

Pemodelan dan Analisa Pengaturan Lampu Lalu Lintas Simpang Empat Ringroad UPN Menggunakan Aljabar Max-Plus

Bella Sukmawati, Christina Theola, Marcellinus Andy Rudhito *

Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, DIY, Indonesia,

*e-mail: arudhito@gmail.com

Diserahkan: 25/07/24; Diterima: 29/08/25; Diterbitkan: 15/09/25

Abstrak. Permasalahan yang kerap kali dihadapi oleh kota-kota besar salah satunya adalah kemacetan. Salah satu persimpangan jalan dengan arus lalu lintas kendaraan yang tinggi di Yogyakarta adalah Simpang Seturan UPN. Hal ini disebabkan oleh padatnya aktivitas pelajar, mahasiswa, dan pekerja pada interval jam tertentu. Oleh karena itu, penting untuk mengoptimalkan dan mengintegrasikan kendaraan yang harus berhenti dan berjalan bergantian di setiap persimpangan, khususnya pada persimpangan yang memiliki kepadatan kendaraan yang tinggi di jam-jam produktif di Kota Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mencari durasi lampu hijau yang optimal pada Simpang Empat Ringroad-UPN guna mengurangi kemacetan yang terjadi di Jalan Seturan Raya pada jam padat, yaitu 16.00 - 18.00. Metode penelitian meliputi observasi untuk mencatat durasi setiap lampu lalu lintas pada simpang empat tersebut dan jumlah kendaraan yang melewati Jalan Seturan Raya. Selanjutnya, rekayasa durasi lampu hijau dilakukan dengan memanfaatkan Aljabar Max-Plus. Dari analisis yang dilakukan, ditemukan bahwa semakin bertambah durasi lampu hijau, jumlah kendaraan yang lewat semakin meningkat. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaturan yang tepat terhadap durasi lampu lalu lintas dapat berkontribusi signifikan dalam mengurangi kemacetan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan transportasi yang lebih baik di Kota Yogyakarta, serta meningkatkan efisiensi arus lalu lintas dan kenyamanan pengguna jalan di area tersebut.

Kata kunci: Aljabar Max-Plus, durasi, kemacetan

Abstract. The general problem faced by large cities is congestion. One of the intersections with high traffic flow in Yogyakarta is the Seturan UPN Intersection. This is caused by the high activity of students, college students, and workers during certain peak hours. Therefore, it is important to optimize and integrate vehicles that must stop and move alternately at each intersection, especially at those with high vehicle density during peak productive hours in Yogyakarta. This study aims to find the optimal green light duration at the Ringroad-UPN Four-Way Intersection to alleviate congestion on Jalan Seturan Raya during peak hours, specifically from 4:00 PM to 6:00 PM. The research method includes observations to record the duration of each traffic light at the intersection and the number of vehicles passing through Jalan Seturan Raya. Subsequently, the green light duration was engineered using Max-Plus Algebra. The analysis showed that as the green light duration increases, the number of vehicles passing through also rises. This finding indicates that proper regulation of traffic light durations can significantly contribute to reducing congestion. Therefore, this research is expected to serve as a reference for better transportation planning in Yogyakarta, as well as to enhance traffic flow efficiency and the comfort of road users in the area.

Keywords: Congestion, duration, Max-Plus Algebra

Pendahuluan

Belakangan ini, salah satu permasalahan yang dihadapi kota-kota besar di Indonesia adalah kemacetan karena kepadatan penduduknya yang tinggi. Novalia (2015) mengungkapkan bahwa kemacetan dapat disebabkan oleh karena adanya peningkatan arus lalu lintas, jumlah

kendaraan yang selalu bertambah tidak diimbangi dengan area jalan yang diperluas. Menurut Nisa & Muzdalifah (2021), kemacetan lalu lintas disebabkan karena terjadinya penumpukan antrian kendaraan akibat dari lampu lalu lintas dengan durasi menyala lampu merah lebih lama dari pada durasi menyala lampu hijau di suatu persimpangan jalan. Kemacetan lalu lintas atau terhambatnya lalu lintas terjadi ketika kondisi lalu lintas mulai tidak stabil, banyaknya kendaraan yang ingin bergerak dengan tidak disertai kapasitas jalan yang dapat menampung mengakibatkan penurunan kecepatan operasi yang relatif cepat (Meutia, Saleh, & Azmeri, 2017).

Salah satu persimpangan jalan dengan arus lalu lintas kendaraan yang tinggi di Yogyakarta adalah Simpang Seturan UPN. Menurut Zaki (2020), hal tersebut dikarenakan padatnya aktivitas mahasiswa karena lokasi simpang tersebut dekat dan menjadi jalur perjalanan ke beberapa universitas dari arah kota, seperti Universitas “Veteran” Yogyakarta (UPN) dan Gedung Fakultas Ekonomi Universitas Islam Indonesia (FE UII). Oleh karena itu, penting untuk mengoptimalkan dan mengintegrasikan kendaraan harus berhenti dan berjalan bergantian di setiap persimpangan, khususnya pada persimpangan yang memiliki kepadatan kendaraan yang tinggi di jam-jam produktif pelajar atau mahasiswa di Kota Yogyakarta, seperti persimpangan Seturan UPN tersebut. Merujuk pada penelitian Eka Watiy, Syaripuddin, & Qurrota (2023), Aljabar Max-Plus dapat membantu memodelkan waktu nyala dari seluruh lampu lalu lintas pada suatu di persimpangan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari solusi kemacetan pada persimpangan Seturan UPN dengan memanfaatkan Aljabar Max-Plus sehingga dalam penelitian ini akan dibuat rekayasa durasi lampu hijau keempat lampu lalu lintas pada persimpangan Seturan UPN.

Rekayasa durasi keempat lampu lalu lintas tersebut, merupakan penerapan dari bidang aljabar ilmu matematika yaitu Aljabar Max-Plus. Implementaasi Aljabar Max-Plus untuk membantu mengatur lampu lalu lintas sudah pernah dilaksanakan oleh Kurniawan (2017) dalam penelitiannya. Selain digunakan untuk menyelesaikan permasalahan lalu lintas, masalah pada sistem produksi sederhana (Nasrulyati, 2017), sistem produksi makanan, seperti produksi pembuatan tahu (Nawar, Rahakbauw, & Patty, 2023), produksi pembuatan otok (Rohani, dkk., 2018), produksi shuttlecock (Permana, Siswanto, & Pangadi, 2020) dan produksi pembuatan mie (Winarti, Kusumastuti, & Noviani, 2015) juga dapat diselesaikan dengan menggunakan perhitungan aljabar max-plus. Aljabar max plus dapat juga digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan penjadwalan mata kuliah (Nurmalitasari & Rayungsari, 2018), proyek pembangunan perumahan (Rauf, dkk., 2021), permasalahan pada sistem antrian seperti pada sistem antrian rawat jalan pada RSUD di Yogyakarta (Maure, Ningsi, & Nay, 2021) dan RS Al Huda Genteng (Hardiyanti, Yuniwati, & Divi, 2017), sistem antrian pada sebuah klinik kecantikan (Pertiwi & M., 2020), serta permasalahan pada sistem distribusi (Putri, 2016).

Sakta, Yanita, & Helmi (2022), dalam jurnalnya menjelaskan bahwa terdapat dua bidang kajian dalam ilmu aljabar, yaitu aljabar linier dan aljabar abstrak. Beberapa hal yang dipelajari dalam aljabar abstrak yaitu grup, ring, lapangan, modul, semigrup, semiring, dan semilapangan. Aljabar Max-Plus merupakan salah satu contoh dari semilapangan. Pramesthi & Adibah (2019), menjelaskan bahwa Aljabar Max-Plus merupakan himpunan \mathbb{R}_{max} yang terdiri dari dua operasi biner yaitu maksimum dan tambah yang dinotasikan berturut-turut sebagai \oplus dan \otimes . Menurut Radityani (2016), notasi \oplus melambangkan operasi maksimum dan notasi \otimes melambangkan operasi penjumlahan. Dalam Aljabar max-plus, urutan operasi

hitung juga diperhatikan seperti halnya pada aljabar biasa. Operasi penjumlahan atau \otimes memiliki prioritas lebih tinggi dibandingkan operasi maksimum atau \oplus .

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan dan menerapkan ilmu dari Aljabar max-plus. Simpang Seturan UPN menjadi objek penelitian yang akan diamati durasi menyalalampu lalu lintasnya. Persimpangan Seturan UPN dipilih sebagai objek penelitian dikarenakan persimpangan tersebut merupakan pertemuan empat arus jalan, yaitu Jalan Seturan Raya, Jalan Prawiro Kuat, Jalan Padjajaran, dan Jalan Ringroad Utara sehingga pada jam-jam sibuk pelajar dan pekerja, sering terjadi antrean kendaraan pada persimpangan ini terutama pada Jalan Seturan Raya.

Mengamati secara langsung durasi lampu lalu lintas di simpang empat Seturan-UPN dilakukan untuk mengumpulkan data yang diperlukan. Pengamatan dilakukan pada jam-jam rawan kemacetan di Jalan Seturan Raya, yaitu dimulai pada pukul 17.00 dan berakhir pada pukul 18.00. Data yang diambil adalah data durasi lampu merah, kuning, dan hijau serta banyaknya kendaraan yang lolos pada saat lampu hijau menyala. Teknik analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mencari kepadatan kendaraan di Simpang 1 pada jam yang ditentukan
2. Mengonstruksi graf berarah simpang Seturan UPN
3. Memodelkan dengan aljabar max-plus (mendefinisikan variabel, memodelkan dengan notasi aljabar max-plus) durasi menyalanya lampu lalu lintas pada keempat simpang
4. Menentukan λ sebagai nilai eigen dan v sebagai vektor eigen
5. Membandingkan banyak kendaraan yang melewati Simpang 1 sebelum dan setelah durasi lampu hijau yang direkayasa

Dalam Radityani (2016) menjelaskan bahwa selain operasi maksimum dan penjumlahan, pada aljabar max-plus juga dikenal operasi pangkat sebagai operasi dengan prioritas tertinggi. Operasi ini dinotasikan dengan $x^{\otimes n}$ dan didefinisikan sebagai $x^{\otimes 0} := 0$ dan $x^{\otimes n} := x \otimes x^{\otimes n-1}$, untuk $n = 1, 2, 3, \dots$. Dalam aljabar biasa didefinisikan bahwa $x^{\otimes k} := x \otimes x \otimes \dots \otimes x = x + x + \dots + x = kx$.

Memodelkan menggunakan Aljabar Max-Plus melibatkan matriks dan vektor yang dilengkapi dengan operasi matematisnya. Matriks dalam aljabar max-plus didefinisikan:

Definisi 1 (Radityani, 2016)

Diberikan $\mathbb{R}_{max}^{m \times n} := \{A = (a_{ij}) \mid a_{ij} \in \mathbb{R}_{max}, i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ dan } j = 1, 2, 3, \dots, n\}$.

- a. Diketahui $A \in \mathbb{R}_{max}^{m \times n}, B \in \mathbb{R}_{max}^{m \times n}$, didefinisikan $A \oplus B$ adalah matriks yang unsur ke- ij -nya:

$$(A \oplus B)_{ij} = a_{ij} \oplus b_{ij} \text{ untuk } i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ dan } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

- b. Diketahui $a \in \mathbb{R}_{max}, A \in \mathbb{R}_{max}^{m \times n}$, didefinisikan $a \otimes A$ adalah matriks yang unsur ke- ij -nya:

$$(a \otimes A)_{ij} = a \otimes a_{ij} \text{ untuk } i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ dan } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

- c. Diketahui $A \in \mathbb{R}_{max}^{m \times n}$, $B \in \mathbb{R}_{max}^{m \times n}$, didefinisikan $A \otimes B$ adalah matriks yang unsur ke- ij -nya:

$$(A \otimes B)_{ij} = \bigoplus_{k=1}^p a_{ik} \oplus b_{kj} \text{ untuk } i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ dan } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Definisi 2 (Radityani, 2016)

Pangkat $n \in N \cup \{0\}$ atau dengan kata lain n elemen dari N dengan N adalah himpunan semua bilangan asli, dari matriks $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$ dinotasikan dengan $A^{\otimes k}$. Notasi $A^{\otimes n}$ kemudian didefinisikan sebagai berikut:

$$A^{\otimes 0} := E_n \text{ dan } A^{\otimes k} := A \otimes A^{\otimes k-1}, \text{ untuk } k = 1, 2, 3, \dots$$

Jadi, untuk sebarang skalar $a \in \mathbb{R}_{max}$ dan $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$ berlaku:

$$(a \oplus A)^{\otimes k} = a^{\otimes k} \otimes A^{\otimes k}, \text{ untuk } k = 1, 2, 3, \dots$$

Untuk sebarang $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$ didefinisikan $trace(A) := \bigoplus_{i=1}^n a_{ii}$.

Penentuan durasi lampu lalu lintas yang baru menerapkan konsep nilai eigen dan vector eigen. Berikut pendefinisian konsep nilai eigen dan vector eigen suatu matriks di \mathbb{R}_{max} :

Definisi 3 (Radityani, 2016)

Diberikan suatu matriks $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$. Skalar $\lambda \in \mathbb{R}_{max}$ disebut nilai eigen max-plus matriks A jika terdapat suatu vektor $v \in \mathbb{R}_{max}^n$ dengan $v \neq \varepsilon_{n \times 1}$ sehingga

$A \otimes v = \lambda \otimes v$ Vektor v tersebut disebut vektor eigen max-plus matriks A yang bersesuaian dengan λ .

Eksistensi nilai eigen aljabar max-plus dijelaskan dalam teorema berikut. $\lambda_{max}(A)$ adalah nilai \mathbb{R}_{max} untuk setiap matriks $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$.

Lemma 1 (Radityani, 2016)

Jika matriks *irreducible* (tak-tereduksi) $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$ mempunyai nilai eigen λ dengan x adalah vektor eigen \mathbb{R}_{max} yang bersesuaian dengan λ , maka $x_i \neq \varepsilon$ untuk setiap $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$.

Teorema 1 (Radityani, 2016)

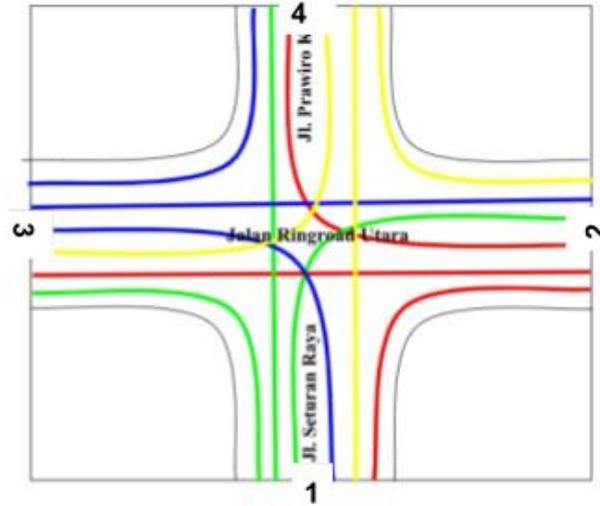
Jika matriks $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$ *irreducible* (tak-tereduksi), maka matriks A mempunyai nilai eigen \mathbb{R}_{max} tunggal.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Kepadatan Kendaraan di Simpang Seturan

Pengamatan dilakukan terhadap kendaraan yang lewat pada Simpang 1, yaitu Jl. Seturan Raya. Kendaraan yang melewati jalan tersebut terdiri dari motor, mobil, truk, dan bus sehingga dilakukan generalisasi dengan mengonversi semua jenis kendaraan menjadi motor. Satu mobil ekuivalen dengan lima motor, satu truk ekuivalen dengan lima motor, dan satu busekuivalen dengan sepuluh motor. Durasi lampu hijau pada simpang tersebut yaitu 31 detik dan rata-rata kendaraan yang lewat setiap nyala lampu hijau sebanyak 137 kendaraan dengan perincian 63 motor pada 15 detik pertama dan 74 motor untuk detik sisanya. Dari informasi yang didapat, dapat ditentukan rata-rata kepadatan kendaraan di simpang tersebut pada jam yang sudah ditentukan sebesar 4,45 kendaraan per detik, dibulatkan menjadi 4 kendaraan per detik. Untuk ilustrasi sistematis jalan kendaraan dan nyala lampu lalu lintas di

Simpang Ringroad UPN dapat dilihat di Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Ilustrasi Sistematis Jalannya Kendaraan dan Nyala Lampu Lalu Lintas Simpang Empat Ringroad UPN

Gambar 1 merupakan gambar sistem lampu lalu lintas di simpang empat Ringroad UPN dan arus pergerakan kendaraan di simpang tersebut. Data yang dikumpulkan merupakan data durasi lampu merah, hijau, dan kuning. Berikut ini, disajikan Tabel 1 dengan durasi waktu lampu lalu lintas di Simpang Empat Ringroad UPN :

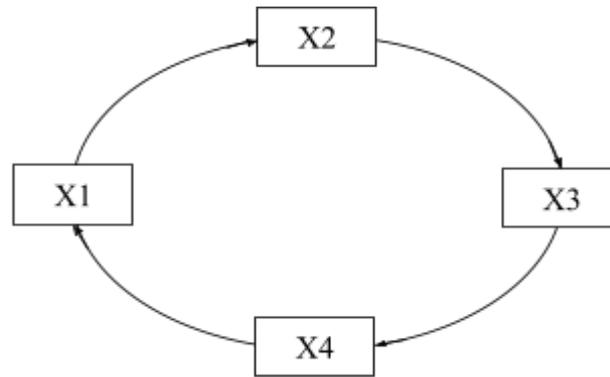
Tabel 1. Periode Lampu Lalu Lintas yang Diterapkan Sekarang

Simpang	Durasi Lampu Merah (detik)	Durasi Lampu Hijau (detik)	Durasi Lampu Kuning (Detik)	Total se-Fase(detik)
1	116	31	2	149
2	105	41	3	149
3	105	41	3	149
4	124	20	2	146

Data dari Tabel 1 merupakan data yang diambil pada tanggal 30 April 2024 pada pukul 17.00 hingga 18.00 WIB. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, durasi waktu lampu merah, hijau, dan kuning pada simpang empat Ringroad UPN ini sama atau tidak terjadi perubahan durasi waktu lampu lalu lintas.

2. Graf berarah Simpang Seturan

Berikut adalah Gambar 2 yang merupakan graf berarah sistem lampu lalu lintas Simpang Ringroad UPN :



Gambar 2. Graf Berarah Sistem Lampu Lalu Lintas Simpang Empat Ringroad UPN

Gambar 2. merupakan graf berarah yang menunjukkan sistem lampu hijau pada simpang empat Ringroad-UPN. Dari graf bobot diatas akan dibuat pemodelan untuk aljabar max-plus pada sistem lampu lalu lintas di simpang empat Ringroad-UPN.

3. Pemodelan Aljabar Max-Plus Simpang Seturan

Berikut ini adalah pendefinisian dari konstruksi model dalam sistem lampu lalu lintas :

$x_i(k)$ = Waktu awal lampu hijau menyala pada simpang 1

$w_i(k)$ = Durasi waktu hijau pada simpang i di fase ke-k

$u_i(k)$ = Durasi waktu kuning

Dari pendefinisian yang ada, dibentuk model matematika sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= \max(x_4(k) + w_4(k) + u_4(k), -\infty) \\ &= \max(x_4(k) + 22, -\infty) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2(k+1) &= \max(x_4(k) + w_4(k) + u_4(k) + w_1(k) + u_1(k), -\infty) \\ &= \max(x_1(k+1) + w_1(k) + u_1(k), -\infty) \\ &= \max(x_4(k) + 55, -\infty) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_3(k+1) &= \max(x_4(k) + w_4(k) + u_4(k) + w_1(k) + u_1(k) + w_2(k) + u_2(k), -\infty) \\ &= \max(x_2(k+1) + w_2(k) + u_2(k), -\infty) \\ &= \max(x_4(k) + 99, -\infty) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_4(k+1) &= \max(x_4(k) + w_4(k) + u_4(k) + w_1(k) + u_1(k) + w_2(k) + u_2(k) + w_3(k) + \\ &\quad u_3(k), -\infty) \\ &= \max(x_3(k+1) + w_3(k) + u_3(k), -\infty) \\ &= \max(x_4(k) + 143, -\infty) \end{aligned}$$

Model matematika diatas, dapat dituliskan dengan menggunakan notasi aljabar max plus menjadi

$$x_1(k+1) = \max(x_4(k) + 22, -\infty)$$

$$x_2(k+1) = \max(x_4(k) + 55, -\infty)$$

$$x_3(k+1) = \max(x_4(k) + 99, -\infty)$$

$$x_4(k + 1) = \max(x_4(k) + 143, -\infty)$$

Persamaan tersebut dapat dituliskan dalam persamaan matriks berikut

$$\begin{bmatrix} x_1(k + 1) \\ x_2(k + 1) \\ x_3(k + 1) \\ x_4(k + 1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 22 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 55 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 99 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 143 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \end{bmatrix}$$

Persamaan matriks tersebut juga dapat ditulis sebagai $x(k + 1) = A \otimes x(k) \oplus B$ dengan entri dari matriks A yaitu

$$A = \begin{bmatrix} \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 22 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 55 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 99 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 143 \end{bmatrix}$$

Sedangkan, untuk nilai vektor awal $x \begin{pmatrix} 0 \\ 33 \\ 77 \\ 121 \end{pmatrix} \neq \varepsilon$. Berdasarkan matriks A dan nilai

sebarang vektor awal $x(0)$, akan digunakan untuk mensimulasikan keadaan awal dengan menggunakan scilab berikut.

```
--> [X]=maxplussys(A, [0;33;77;121],10)
X =

      column 1 to 5

0.      143.      286.      429.      572.
33.     176.     319.     462.     605.
77.     220.     363.     506.     649.
121.    264.     407.     550.     693.

      column 6 to 10

715.     858.     1001.     1144.     1287.
748.     891.     1034.     1177.     1320.
792.     935.     1078.     1221.     1364.
836.     979.     1122.     1265.     1408.

      column 11

1430.
1463.
1507.
1551.
```

4. Nilai Eigen dan Vektor Eigen Max-Plus

Selanjutnya nilai vektor eigen dan nilai eigen dapat dihitung dengan menggunakan aplikasi Scilab versi 5.5.2. Berikut adalah hasil perhitungan untuk vektor eigen dan nilai

eigennya untuk nilai A di atas:

```
-->[l, v, d]=maxplusmaxalgol (A)
d =
    1.
v =
    22.
    55.
    99.
    143.
l =
    143.
```

Dari perhitungan Scilab, nilai eigen ditandai dengan l dan vektor eigen ditandai dengan v

sehingga nilai eigennya adalah 143 dan vektor eigennya adalah $v = \begin{bmatrix} 22 \\ 55 \\ 99 \\ 143 \end{bmatrix}$. Hasil perhitungan

vektor eigen akan digunakan sebagai penentuan waktu awal menyalanya lampu lalu lintas di simpang empat Ringroad-UPN. Elemen vektor terkecil pada vektor eigen adalah 22, sehingga untuk mencari waktu awal nyala lampu lalu lintas di simpang empat Ringroad-UPN dapat dicari dengan selisih setiap elemen pada vektor eigen dengan elemen terkecil pada vektor eigen. Kemudian, hasil selisih tersebut dibulatkan. Nilai eigen digunakan untuk menentukan waktu periodik nyala setiap fase. Berdasarkan nilai eigen yang didapatkan, waktu periodiknya adalah 143 detik.

5. Analisis Perbandingan Kepadatan Kendaraan

Untuk hasil perhitungan setiap fase akan ditampilkan pada Tabel 2 dengan waktu awalnya 00.00.00. Warna hijau pada tabel menandakan nyala lampu hijau, sedangkan warna merah menandakan nyala lampu merah.

Tabel 2. Periodesasi Lampu Lalu Lintas di simpang empat Ringroad-UPN

Simpang	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	dst
1	00:00	02:23	04:46	07:09	09:32	...
2	00:33	02:56	05:19	07:42	10:05	...
3	01:17	03:40	06:03	08:26	10:49	...
4	02:01	04:24	06:47	09:10	11:33	...

Berdasarkan analisis didapatkan durasi baru sehingga dapat dituliskan perbandingan durasi baru dan lama pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Periode lampu lalu lintas lama dan baru

Simpang	Durasi lama (detik)			Durasi baru (detik)		
	hijau	kuning	merah	hijau	kuning	merah
1	31	2	116	46	2	116
2	41	3	105	56	3	105
3	41	3	105	56	3	105
4	20	2	124	35	2	124

Berdasarkan durasi lampu hijau baru pada tabel di atas, banyak kendaraan yang lolos lampu hijau pada simpang 1 (Jalan Seturan Raya), memerlukan rata-rata data banyaknya motor yang melalui simpang tersebut dari Jalan Seturan Raya pada 15 detik pertama lampu hijau dan detik sisa lampu hijau. Berdasarkan data yang penulis ambil di persimpangan Seturan UPN pada pukul 17.00 dan berakhir pada pukul 18.00, rata-rata kendaraan yang lolos lampu hijau pada 15 detik pertama lampu hijau adalah 63 motor, sedangkan rata-rata kendaraan yang lolos lampu hijau pada sisa detiknya adalah 74 motor. Jadi untuk durasi lama, dalam periode 143 detik ada total 548 motor. Apabila durasi lampu hijau pada masing-masing simpang ditambah 15 detik, maka akan ada tambahan 296 motor yang lolos sehingga total keseluruhan saat menggunakan durasi baru dalam periode 203 detik adalah 844 motor. Dalam kasus rentang waktu pukul 17.00 – 18.00, yakni dalam 3600 detik, untuk durasi lama dapat menjalani 25 periode, sedangkan untuk durasi baru hanya menjalani 18 periode. Jadi total motor yang dapat lolos dalam rentang waktu tersebut, untuk durasi lama adalah 13.700 motor, sedangkan durasi baru adalah 15.192. Hal ini menunjukkan adanya kenaikan jumlah kendaraan bermotor mencapai sekitar 10%.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa durasi nyala lampu hijau pada lalu lintas di simpang empat Ringroad-UPN dapat dimodelkan dengan menggunakan Aljabar max-plus. Hasil rekayasa dari durasi nyala lampu hijau dapat membantu untuk mengurangi kemacetan, terutama kemacetan pada simpang 1 yaitu Jalan Seturan Raya. Hal tersebut terjadi karena semakin bertambahnya durasi lampu hijau (sesuai aturan) di Jalan Seturan Raya, maka akan bertambah pula kendaraan yang dapat lolos saat lampu hijau di jalan tersebut menyala.

Dari hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu pada setiap persimpangan di Yogyakarta, sebaiknya dapat mengaplikasikan sistem *Auto Traffic Control System* (ATCS) karena dengan sistem ATCS durasi nyala lampu pada suatu persimpangan dapat disesuaikan otomatis dengan kepadatan kendaraan terkini di jalan tersebut. Selain itu, pada penelitian selanjutnya dapat memodelkan pengaturan lampu lalu lintas pada ketiga simpang lainnya serta melakukan analisis lebih lanjut terkait efektifitas dari pemodelan yang disusun terhadap banyaknya kendaraan yang melalui lampu lintas pada ketiga simpang yang lain.

Daftar Pustaka

- Eka Watiy, L., Syaripuddin, S., & Qurrota, Q. A. (2023). Penerapan Aljabar Max-Plus pada Pengaturan Durasi Waktu Lalu Lintas di Simpang Empat Air Putih Samarinda. *Basis Jurnal Ilmiah Matematika*, 2(1), 57–65.
- Hardiyanti, S. A., Yuniwati, I., & Divi Yustita, A. (2017). Bentuk Petri Net dan Model Aljabar Max Plus pada Sistem Pelayanan Pasien Rawat Jalan Rumah Sakit Al Huda Genteng, Banyuwangi. *Unisda Journal of Mathematics and Computer Science*, 3(2), 1–8.
- Kurniawan, A. P. (2017). Aplikasi Graf Fuzzy dan Aljabar Max-Plus untuk Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Simpang Empat Beran. *Jurnal Matematika*, 6(2), 72–86.
- Maure, O. P., Ningsi, G. P., & Nay, F. A. (2021). Pemodelan Sistem Antrian Pasien Rawat Jalan Menggunakan Petri Net dan Aljabar Max-Plus: Studi Kasus RSUD di Yogyakarta. *Leibniz: Jurnal Matematika*, 1(2), 1–11.
- Meutia, S., Saleh, S. M., & Azmeri. (2017). Analisis Kemacetan Lalu-Lintas Pada Kawasan Pendidikan (Studi Kasus Jalan Pocut Baren Kota Banda Aceh). *Jurnal Teknik Sipil*, 1(7), 243–250.
- Nasrulyati, T. S. (2017). Aljabar Max Plus dan Aplikasinya: Model Sistem Produksi Sederhana. *Majalah Ilmiah Matematika Dan Statistika*, 17, 1–6.
- Nawar, W., Rahakbauw, D. L., & Patty, D. (2023). Penjadwalan Waktu Proses Produksi Tahu Menggunakan Pendekatan Aljabar Max-Plus (Studi Kasus : Pabrik Sumber Rizki). *TENSOR Pure and Applied Mathematics Journal*, 4(2), 73–82.
- Nisa, A. K., & Muzdalifah, L. (2021). Optimasi Waktu Tunggu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Graf Kompatibel Sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan. *MATH VISION*, 03(01), 1–5.
- Novalia, C. (2015). *Analisa dan Solusi Kemacetan Lalu Lintas di Ruas Jalan Kota (Studi Kasus Jalan Imam Bonjol - Jalan Sisingamangaraja)*. Universitas Lampung.
- Nurmalitasari, D., & Rayungsari, M. (2018). Model Aljabar Max Plus dan Petri Net Pada Sistem Pelayanan Pendaftaran Ujian Akhir Semester. *AKSIOMA: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 9(2), 47–56.
- Permana, A., Siswanto, & Pangadi. (2020). Eigen Problem Over Max-Plus Algebra on Determination of the T3 Brand Shuttlecock Production Schedule. *Numerical: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 4(1), 23–30.
- Pertiwi, R. I., & M., L. T. (2020). Model Petri Net dari Antrian Klinik Kecantikan serta Aplikasinya pada Aljabar Max-Plus. *MAP Journal*, 34–40.
- Prameshti, S. R. P. W., & Adibah, F. (2019). Jadwal Pelayanan Sistem Jaringan Antrean Multichannel Tak-Siklik 5 Server. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 13(1), 039–046.
- Putri, R. K. (2016). Penentuan Jalur Terpendek Menggunakan Aljabar Min-Plus: Studi Kasus : Distribusi Kentang Jalur Pangalengan, Bandung-Jakarta. *WAHANA*, 66(1), 7–15.
- Radityani, S. L. R. (2016). *Pemodelan Jaringan dan Analisa Penjadwalan Kereta Api Komuter di Daop Vi Yogyakarta dengan Menggunakan Aljabar Max-Plus* (Univesritas Sanata Dharma). Univesritas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Rauf, M. A., dkk. (2021). Model Penjadwalan Proyek Pembangunan Perumahan Menggunakan Petri Net dan Aljabar Max-Plus. *JES-MAT*, 7(1).



-
- Rohani, S., dkk. (2018). Sistem Persamaan Linier Aljabar Max-Plus untuk Mengoptimalkan Waktu Produksi Otok Goreng Khas Madura. *Zeta - Math Journal*, 4(1), 12–17.
- Sakta, R. R., Yanita, & Helmi, M. R. (2022). Aljabar Max-Plus Serta Aplikasinya pada Sistem Antrian. *Jurnal Matematika UNAND*, 11(4), 271–283.
- Winarti, W. F., Kusumastuti, N., & Noviani, E. (2015). Optimalisasi Waktu Produksi Mie Instan Menggunakan Analisis Input-Output Sistem Linear Maks-Plus Waktu Invarian. In *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)* (Vol. 04).
- Zaki, M. (2020). *Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal UPN Yogyakarta (The Performance Evaluation of Signalized Intersection at UPN Yogyakarta)*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.