

Optimasi Sistem Lampu Lalu Lintas dengan Teori Graf untuk Meningkatkan Arus Lalu Lintas di Persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta, Bandung

I Made Wiweka Putera – 13523160¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

wiwekaputera@gmail.com, 13523160@std.stei.itb.ac.id

Abstract— Kemacetan lalu lintas sering terjadi pada persimpangan jalan yang padat, menyebabkan inefisiensi dan antrean yang panjang. Salah satu penyebab utama masalah ini adalah ketidakseimbangan antara jumlah kendaraan dalam antrean dan durasi lampu hijau pada setiap ruas jalan. Penelitian ini memanfaatkan teori graf untuk mengoptimalkan durasi lampu hijau di setiap ruas jalan dengan pendekatan distribusi bobot yang proporsional terhadap kendaraan dalam antrean dan kendaraan keluar. Dengan model graf, penelitian ini menghitung durasi lampu hijau berdasarkan jumlah kendaraan dalam sistem yang bertujuan untuk mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan efisiensi arus lalu lintas di persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta, Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat mengurangi antrean dan memberikan solusi yang lebih efektif untuk pengaturan lalu lintas di persimpangan padat.

Keywords—Alokasi Proporsional, Optimasi Lalu Lintas, Teori Graf

I. PENDAHULUAN

Sistem lampu lalu lintas adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengatur aliran kendaraan di persimpangan jalan. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi lalu lintas, mengurangi kemacetan, serta memastikan distribusi aliran kendaraan yang lebih merata di berbagai arah. Namun, sering kali ditemukan masalah dalam pengelolaan sistem lampu lalu lintas, seperti waktu tunggu yang tinggi, ketidakseimbangan dalam distribusi kendaraan, dan kurangnya efisiensi dalam pembagian waktu sinyal lampu di persimpangan yang sibuk.

Masalah-masalah ini sering kali disebabkan oleh ketidakefektifan dalam pengaturan sinyal dan aliran lalu lintas. Oleh karena itu, penelitian tentang optimasi sistem lampu lalu lintas merupakan hal yang penting untuk meningkatkan kinerja sistem transportasi secara keseluruhan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan sistem lampu lalu lintas adalah dengan menggunakan teori graf, yang memungkinkan analisis aliran lalu lintas secara lebih komprehensif.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Harahap et al. (2018) yang mengkaji model antrean M/M/1 pada persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta di Bandung. Dalam penelitian tersebut, penulis menganalisis pola kedatangan kendaraan dan durasi layanan lampu lalu lintas sebagai faktor utama yang menyebabkan kemacetan. Temuan ini membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam

meningkatkan efisiensi sistem sinyal lampu lalu lintas, terutama di Persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta, Bandung. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengaturan sistem lampu lalu lintas dengan menggunakan teori graf, untuk meningkatkan distribusi aliran kendaraan dan mengurangi waktu tunggu di persimpangan.

Dengan menggunakan data yang relevan dan pendekatan berbasis graf, penelitian ini akan mengidentifikasi cara untuk menyeimbangkan aliran kendaraan dari berbagai arah, mengoptimalkan waktu sinyal lampu, serta mengurangi waktu tunggu yang sering menjadi masalah utama di persimpangan yang sibuk. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem lampu lalu lintas yang lebih efisien dan efektif.

II. DASAR TEORI

2.1 Sistem Lampu Lalu Lintas

Sistem lampu lalu lintas merupakan suatu sistem pengaturan aliran lalu lintas yang menggunakan sinyal lampu untuk mengarahkan kendaraan di persimpangan jalan. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas. Sistem ini terdiri dari beberapa fase, di mana setiap fase memiliki durasi tertentu yang mengatur kapan kendaraan boleh melewati persimpangan, baik itu kendaraan dari arah tertentu maupun pejalan kaki. Penentuan durasi sinyal lampu biasanya dilakukan berdasarkan pola kedatangan kendaraan dan volume lalu lintas di setiap arah.

2.2 Teori Antrean

Teori antrean adalah cabang dari teori probabilitas yang mempelajari perilaku antrean dalam sistem layanan. Dalam konteks sistem lampu lalu lintas, kendaraan yang datang pada waktu yang tidak teratur dapat dianggap sebagai pelanggan yang menunggu untuk dilayani oleh lampu lalu lintas yang berubah secara periodik. Model antrean seperti M/M/1 digunakan untuk menggambarkan situasi ini, di mana kedatangan kendaraan mengikuti distribusi Poisson dan waktu pelayanan (pengaturan lampu) mengikuti distribusi eksponensial. Model ini membantu dalam menentukan waktu tunggu rata-rata dan tingkat pelayanan yang optimal untuk mengurangi kemacetan.

Berdasarkan penelitian Harahap et al. (2018), model M/M/1 dapat digunakan untuk menganalisis antrean kendaraan di persimpangan dan mengevaluasi dampak dari durasi sinyal

lampu terhadap waktu tunggu dan laju aliran kendaraan.

2.3 Teori Graf

Teori graf adalah cabang matematika yang mempelajari grafik, yang terdiri dari simpul (vertex) dan sisi (edge) yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Dalam konteks optimasi sistem lampu lalu lintas, teori graf digunakan untuk memodelkan aliran kendaraan dan hubungan antara berbagai rute yang ada di persimpangan. Setiap simpul dalam graf dapat mewakili persimpangan, sedangkan sisi menggambarkan jalan-jalan yang menghubungkan simpul tersebut.

Dalam penelitian ini, teori graf akan digunakan untuk memodelkan aliran kendaraan di persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta sebagai masalah optimasi dengan pendekatan pengalokasian durasi lampu hijau secara proporsional. Pada tahap awal, tiap node diberi bobot berupa panjang antrian dan intensitas lalu lintas (λ/μ). Model antrian M/M/1 digunakan untuk menganalisis sistem, dengan asumsi kedatangan kendaraan mengikuti distribusi Poisson dan waktu layanan mengikuti distribusi eksponensial. Dalam perhitungan akhirnya, bobot per node ini diperhitungkan untuk mendistribusikan waktu hijau bagi setiap ruas.

2.4 Optimasi Sistem Lampu Lalu Lintas

Pengoptimalan sistem lampu lalu lintas berfokus pada pengaturan waktu sinyal untuk mencapai distribusi aliran kendaraan yang merata dan efisien. Pengaturan waktu lampu yang tidak tepat dapat menyebabkan kemacetan dan waktu tunggu yang tinggi, sedangkan pengaturan yang lebih efisien dapat memperbaiki aliran lalu lintas dan mengurangi kemacetan. Beberapa pendekatan untuk optimasi ini antara lain:

- Pengaturan Berdasarkan Volume Lalu Lintas: Sistem lampu lalu lintas dapat disesuaikan dengan volume kendaraan yang melewati persimpangan untuk menghindari waktu tunggu yang lama bagi kendaraan yang sedikit.
- Optimasi Dinamis: Sistem lampu lalu lintas yang dapat menyesuaikan waktu lampu secara dinamis berdasarkan data lalu lintas yang dikumpulkan secara real-time, menggunakan perangkat sensor atau teknologi IoT.
- Penggunaan Teori Graf: Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, teori graf dapat digunakan untuk merancang model aliran lalu lintas yang optimal, dengan tujuan untuk memperkecil waktu tunggu dan meningkatkan kecepatan kendaraan di persimpangan.

2.5 Model M/M/1 dalam Sistem Lalu Lintas

Model M/M/1 digunakan untuk menggambarkan situasi di mana kendaraan datang secara acak (mengikuti distribusi Poisson) dan dilayani satu per satu (satu jalur lampu lalu lintas). Dalam penelitian Harahap et al. (2018), model ini digunakan untuk menganalisis antrian kendaraan di persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta di Bandung. Berdasarkan model ini, waktu tunggu rata-rata kendaraan dapat dihitung dan dibandingkan dengan waktu pelayanan yang diberikan oleh sistem lampu lalu lintas. Hasil dari analisis ini dapat

memberikan wawasan mengenai seberapa efisien sistem lampu lalu lintas yang ada dan bagaimana cara pengoptimalannya.

2.6 Distribusi Poisson

Distribusi Poisson merupakan salah satu distribusi probabilitas diskrit yang digunakan untuk memodelkan banyaknya kejadian (event) yang terjadi secara acak dalam interval waktu atau ruang tertentu, dengan asumsi bahwa rata-rata kejadian (λ) tetap.

Probabilitas terjadinya k kejadian dalam satu interval dinyatakan dengan rumus:

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

- λ : Rata-rata jumlah kendaraan.
- e : Konstanta Euler (≈ 2.71828).
- $k!$: Faktorial dari k .

Dalam konteks lalu lintas:

- λ merepresentasikan laju kedatangan kendaraan per satuan waktu.
- k adalah jumlah kendaraan yang tiba pada periode tertentu.

2.6 Pengaruh Durasi Sinyal Lampu terhadap Kemacetan

Durasi sinyal lampu memiliki pengaruh besar terhadap kemacetan di persimpangan. Jika durasi sinyal terlalu lama, kendaraan di jalur lainnya akan mengalami waktu tunggu yang lama. Sebaliknya, jika durasi sinyal terlalu singkat, kendaraan tidak dapat melewati persimpangan dengan lancar, yang dapat menyebabkan kemacetan. Oleh karena itu, durasi sinyal harus diatur dengan bijaksana, mempertimbangkan volume kendaraan yang datang pada masing-masing jalur.

2.7 Pendekatan Alokasi Proporsional

Pendekatan alokasi proporsional adalah metode yang digunakan untuk membagi atau mengalokasikan suatu sumber daya berdasarkan proporsi yang relevan. Dalam konteks pengaturan alokasi, ini berarti sumber daya tersebut (seperti waktu, dana, atau ruang) didistribusikan sesuai dengan ukuran atau kebutuhan masing-masing pihak yang terlibat, dengan memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi alokasi tersebut.

Misalnya, dalam konteks pengaturan waktu atau durasi, alokasi proporsional memastikan bahwa setiap pihak atau komponen yang terlibat mendapatkan bagian yang sesuai dengan kondisi atau kontribusinya. Prinsip dasar dari pendekatan ini adalah bahwa bagian yang lebih besar diberikan kepada komponen yang dinilai lebih memerlukan.

Dalam pengaturan durasi lampu hijau, pendekatan alokasi proporsional digunakan untuk mengalokasikan waktu lampu hijau pada setiap jalur secara proporsional terhadap jumlah kendaraan yang ada dalam antrian dan kendaraan yang dapat melewati persimpangan selama lampu hijau. Dengan pendekatan ini, lebih banyak waktu diberikan pada jalur yang lebih padat kendaraan, sehingga aliran lalu lintas dapat lebih merata dan efisien. Pendekatan ini membantu mengurangi kemacetan dan waktu tunggu yang tidak perlu, dengan

menyesuaikan durasi sinyal lampu berdasarkan kondisi lalu lintas yang ada.

- Formula Optimasi: $t_i = T \cdot \frac{Q_i + \mu_i}{\sum(Q_i + \mu_i)}$
 - t_i : Durasi lampu hijau untuk simpul keluar i .
 - T : Total durasi siklus lampu lalu lintas (dalam menit).
 - Q_i : Kendaraan dalam antrean di simpul i .
 - μ_i : Kendaraan keluar selama lampu hijau di simpul i .

2.8 Langkah Perhitungan

Untuk menghitung durasi lampu hijau yang optimal, langkah-langkah berikut dapat diikuti:

- Hitung Total Bobot: $W = \sum(Q_i + \mu_i)$
- Tentukan Proporsi untuk Setiap Ruas: $w_i = \frac{Q_i + \mu_i}{W}$
- Tentukan Durasi Lampu Hijau Baru untuk Setiap Ruas: $t_i = T \cdot w_i$

III. IMPLEMENTASI

Program ini mengimplementasikan sistem optimasi lampu lalu lintas untuk persimpangan Buah Batu - Soekarno Hatta, Bandung, menggunakan pendekatan teori graf dan model antrean.

A. Struktur dan Pendekatan

Persimpangan dimodelkan sebagai graf berarah dengan 4 node (ruas A, B, C, D). Pada tahap awal, tiap node diberi bobot berupa panjang antrean dan intensitas lalu lintas (λ/μ). Model antrean M/M/1 digunakan untuk menganalisis sistem, dengan asumsi kedatangan kendaraan mengikuti distribusi Poisson dan waktu layanan mengikuti distribusi eksponensial. Dalam perhitungan akhirnya, bobot per node ini diperhitungkan untuk mendistribusikan waktu hijau bagi setiap ruas.



Gambar 3.1 Persimpangan Jl. Buah Batu (A dan C) – Soekarno Hatta (B dan D)

Sumber: [1]

B. Variabel Kalkulasi

Program mengoptimalkan alokasi waktu hijau dengan mempertimbangkan:

- Antrean kendaraan di setiap ruas
- Service rate (μ) dan arrival rate (λ)
- Minimum green time (2 menit) untuk keamanan
- Stabilitas sistem melalui kondisi $\mu > \lambda$

- Implementasi

C. Data Empiris Penelitian [1]

Berikut data lapangan dari penelitian [1] yang digunakan sebagai acuan perhitungan awal pada penelitian ini:

Ruas Jalan	Lampu Merah	Lampu Hijau
A	5.22	3.8
B	11.65	1.35
C	5.22	7.85
D	9.2	3.87

Tabel 3.1 Durasi Lampu Lalu Lintas Satu Siklus Mengacu Pada Gambar 1 (dalam menit)

Sumber: [1]

Berdasarkan data empiris pada tabel 3.1, program melakukan standardisasi waktu siklus menjadi 13 menit untuk semua ruas, menggantikan variasi waktu sebelumnya (A: 9.02, B: 13.0, C: 13.07, D: 13.07 menit). Pemilihan 13 menit didasarkan pada pertimbangan kemudahan penerapan satu siklus tetap, serta fakta bahwa persimpangan sudah memiliki kecenderungan siklus mendekati 13 menit pada dua ruas berbeda (B dan C). Dengan demikian, normalisasi ke 13 menit diharapkan memudahkan koordinasi antar-ruas.

Ruas Jalan	Jumlah Kendaraan Keluar Antrean
A	131
B	213
C	258
D	188

Tabel 3.2 Rata-rata keberangkatan kendaraan keluar dari perempatan saat siklus lampu hijau

Sumber: [1]

Ruas Jalan	Kendaraan Dalam Antrean
A	27
B	84
C	102
D	36

Tabel 3.3 Rata-rata jumlah kendaraan di dalam sistem antrean

Sumber: [1]

Data di atas digunakan bersama rumus-rumus pada penelitian [1] untuk menentukan nilai rata-rata layanan (μ) dan rata-rata kedatangan (λ). Penelitian tersebut menemukan bahwa rata-rata waktu tunggu kendaraan (T) di tiap ruas adalah:

- $T(A) = 9.15$ menit
- $T(B) = 26.64$ menit
- $T(C) = 13.18$ menit
- $T(D) = 13.14$ menit

D. Integrasi Program

Dengan data empiris di atas sebagai acuan, langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan perhitungan tersebut ke dalam sebuah program. Program ditulis menggunakan bahasa Python yang akan memodelkan persimpangan dan

mendistribusikan waktu hijau secara optimal.

Implementasi dikemas dalam class TrafficOptimizer yang mengintegrasikan:

- Data empiris persimpangan
- Kalkulasi bobot berbasis antrian dan intensitas lalu lintas
- Alokasi sumber daya (waktu hijau) berdasarkan bobot
- Perhitungan wait time menggunakan formula M/M/1

Program bertujuan mereduksi waktu tunggu maksimal (sebelumnya 26.64 menit di ruas B) sambil menjaga keseimbangan pelayanan di semua ruas.

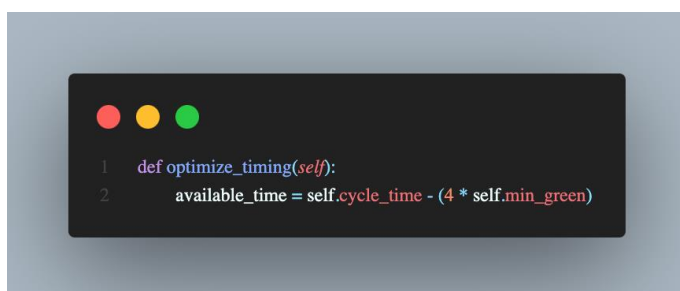


```
1 class TrafficOptimizer:
2     def __init__(self):
3         self.cycle_time = 13.0
4         self.min_green = 2.0
5
6         self.queue_length = {'A': 27, 'B': 84, 'C': 102, 'D': 36}
7         self.base_mu = {'A': 14.52, 'B': 16.38, 'C': 19.74, 'D': 14.38}
8         self.base_lambda = {'A': 14.41, 'B': 6.42, 'C': 19.66, 'D': 14.30}
9         self.original_waits = {'A': 9.15, 'B': 26.64, 'C': 13.18, 'D': 13.14}
```

Gambar 3.2 Tangkapan Layar Kode Implementasi Makalah.
Sumber: Arsip Penulis

1. Inisialisasi Kelas dan Data Empiris

- a. Membuat kelas TrafficOptimizer yang menyimpan parameter dan data lalu lintas.
- b. cycle_time menentukan durasi satu siklus lampu.
- c. min_green adalah waktu hijau minimum untuk setiap ruas.
- d. queue_length berisi jumlah kendaraan antri di tiap ruas.
- e. base_mu dan base_lambda adalah laju pelayanan dan laju kedatangan (service dan arrival rates).
- f. original_waits menyimpan waktu tunggu asli dari studi.

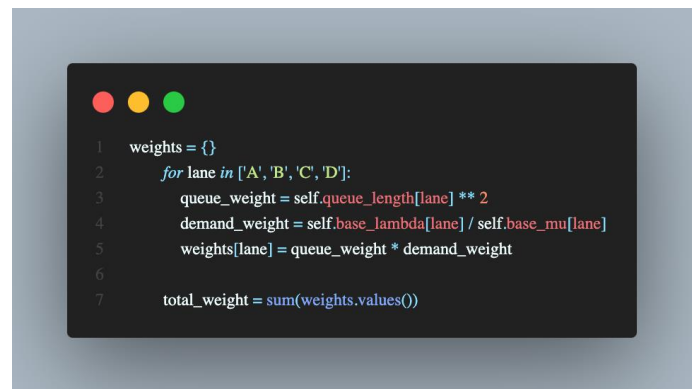


```
1 def optimize_timing(self):
2     available_time = self.cycle_time - (4 * self.min_green)
```

Gambar 3.3 Tangkapan Layar Kode Implementasi Makalah.
Sumber: Arsip Penulis

2. Metode Optimasi Waktu

Fungsi optimize_timing menghitung waktu total yang dapat didistribusikan setelah mengalokasikan waktu hijau minimum di 4 ruas.

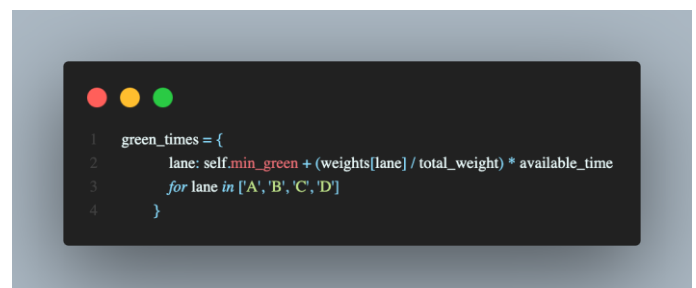


```
1 weights = {}
2 for lane in ['A', 'B', 'C', 'D']:
3     queue_weight = self.queue_length[lane] ** 2
4     demand_weight = self.base_lambda[lane] / self.base_mu[lane]
5     weights[lane] = queue_weight * demand_weight
6
7 total_weight = sum(weights.values())
```

Gambar 3.4 Tangkapan Layar Kode Implementasi Makalah.
Sumber: Arsip Penulis

3. Perhitungan Bobot

- a. Membuat dictionary weights untuk menyimpan bobot tiap ruas.
- b. queue_weight merupakan kuadrat dari panjang antrian, memberikan penekanan ekstra pada ruas yang padat.
- c. demand_weight adalah rasio antara laju kedatangan dan laju pelayanan.
- d. Nilai weights[lane] dihasilkan dari perkalian kedua faktor.



```
1 green_times = {
2     lane: self.min_green + (weights[lane] / total_weight) * available_time
3     for lane in ['A', 'B', 'C', 'D']
4 }
```

Gambar 3.5 Tangkapan Layar Kode Implementasi Makalah.
Sumber: Arsip Penulis

4. Alokasi Waktu Hijau

- a. total_weight menjumlahkan semua bobot.
- b. green_times menghitung durasi lampu hijau untuk tiap ruas dengan cara mendistribusikan available_time secara proporsional berdasarkan weights[lane].
- c. Ditambah min_green agar setiap ruas punya waktu hijau minimum.

```

1 results = {}
2 for lane in ['A', 'B', 'C', 'D']:
3     mu = self.base_mu[lane] * (green_times[lane] / self.cycle_time)
4
5     lam = min(self.base_lambda[lane], 0.95 * mu)
6
7     if mu > lam:
8         wait_time = 1.0 / (mu - lam)
9     else:
10        wait_time = float('inf')

```

Gambar 3.6 Tangkapan Layar Kode Implementasi Makalah.
Sumber: Arsip Penulis

5. Penghitungan *Service Rate* dan *Arrival Rate*

- mu (laju pelayanan efektif) dihitung dengan cara mengalikan base_mu dengan rasio (green_time / total_cycle).
- lam (laju kedatangan efektif) dikunci agar tidak melebihi 95% dari mu demi menghindari kondisi jenuh.
- wait_time menggunakan rumus M/M/1: $1 / (\mu - \lambda)$.
- Jika mu tidak lebih besar dari lam, waktu tunggu tak terhingga (oversaturated).

```

1 results[lane] = {
2     'green': round(green_times[lane], 2),
3     'red': round(self.cycle_time - green_times[lane], 2),
4     'service_rate': round(mu, 2),
5     'arrival_rate': round(lam, 2),
6     'wait_time': round(wait_time, 2),
7 }
8 return results

```

Gambar 3.7 Tangkapan Layar Kode Implementasi Makalah.
Sumber: Arsip Penulis

6. Penyimpanan dan Pengembalian Hasil

- Menyusun dictionary untuk setiap ruas agar berisi:
 - Durasi hijau (green)
 - Durasi merah (red)
 - Laju pelayanan dan kedatangan yang diperbarui
 - Perkiraan waktu tunggu (wait_time)
- Mengembalikan results sebagai keluaran utama fungsi.

```

1 optimizer = TrafficOptimizer()
2 opt = optimizer.optimize_timing()
3
4 print("\nOptimized Traffic Signal Timings (13.0-minute cycle):")
5 print("-" * 60)
6 for lane in ['A', 'B', 'C', 'D']:
7     print(f"\nLane {lane}:")
8     print(f"Queue Length: {optimizer.queue_length[lane]}")
9     print(f"Green Time: {opt[lane]['green']} minutes")
10    print(f"Red Time: {opt[lane]['red']} minutes")
11    print(f"Service Rate: {opt[lane]['service_rate']}")
12    print(f"Arrival Rate: {opt[lane]['arrival_rate']}")
13    print(f"Wait Time: {opt[lane]['wait_time']} minutes")
14    print(f"Original Wait: {optimizer.original_waits[lane]} minutes")
15
16 print("\nComparison Summary:")
17 print("-" * 60)
18 for lane in ['A', 'B', 'C', 'D']:
19     improvement = optimizer.original_waits[lane] - opt[lane]['wait_time']
20     print(f" Lane {lane}: {improvement:.2f} minute improvement")

```

Gambar 3.8 Tangkapan Layar Kode Implementasi Makalah.
Sumber: Arsip Penulis

7. Panggilan Fungsi dan Keluaran

- Membuat instance TrafficOptimizer.
- Memanggil metode optimize_timing untuk menjalankan proses optimasi.
- Menampilkan hasil secara terformat:
 - Durasi hijau/merah
 - Laju pelayanan/kedatangan
 - Waktu tunggu hasil optimasi
 - Perbandingan dengan waktu tunggu asli
- Menghitung dan menampilkan peningkatan (pengurangan waktu tunggu) di tiap ruas.
- Mengukur seberapa efektif optimasi dibanding data awal.

IV. HASIL DAN DISKUSI

Tabel berikut menunjukkan hasil pemodelan dan optimasi waktu lampu lalu lintas dengan menetapkan total waktu siklus sebesar 13 menit dan minimum green time 2 menit untuk masing-masing ruas:

Ruas	Lampu Hijau (menit)	Lampu Merah (menit)	Service Rate (kendaraan/menit)	Arrival Rate (kendaraan/menit)	Waktu Tunggu Setelah Optimasi (menit)	Waktu Tunggu Empiris [1]	Peningkatan (menit)
A	2.24	10.76	2.5	2.38	8	9.15	1.15
B	2.91	10.09	3.67	3.49	5.45	26.64	21.19
C	5.42	7.58	8.23	7.82	2.43	13.18	10.75
D	2.43	10.57	2.68	2.55	7.45	13.14	5.69

Gambar 4.1 Hasil Analisis Program

Sumber: Arsip Penulis

1. Ruas A

- Mendapat alokasi waktu hijau 2.24 menit dan merah 10.76 menit.
- Waktu tunggu berkurang dari 9.15 menjadi 8 menit.
- Peningkatan layanan relatif moderat, menandakan ruas ini cukup stabil sejak awal.

2. Ruas B

- Mengalami perbaikan paling signifikan, dari 26.64 menjadi 5.45 menit.
- Alokasi green time 2.91 menit cukup menaikkan service rate bila dibandingkan kebutuhan jalan B.
- Perbedaan besar menunjukkan bahwa ruas B tadinya oversaturated, sehingga penambahan proporsional waktu hijau berdampak besar pada penurunan waktu tunggu.

3. Ruas C

- Menerapkan green time 5.42 menit, yang relatif besar karena panjangnya antrean (102) dan tingginya laju kedatangan (19.66).
- Waktu tunggu turun tajam dari 13.18 menjadi 2.43 menit, merupakan perbaikan substansial.
- Ini menegaskan bahwa porsi hijau tambahan dapat mengurangi backlog secara efektif.

4. Ruas D

- Mendapat alokasi green time 2.43 menit, menghasilkan penurunan waktu tunggu dari 13.14 menjadi 7.45 menit.
- Peningkatannya tidak sebesar ruas B atau C, namun tetap signifikan menurut kebutuhan ruas D.

Pembahasan

1. Efektivitas Alokasi Waktu Hijau

Pengalokasian waktu hijau berdasarkan bobot ($queue^2 \times (\lambda/\mu)$) terbukti mampu memperbaiki kinerja lalu lintas secara keseluruhan. Metode ini mendorong ruas dengan tingkat kemacetan lebih tinggi untuk memperoleh porsi waktu hijau lebih besar, sehingga total waktu tunggu keseluruhan menurun.

2. Stabilitas Sistem Antrean

Dengan memastikan service rate (μ) tetap lebih besar dari arrival rate (λ), sistem tidak lagi oversaturated, bahkan untuk ruas B. Hal ini dibuktikan dari turunnya waktu tunggu secara drastis pada ruas yang semula bermasalah.

3. Peningkatan Kinerja secara Keseluruhan

Peningkatan terbesar terlihat pada ruas B. Sedangkan ruas lain, meski tidak terlalu ekstrem, juga menunjukkan penurunan waktu tunggu yang signifikan. Hal ini menunjukkan pendekatan alokasi waktu hijau yang fleksibel efektif mengurangi kemacetan secara proporsional.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi sistem lampu lalu lintas menggunakan teori graf dan pendekatan alokasi proporsional dapat meningkatkan efisiensi aliran lalu lintas di persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta, Bandung. Dengan memanfaatkan model graf berarah dan analisis antrean M/M/1, durasi lampu hijau pada setiap ruas jalan dapat diatur secara optimal berdasarkan jumlah kendaraan dalam antrean dan kendaraan keluar.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa metode ini berhasil mengurangi waktu tunggu maksimum di ruas jalan tersibuk, meningkatkan distribusi aliran kendaraan, dan

menyeimbangkan pelayanan antar ruas. Pendekatan ini juga mempertahankan stabilitas sistem dengan memastikan durasi lampu hijau minimum untuk keamanan dan menghindari overload pada jalur tertentu.

Kesimpulannya, pendekatan berbasis teori graf dan alokasi proporsional dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi masalah kemacetan di persimpangan jalan yang padat. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi data real-time dan teknologi IoT untuk optimasi dinamis yang lebih adaptif terhadap kondisi lalu lintas yang berubah-ubah.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat, dan kasih sayang-Nya yang telah mempermudah penulis dalam menyelesaikan tugas ini tanpa menghadapi kendala dan tantangan yang berarti. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga, kerabat, dan teman-teman atas dukungan yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini dengan baik.

Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada dosen pengampu mata kuliah Informatika, khususnya kepada Bapak Arrival Dwi Sentosa, S.Kom., M.T., atas ilmu dan pembelajaran berharga yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Penulis berharap makalah ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi pihak lain yang membutuhkannya.

REFERENSI

- [1] E. Goodaire and M. Parmenter, Discrete Mathematics with Graph Theory (Classic Version), 3rd ed. Pearson, 2017, 592 pp., ISBN: 978-0134689555.
- [2] Harahap, E., Permanasari, Y., Badruzzaman, F.H., Marlina, E., Suhaedi, D., & Fajar, M. Y. (2018). Analisis Antrean Lalu Lintas Pada Persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta Bandung. https://www.researchgate.net/publication/343155734_Analisis_Antrean_Lalu_Lintas_Pada_Persimpangan_Buah_Batu_-_Soekarno_Hatta_Bandung (diakses pada 5 Januari 2025)
- [3] NUS Computing: M/M/1 Model. <https://www.comp.nus.edu.sg/~cs3260/MM1.pdf> (diakses pada 7 Januari 2025)
- [4] "Traffic Light Control System." Journal of Theory and Practice of Engineering Science, vol. 4, no. 3, pp. 111–124, Mar. 2024, doi: 10.53469/jtpes.2024.04(03).11. https://www.researchgate.net/publication/379518193_Traffic_Light_Control_System (diakses pada 7 Januari 2025)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 8 Januari 2025



I Made Wiweka Putera - 13523160