondisi lancar atau ketika derajat kejenuhan mencapai kurang dari atau sama dengan 50%, agar tidak menimbulkan masalah kemacetan pada ruas

jalan tersebut. Peralihan arus lalu lintas dapat dilakukan ketika derajat kejenuhan pada titik lintasan x_5 dan x_6 telah mencapai lebih dari atau sama dengan 75%. Sehingga peralihan arus lalu lintas dapat dilakukan sebesar n %, dengan n merupakan derajat kejenuhan pada titik lintasan x_5 dan x_6 dikurangi 75%.

Pada titik lintasan x_5 diperoleh volume lalu lintas pukul 07.00-08.00 WIB sebesar 1377 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,53 atau 53%. Pukul 09.00-10.00 WIB volume lalu lintas sebesar 1398 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,54 atau 54%. Volume lalu lintas pada pukul 12.00-13.00 WIB volume lalu lintas sebesar 1447 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,56 atau 56%. Pada pukul 14.00-15.00 WIB sebesar 1452 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,56 atau 56%. Sedangkan pada pukul 16.00-17.00 WIB sebesar 1518 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,59 atau 59%.

Volume lalu lintas di Jalan Pemuda pada titik lintasan x_6 pukul 07.00-08.00 WIB sebesar 1582 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,61 atau 61%. Pukul 09.00-10.00 WIB diperoleh volume lalu lintas sebesar 1566 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,61 atau 61%. Pada pukul 12.00-13.00 WIB volume lalu lintas sebesar 1618 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,63 atau 63%. Volume lalu lintas pada pukul 14.00-15.00 WIB sebesar 1639 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,64 atau 64%. Sedangkan pada pukul 16.00-17.00 WIB sebesar 1732 *smp/jam* dengan derajat kejenuhan 0,67 atau 67%.

Titik lintasan x_5 dan titik lintasan x_6 memiliki faktor hambatan yang serupa. Hambatan lalu lintas pada kedua titik lintasan tersebut adalah adanya Mall Paragon. Walaupun di Mall Paragon telah disediakan tempat parkir, masih terdapat para pengunjung yang menitipkan kendaraan di seberang Mall Paragon. Akibatnya, para pengunjung yang melakukan penyeberangan dapat menghambat arus lalu lintas pada titik lintasan tersebut. Solusi yang dapat direkomendasikan adalah dengan menyediakan jembatan penyeberangan agar aktivitas penyeberangan tidak terjadi di jalan raya. Selain itu, perlu untuk disediakan tempat untuk pemberhentian angkutan umum di sekitar Mall Paragon. Karena berhentinya angkutan umum ketika menaikkan atau menurunkan penumpang di sembarang tempat dapat menyebabkan kemacetan. Solusi lain yaitu dengan membedakan jalur masuk dan jalur keluar Mall Paragon, agar tidak terjadi antrian antara kendaraan yang keluar dan kendaraan yang masuk.

Selain itu, solusi yang dapat direkomendasikan adalah dengan upaya meningkatkan nilai kapasitas jalan di sepanjang titik lintasan x_2 , titik lintasan x_5 , dan titik lintasan x_6 . Upaya peningkatan kapasitas jalan dapat dilakukan dengan memisahkan lajur kendaraan sesuai jenis kendaraan berdasarkan dimensi atau kecepatannya pada titik lintasan tersebut. Misalnya, dilakukan pemisahan jalan antara angkutan umum, sepeda motor, dan mobil pribadi. Dengan langkah tersebut, diharapkan mobil pribadi dapat berjalan lancar di jalur yang terpisah dengan angkutan umum yang memiliki potensi sering berhenti untuk menurunkan atau menaikkan penumpang. Upaya tersebut dapat dilakukan di sepanjang Jalan Pemuda, sebagai langkah untuk mencegah kemacetan pada setiap lintasan.

Perbandingan Penyelesaian SPL dengan Metode Eliminasi Gauss-Jordan dan Dekomposisi Crout

Berdasarkan hasil perhitungan secara manual dan software Matlab menggunakan metode eliminasi Gauss-Jordan dan dekomposisi Crout, solusi yang diperoleh adalah sama. Metode eliminasi Gauss-Jordan dan metode dekomposisi Crout yang telah digunakan dalam menentukan banyaknya kendaraan pada setiap titik lintasan akan dianalisis dengan menggunakan metode perbandingan. Perbandingan tersebut dapat dilihat berdasarkan banyaknya langkah penyelesaian, banyaknya operasi aritmatika, dan ketepatan dalam memperoleh solusi dari SPL. Perbandingan ini dilihat dari penyelesaian dengan menggunakan cara manual, karena tingkat efisiensi kedua metode ini relatif sama jika penyelesaian dilakukan dengan bantuan software Matlab.

1. Banyaknya Langkah Penyelesaian

Secara Secara keseluruhan metode eliminasi *Gaus-Jordan* hanya memerlukan 1 langkah penyelesaian yaitu operasi baris elementer untuk menghasilkan matriks eselon baris tereduksi. Sedangkan, pada metode dekomposisi *Crout* memerlukan 3 langkah untuk menentukan nilai dari variabel-variabelnya. Langkah awal yang harus dilakukan yaitu membentuk matriks A menjadi matriks segitiga atas U dan matriks segitiga bawah L , kemudian menyelesaikan matriks L sesuai persamaan $LY = B$ untuk mencari Y melalui proses substitusi maju, dan langkah terakhir menyelesaikan matriks U sesuai persamaan

$UX = Y$ untuk mencari solusi dari X dengan substitusi balik.

Pada penelitian ini, metode eliminasi *Gauss-Jordan* pada operasi baris elementernya memerlukan 26 kali operasi baris elementer, sedangkan metode dekomposisi *Crout* memerlukan 91 kali perhitungan untuk menentukan elemen-elemen matriks L dan U . Oleh karena itu, berdasarkan langkah penyelesaian, metode eliminasi *Gauss-Jordan* lebih efisien dibandingkan dengan metode dekomposisi *Crout*.

2. Banyaknya Operasi Aritmatika

Menurut Indrayani (2009, 126) untuk mengetahui perbandingan kinerja antara metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan metode dekomposisi *Crout* selain pada langkah, dapat dilihat pada banyaknya operasi aritmatikanya. Rumus yang digunakan dalam pembahasan banyaknya operasi aritmatika yaitu jumlah n pertama bilangan bulat positif dan jumlah kuadrat n pertama bilangan bulat positif.

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n(n + 1)}{2} \quad (27)$$

$$1^2 + 2^2 + \dots + n^2 = \frac{n(n + 1)(2n + 1)}{6} \quad (28)$$

Selain itu, rumus untuk jumlahan $n - 1$ pertama bilangan bulat positif dan jumlahan kuadrat $n - 1$ pertama bilangan bulat positif juga diperlukan. Rumus ini dapat diperoleh dengan mensubstitusikan $n - 1$ untuk n dalam (27) dan (28), sebagai berikut:

$$1 + 2 + 3 + \dots + (n - 1) = \frac{(n - 1)n}{2} \quad (29)$$

$$1^2 + 2^2 + \dots + (n - 1)^2 = \frac{(n - 1)n(2n - 1)}{6} \quad (30)$$

Banyaknya operasi metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan metode dekomposisi *Crout* untuk matriks $A_{n \times n}$ pada Tabel 8.

Tabel 8 Banyaknya Operasi untuk Matriks

Metode	Banyak Operasi yang Diperlukan
Eliminasi <i>Gauss-Jordan</i>	$\frac{2n^3}{3} + \frac{3n^2}{2} - \frac{7n}{6}$
Dekomposisi <i>Crout</i>	$\frac{2n^3}{3} + \frac{3n^2}{2} - \frac{7n}{6}$

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa banyaknya operasi pada metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan metode dekomposisi *Crout* adalah sama. Namun, untuk metode dekomposisi *Crout* membutuhkan ketelitian lebih, karena proses perhitungannya lebih panjang.

3. Ketepatan

Hasil yang diperoleh dalam menentukan banyaknya kendaraan yang melintas pada setiap titik lintasan dengan menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *Crout* baik secara manual maupun dengan *software* Matlab memiliki hasil yang sama. Sehingga, pada penelitian ini metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan metode dekomposisi *Crout* memiliki ketepatan yang sama.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang prediksi volume arus lalu lintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *Crout* dapat ditarik kesimpulan. Volume arus lalu lintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang yang diperoleh menggunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* dan dekomposisi *Crout* pada Rabu, 17 Maret 2021 secara keseluruhan di setiap lintasan dari pagi hari menuju siang dan sore hari makin meningkat. Volume lalu lintas di Jalan Pemuda, Kota Semarang pada Rabu, 17 Maret 2017 pada pukul 07.00-08.00 WIB, pukul 09.00-10.00 WIB, pukul 12.00-13.00 WIB, pukul 14.00-15.00 WIB, dan pukul 16.00-17.00 dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode eliminasi *Gauss-Jordan* lebih efisien dibandingkan dengan metode dekomposisi *Crout* dalam menyelesaikan sistem persamaan linear. Perbandingan ini dapat dilihat dari banyaknya langkah penyelesaian, banyaknya operasi aritmatika, dan ketepatan dalam menentukan solusi sistem persamaan linear. Alternatif yang dapat dilakukan untuk menghindari kemacetan di sepanjang Jalan Pemuda, Kota Semarang adalah peralihan arus lalu lintas ke ruas jalan lain. Peralihan arus lalu lintas dapat dilakukan dengan catatan ruas jalan yang dijadikan sebagai peralihan arus memiliki volume lalu lintas dengan kondisi lancar. Selain itu, alternatif yang dapat dilakukan yaitu dengan upaya meningkatkan nilai kapasitas jalan dan mengurangi hambatan samping. Alternatif untuk mengurangi hambatan samping salah satunya adalah dengan mengurangi atau meniadakan penggunaan bahu jalan sebagai lahan parkir. Upaya meningkatkan nilai kapasitas jalan dapat dilakukan dengan pelebaran jalan dan

menambah lajur lalu lintas di ruas Jalan Pemuda, jika memungkinkan.

Saran

Alternatif yang dapat dilakukan untuk menghindari kemacetan di sepanjang Jalan Pemuda, Kota Semarang adalah dengan mengurangi faktor hambatan samping dan upaya meningkatkan nilai kapasitas jalan dan mengurangi hambatan samping. Pada penelitian ini jenis kendaraan yang dihitung dalam memprediksi volume lalu lintas hanya jenis kendaraan sepeda motor (MC), jenis kendaraan ringan (LV), dan jenis kendaraan berat (HV). Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan jenis kendaraan tak bermotor (UM) yaitu sepeda, agar volume yang diperoleh akan lebih akurat. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data lalu lintas dalam satu hari. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan data lalu lintas dalam beberapa hari untuk memperoleh data volume harian lalu lintas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Kepala Seksi Manajemen Rekayasa Lalu Lintas Dinas Perhubungan Kota Semarang yang telah bersedia diwawancarai serta berbagai pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, S. (2018). Transportasi Publik dan Aksesibilitas Masyarakat Perkotaan. *Jurnal Teknik Sipil UBL*, 9(1), 1142–1164.
- Anggarani, D., Rahardjo, M., & Nurjazuli, N. (2016). Hubungan Kepadatan Lalu Lintas Dengan Konsentrasi COHb Pada Masyarakat Berisiko Tinggi Di Sepanjang Jalan Nasional Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 4(2), 139–148.
- Anton, H., & Rorres, C. (2013). *Elementary Linear Algebra* (11th edisi). Wiley.
- Ardiyanto, F., A, P. I., & Irawati, I. (2014). Analisis Manajemen Arus Lalu Lintas Jalan Pemuda Segmen Jalan Depan Mall Paragon Semarang. *The 17th FSTPT International Symposium*, 2(1), 424–431.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*. Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Harahap, E., Harahap, A., Suryadi, A., Darmawan, D., & Ceha, R. (2018). LINTAS: Sistem Simulasi Lalu Lintas Menggunakan SimEvents MATLAB. *Jurnal Informatika Dan Komputer*, 10(1), 8–16.
- Hidajati, N. W. (2010). Pendekatan Volume Lalu-Lintas Pada Setiap Perempatan Dengan Metode Eselon Baris Tereduksi. *Waktu*, 8(2), 68–73.
- Julianto, E. N. (2010). Hubungan Antara Kecepatan, Volume dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 12(2), 151–160.
- Kayori, R. F. (2013). Analisa Derajat Kejenuhan Akibat Pengaruh Kecepatan Kendaraan Pada Jalan Perkotaan Di Kawasan Komersil. *Jurnal Sipil Statik*, 1(9), 608–615.
- Kurniawan, S. (2016). Analisa Hambatan Samping Terhadap Tingkat Pelayanan Jalan Raya. *Jurnal Tapak*, 6(1), 51–63.
- Mardiati, R. (2014). Studi Tentang Pemodelan Arus Lalu Lintas. *Jurusan Teknik Elektro*, VIII(2), 177–198.
- Mudiyono, R., & Anindyawati, N. (2017). Analisis Kinerja Jalan Majapahit Kota Semarang (Studi Kasus: Segmen Jalan Depan Kantor Pegadaian Sampai Jembatan Tol Gayamsari). *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Dalam Pengembangan SmartCity*, 1(1), 345–354.
- Munir, R. (2015). *Metode Numerik*. Informatika Bandung.
- Supriyono, & Syamsudin, D. (2005). Analisis Kinerja Dekomposisi Crout Sebagai Penyelesaian Sistem Persamaan Linier Berukuran Besar. *SNATI 2005*.
- Tamin, O. Z. (1992). Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Lalulintas di Ruas Jalan H.R. Rasuna Said (Jakarta). *Jurnal Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil ITB*, 5, 1–11.