

# Solusi Komprehensif Untuk Mengatasi Kemacetan dan Shock Wave di Area Tempat Ibadah

Luis Valentino Kristanto<sup>1</sup>, Keisya Stefanie Wijaya<sup>1</sup>, Timotius Ricardo Kuncorohadi<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya,  
b11200030@john.petra.ac.id, b11200019@john.petra.ac.id,  
b11180198@john.petra.ac.id

**ABSTRAK :** Karakteristik jalan di area tempat ibadah seringkali mirip. Mereka cenderung sepi atau bahkan kosong selama hari biasa tetapi menjadi ramai selama ibadah. Peningkatan lalu lintas ini dapat menyebabkan kongesti, shock waves, atau bahkan kemacetan lalu lintas. Dalam makalah ini, kami mengusulkan solusi untuk masalah-masalah ini dengan menggunakan pendekatan *Ideal Flow Network Transport* (IFN) untuk menciptakan skenario yang dapat membantu mengatasi masalah tersebut. Jalan-jalan kecil yang digunakan untuk lalu lintas dua arah sering mengalami kemacetan selama ibadah. Mengubah jalan dua arah ini menjadi jalan satu arah adalah solusi potensial untuk mengatasi masalah ini

**KATA KUNCI:** lalu lintas, *shock waves*, tempat ibadah, *Ideal Flow Network Transport*, kongesti, sirkulasi lalu lintas, kemacetan

## 1. PENDAHULUAN

Popularitas tempat ibadah telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir, dengan lebih banyak orang menghadiri ibadah dan upacara keagamaan lainnya. Meskipun Kekristenan tetap menjadi agama terbesar di seluruh dunia, tingkat pertumbuhan berbagai agama dapat bervariasi secara signifikan. Dalam satu dekade ke depan, Islam diprediksi akan menjadi agama dengan pertumbuhan tercepat, dengan peningkatan diperkirakan mencapai 73% (Brice, 2023). Namun, lonjakan jumlah penganut agama ini dapat menimbulkan tantangan terkait transportasi, seperti kemacetan lalu lintas, masalah parkir, dan akses yang terbatas. Seringkali, tempat ibadah terletak di daerah perkotaan yang padat penduduk dengan jalan yang sempit dan parkir yang tidak mencukupi, memperparah kemacetan lalu lintas dan masalah terkait.

Kemacetan lalu lintas menyebabkan banyak dampak negatif pada lingkungan sekitarnya, yang dapat dikategorikan menjadi dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan (Fattah, Morshed, & Kafy, 2022). Lalu lintas dapat menimbulkan banyak dampak negatif, seperti polusi udara, rasa frustrasi, dan kerugian ekonomi yang signifikan karena waktu dan produktivitas yang hilang. Bayangkan berapa banyak kerugian yang terjadi karena satu kejadian kemacetan, yang mudah ditemukan setiap hari dan sering terjadi. Dengan kemacetan lalu lintas menjadi masalah utama, tidak hanya menyebabkan ketidaknyamanan dan rasa frustrasi, tetapi juga dapat memiliki implikasi serius untuk keselamatan dan respon darurat. Tingkat lalu lintas yang tinggi akan menunda respon darurat seperti truk pemadam kebakaran dan ambulans (Brent & Beland, 2020).

Dalam makalah ini, kami akan mengeksplorasi penyebab dan konsekuensi dari kemacetan lalu lintas di Tempat ibadah, dan menyarankan solusi yang mungkin untuk masalah yang semakin meningkat ini. Sehingga tidak ada kerugian signifikan yang merugikan orang lain yang tidak ikut serta dalam acara ini. Untuk mengilustrasikan analisis kami, kami akan menggunakan Gereja GPMI Alfa Omega Bojonegoro sebagai contoh.

## 2. STUDI LITERATUR

Kepadatan lalu lintas selalu menjadi masalah utama di setiap negara karena pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi yang semakin meningkat di daerah perkotaan. Masalah transportasi perkotaan adalah bungkusan kompleks dari masalah yang saling terkait (Dimitrion, 1992). Selain itu, Noor, Md. A. et al. (2021) meneliti kemacetan di daerah pusat kota Khulna, Bangladesh. Studi ini menggunakan berbagai metode seperti Tingkat Layanan, Indeks Kinerja Kecepatan, dan Indeks Kepadatan Segmen Jalan. Namun, kemacetan tidak hanya terjadi di daerah perkotaan tetapi juga di daerah kampus karena mobilitas mahasiswa, seperti yang diteliti oleh Teknomo. K. et al. (2019). Dalam penelitiannya, Teknomo menyelidiki efektivitas penambahan jalan baru di sekitar area kampus menggunakan metode *Ideal Flow Network* untuk mengurangi kemacetan. Namun, gerakan masuk dan keluar mahasiswa juga dapat menyebabkan gelombang kejut yang berkontribusi terhadap kemacetan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan solusi yang tidak hanya mengurangi kemacetan tetapi juga mengurangi kemungkinan gelombang kejut, seperti dalam penelitian yang dilakukan oleh Motamedidehkordi. N. (2016) pada penggunaan komunikasi kendaraan ke kendaraan untuk mengatasi gelombang kejut melalui eksperimen mikroskopis. Sayangnya, masih sedikit penelitian yang menganalisis kemacetan lalu lintas di dekat area religius. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebab kemacetan di dekat area religius dan untuk menemukan solusi untuk mengatasi kemacetan menggunakan IFN sambil juga mempertimbangkan kemungkinan gelombang kejut.

### 2.1 IDEAL FLOW NETWORK (IFN) TRANSPORT

Model *Ideal Flow Network* (IFN) adalah model simulasi lalu lintas yang digunakan untuk mengoptimalkan distribusi aliran lalu lintas pada jaringan jalan. Model ini mengandalkan representasi grafik berarah dari informasi pasokan lalu lintas, di mana *nodes* mewakili asal, tujuan, dan persimpangan, sementara *links* mewakili jalan, dan bobot tautan menunjukkan waktu tempuh, jarak, kapasitas, dan aliran lalu lintas. Informasi permintaan lalu lintas secara real-time meningkatkan akurasi estimasi aliran dalam model IFN. Untuk menerapkan model IFN, grafik jaringan berarah harus terhubung secara kuat, memastikan ada jalur dari setiap *nodes* ke setiap *links* lainnya. Untuk mencapai hal ini, *dummy cloud nodes* (titik imajiner) dan *dummy link* (hubungan imajiner) dapat ditambahkan, seperti yang dijelaskan oleh Teknomo dan Gardon (2017). Model IFN membuktikan kegunaannya dalam perencanaan dan pengelolaan transportasi dengan memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang efisien dan pengurangan kemacetan lalu lintas (Teknomo, K. et al., 2019).

### 2.2 SHOCK WAVE

*Shock wave* adalah masalah lalu lintas yang muncul ketika terjadi perubahan kondisi jalan yang menciptakan perbedaan antara dua bagian jalan, menyebabkan kemacetan. Temuan tentang karakteristik dan kecepatan propagasi gelombang kejut dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak spasial dan temporal dari kemacetan, serta untuk mengembangkan dan mengkalibrasi model aliran lalu lintas (Xiao-Yun, dkk., 2007).

Lalu lintas nyata berperilaku serupa dengan gelombang fluida, di mana aliran lalu lintas dianalisis sebagai dua area berbeda (A dan B) dengan kepadatan lalu lintas yang bervariasi. Batas antara area ini dikenal sebagai depan gelombang kejut (S), yang bergerak dengan kecepatan vs. Kecepatan kendaraan di area A dan B masing-masing adalah  $v_u$  dan  $v_d$ . Untuk menghitung jumlah kendaraan (N) yang melewati antarmuka gelombang kejut S selama periode waktu t yang diberikan, digunakan rumus berikut:

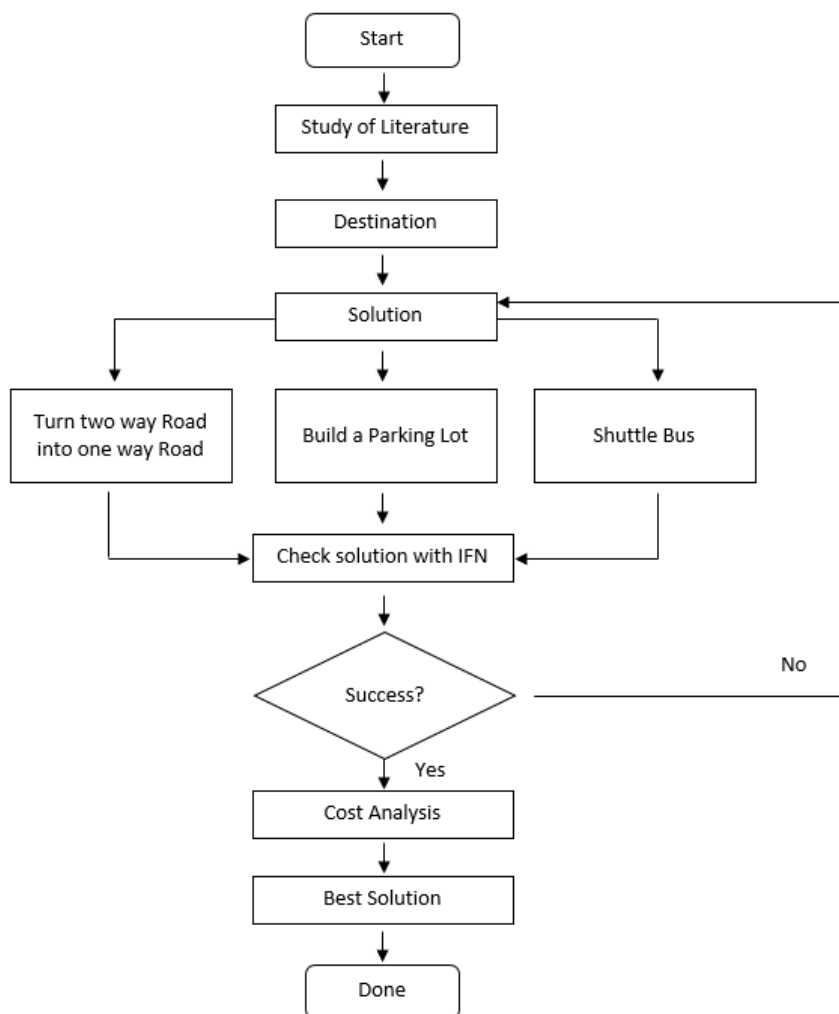
$$\dot{N} = (v_u - v_s) k_{ut} = (v_d - v_s) k_{dt}$$

Berdasarkan teori dari Lighthill-Whitham-Richard (LWR), diperoleh kecepatan *shock wave* lalu lintas :

$$v_s = \frac{qd - qu}{kd - ku}$$

*Shock wave* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan transisi antara dua kondisi lalu lintas yang berbeda, dan kecepatan gelombang kejut mengindikasikan arah dan proses transisi tersebut. Dengan kata lain, kecepatan gelombang kejut sama dengan perubahan aliran lalu lintas pada gelombang dibagi dengan perubahan kepadatan. Ketika  $v_s > 0$ , hal ini mengindikasikan bahwa gelombang kejut bergerak searah dengan aliran lalu lintas, sedangkan ketika  $v_s < 0$ , gelombang kejut bergerak berlawanan arah dengan aliran lalu lintas. Ketika  $v = 0$ , gelombang tetap diam dan stabil pada lokasinya. (Motamedidehkordi, N. dkk., 2016).

### 3. METODOLOGI



**Gambar 1.** Metodologi Penelitian

Untuk memulai pembahasan tentang mengatasi kemacetan dan *shock wave*, langkah pertama yang harus dilakukan adalah melakukan studi literatur untuk mengulas topik yang akan dibahas. Dalam tahap ini, jurnal dan buku yang terkait dengan topik kemacetan dan *shock wave* akan dikumpulkan dan dipelajari. Setelah itu, langkah kedua adalah menentukan tujuan dari pembahasan tersebut agar ide-ide yang akan diambil lebih terarah. Dalam tahap ini, ide-ide

untuk mengatasi dampak dari permasalahan Shockwave akan dipilih dan diarahkan untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan. Selanjutnya, dari permasalahan yang ada, terdapat beberapa solusi yang dapat menyelesaikan atau mengurangi dampak dari permasalahan tersebut. Oleh karena itu, analisis solusi tersebut akan dilakukan dengan menggunakan IFN untuk mencari beberapa skenario terbaik. Terakhir, analisis lebih lanjut akan dilakukan untuk menemukan solusi terbaik yang lebih efektif dalam menyelesaikan masalah Shockwave. Langkah ini bertujuan untuk menemukan solusi yang tepat dan efektif dalam menangani dampak dari permasalahan Shockwave secara lebih komprehensif.

### 3.1 PENGUMPULAN DATA

Studi ini dilakukan selama jam sibuk menggunakan metode simulasi *Ideal Flow Network Transport* (IFN) untuk memperoleh data lalu lintas. Melalui simulasi tersebut, diperoleh data tentang besarnya aliran lalu lintas di setiap jalan dan kepadatan jalan. Studi ini memodelkan jaringan awal (skenario dasar) menggunakan program IFN *Transport* yang terintegrasi dengan OSM (*Open Street Map*). Dengan OSM, data tentang *links* dan koordinat, segmen jalan, jumlah lajur, dan lebar dapat diperoleh. Dari sini, diperoleh data tentang jaringan jalan yang diteliti, yaitu tingkat kejenuhan pada setiap segmen jalan.

Selanjutnya, dilakukan kalibrasi untuk meningkatkan kinerja jaringan jalan awal (skenario dasar) pada model awal IFN menggunakan Microsoft Excel. Dengan menganalisis hasil kinerja jalan, tingkat kejenuhan baru dapat dibandingkan dengan tingkat kejenuhan pada skenario dasar. Kemudian, dapat ditentukan skenario mana yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja jaringan jalan yang diteliti.

## 4. HASIL DAN DISKUSI

### 4.1 Teori Traffic Flow

Menurut Teori Aliran Lalu Lintas (*Traffic Flow*), arus lalu lintas dapat ditentukan berdasarkan permintaan lalu lintas. Dalam kasus ini, permintaannya adalah untuk 700 orang yang perlu pulang atau pergi ke lokasi lain setelah ibadah Minggu. Dengan asumsi bahwa 40% orang menggunakan mobil dan 60% menggunakan sepeda motor sebagai moda transportasi pilihan mereka, aliran lalu lintas dapat diestimasi untuk setiap opsi transportasi seperti **Tabel 1**.

**Tabel 1. Perhitungan Arus Lalu Lintas**

|            | Motorcycles (60%) | Cars (40%) |
|------------|-------------------|------------|
| Demand     | 420 pax           | 280 pax    |
| Passenger  | 1.5 pax           | 1.5 pax    |
| PCU        | 0.5               | 1          |
| Flow (Q)   | 140               | 187        |
| Total Flow | 327 pcu           |            |

Berdasarkan perhitungan tersebut, total aliran lalu lintas yang terjadi setelah ibadah Minggu adalah 327 unit kendaraan penumpang (pcu). Aliran ini hanya terdiri dari anggota gereja yang meninggalkan gereja setelah ibadah Minggu dan terjadi di jalan-jalan di dekat tempat-tempat ibadah. Namun, ada juga aliran lalu lintas dari orang-orang di luar gereja. Untuk menganalisis lalu lintas yang sebenarnya terjadi di jalan-jalan di dekat tempat-tempat ibadah, kita perlu menggabungkan aliran ini dengan aliran dari anggota gereja di luar gereja.



Simulasi penyediaan fasilitas bus shuttle sebagai alternatif transportasi bagi anggota gereja adalah salah satu skenario yang diteliti dalam studi ini. Dengan asumsi permintaan sebanyak 700 orang, kami menemukan bahwa persentase penggunaan kendaraan pribadi, seperti mobil, akan berkurang. Secara khusus, kami berasumsi bahwa 40% dari permintaan akan menggunakan sepeda motor, 30% akan menggunakan mobil, dan 30% sisanya akan beralih menggunakan bus sebagai alternatif. Asumsi-asumsi ini memungkinkan kami menghitung aliran lalu lintas yang dihasilkan dengan cara yang sama seperti skenario lainnya. Hasil perhitungannya seperti **Tabel 2**.

**Table 2. Perhitungan Arus Lalu Lintas Dengan Bus Sebagai Alternatif transportasi**

|            | Motorcycles (40%) | Cars (30%)     | Bus (30%) |
|------------|-------------------|----------------|-----------|
| Demand     | 280 pax           | 210 pax / hour | 210 pax   |
| Passenger  | 1.5 pax           | 1.5 pax        | 15 pax    |
| PCU        | 0.5               | 1              | 3         |
| Flow (Q)   | 93                | 140            | 42        |
| Total Flow | 275 pcu           |                |           |

Berdasarkan perhitungan di atas, total aliran lalu lintas setelah ibadah Minggu diperkirakan sebesar 275 unit kendaraan penumpang (pcu) per jam. Ini mewakili penurunan yang signifikan dalam total aliran lalu lintas, karena pengguna kendaraan pribadi telah beralih menggunakan *shuttle bus* gereja.

#### 4.2 Teorema Antrian

Menurut Teorema Antrian, kasus ini terkait dengan disiplin antrian, yaitu kedatangan sekaligus. Setelah ibadah gereja, sekelompok orang keluar dari ruangan secara bersamaan. Berdasarkan *Queuing Rule of Thumb* (Teknomo, 2014), jumlah server paralel harus lebih besar atau sama dengan jumlah total pelanggan (N) dikali dengan waktu layanan (r), dibagi oleh waktu maksimum untuk menyelesaikan antrian (T).

$$s \geq \frac{N \cdot r}{T}$$

Dalam kasus ini, terdapat 700 orang yang perlu pulang atau pergi ke lokasi lain setelah ibadah Minggu. Namun, jumlah kendaraan yang diperlukan untuk mengangkut mereka tidak tepat 700. Dengan menggunakan teorema aliran lalu lintas, kita dapat menentukan bahwa dibutuhkan 327 unit kendaraan penumpang (pcu) untuk mengangkut semua 700 individu tersebut. Oleh karena itu, permintaan (*demand*) atau total pelanggan dalam kasus ini adalah 327 pcu. Selanjutnya, pasokan (*supply*) adalah server paralel dan waktu layanan yang dapat bervariasi untuk setiap skenario.

**Tabel 3. Waktu Untuk Menyelesaikan Antrian Pada Base Scenario**

| Variable                   | Motorcycles               | Cars         |
|----------------------------|---------------------------|--------------|
| Demand                     | 140 pcu                   | 187 pcu      |
| Parallel Server            | 2                         | 1            |
| Service Time               | 10                        | 20           |
| Time to Finish the Queue   | 700 seconds               | 3740 seconds |
| Total Time to Finish Queue | 4440 seconds (74 minutes) |              |

Jumlah server paralel ditentukan oleh lebar jalan yang tersedia untuk dilalui. Pada skenario dasar, hanya ada satu server yang tersedia untuk mobil karena lebar jalan terbatas sebesar 3 meter. Hal ini disebabkan oleh beberapa kendaraan yang diparkir di sepanjang jalan, yang mengurangi ruang yang tersedia untuk aliran lalu lintas.

**Tabel 4. Waktu Untuk Menyelesaikan Antrian Pada Scenario 1**

| Variable                   | Motorcycles                 | Cars           |
|----------------------------|-----------------------------|----------------|
| Demand                     | 140 pcu                     | 187 pcu        |
| Parallel Server            | 4                           | 2              |
| Service Time               | 10                          | 15             |
| Time to Finish the Queue   | 350 seconds                 | 1402.5 seconds |
| Total Time to Finish Queue | 1752.5 seconds (29 minutes) |                |

Jumlah server paralel meningkat dalam kasus ini karena kendaraan tidak lagi diparkir di sepanjang jalan, tetapi diparkir di dalam gedung parkir. Hal ini mengakibatkan lebar jalan yang lebih lebar, sebesar 6 meter, tersedia, sehingga memungkinkan aliran lalu lintas yang lebih baik. Dengan kendaraan dapat bergerak bebas dari gedung parkir, waktu layanan diperkirakan akan berkurang.

**Tabel 5. Waktu Untuk Menyelesaikan Antrian Pada Scenario 2 dan 3**

| Variable                   | Motorcycles               | Cars         |
|----------------------------|---------------------------|--------------|
| Demand                     | 140 pcu                   | 187 pcu      |
| Parallel Server            | 2                         | 1            |
| Service Time               | 10                        | 15           |
| Time to Finish the Queue   | 700 seconds               | 2805 seconds |
| Total Time to Finish Queue | 3505 seconds (58 minutes) |              |

Jumlah server paralel tetap sama dengan skenario dasar karena lebar jalan masih terbatas pada 3 meter, meskipun jalan dua arah dalam skenario dasar telah diubah menjadi jalan satu arah dalam skenario ini. Hal ini disebabkan karena parkir kendaraan di sepanjang jalan belum dilarang, sehingga membatasi lebar jalan yang tersedia. Meskipun demikian, waktu layanan berkurang karena kendaraan tidak perlu menunggu kendaraan lain yang berjalan dari arah yang berlawanan untuk melewati sebelum melanjutkan perjalanan.

**Tabel 6. Waktu Untuk Menyelesaikan Antrian Pada for Scenario 4**

| Variable                   | Motorcycles               | Cars         | Bus         |
|----------------------------|---------------------------|--------------|-------------|
| Demand                     | 93 pcu                    | 140 pcu      | 42 pcu      |
| Parallel Server            | 2                         | 1            | 1           |
| Service Time               | 10                        | 15           | 20          |
| Time to Finish the Queue   | 465 seconds               | 2100 seconds | 840 seconds |
| Total Time to Finish Queue | 3405 seconds (57 minutes) |              |             |

Skenario 4 mencakup fasilitas bus shuttle sebagai pilihan transportasi. Jumlah server paralel tetap sama seperti sebelumnya, dengan lebar jalan sebesar 3 meter yang tersedia untuk satu server paralel. Opsi bus shuttle bertujuan untuk mengurangi jumlah orang yang menggunakan mobil pribadi dan mendorong penggunaan transportasi umum. Namun, bus shuttle masih perlu diparkir di sepanjang jalan untuk mengambil penumpang dari gereja, sehingga lebar jalan yang tersedia akan tetap sama seperti sebelumnya.

### 4.3 Metode *Ideal Flow Network (IFN) Transport*

*Ideal Flow Network (IFN)* digunakan untuk mensimulasikan sebuah skenario dengan menggunakan bahasa pemrograman Python. Dengan IFN, kita dapat menentukan kemacetan maksimum, kecepatan rata-rata link, waktu tempuh rata-rata link, dan penundaan rata-rata link dalam jaringan. Data yang dikumpulkan dari setiap skenario kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk menentukan solusi yang paling efektif dalam mengurangi kemacetan lalu lintas. Solusi optimal ini diidentifikasi sebagai skenario yang menghasilkan waktu tempuh terendah yang mungkin.

Scenario yang digunakan dalam makalah ini :

#### 0. Base scenario (Skenario Dasar)

Skenario dasar adalah titik awal untuk sebuah studi atau analisis. Dalam hal ini, skenario dasar mengacu pada kondisi saat ini selama ibadah keagamaan. Skenario dasar adalah skenario asli yang akan digunakan sebagai referensi, dan dari situlah berbagai skenario yang berbeda akan dihasilkan dengan memodifikasi data *link* tertentu. Tujuan dari skenario dasar adalah untuk memberikan pemahaman yang jelas tentang kondisi awal sebelum ada perubahan atau penyesuaian apapun dilakukan.

#### 1. Scenario 1 (Membangun Gedung Parkir)

Skenario 1 mengusulkan pembangunan gedung parkir untuk memenuhi kebutuhan parkir anggota gereja. Hal ini akan mencegah mereka memarkir mobil di sepanjang jalan dan menghalangi lalu lintas. Membangun gedung parkir akan meningkatkan lebar efektif jalan yang tersedia untuk digunakan, namun ini akan menjadi solusi yang mahal. Gereja akan perlu membeli lahan di sekitar dan membangun gedung parkir. Namun, ini akan efektif

menyelesaikan masalah parkir di sepanjang jalan dekat gereja, dan sebagai hasilnya, waktu perjalanan yang dibutuhkan kemungkinan akan berkurang. Untuk mengimplementasikan skenario ini ke dalam IFN, data lebar jalan dari skenario dasar akan ditingkatkan.

## 2. Scenario 2 (Mengubah Menjadi Jalan Satu Arah, Dari Timur ke Barat)

Skenario 2 mengusulkan solusi untuk masalah kemacetan lalu lintas di dekat gereja dengan mengubah jalan menjadi jalan satu arah dari timur ke barat. Dengan penyesuaian ini, kendaraan dapat terus bergerak di sepanjang jalan bahkan ketika mobil diparkir. Solusi ini juga dapat memberikan lingkungan yang lebih aman bagi pengemudi dan pejalan kaki, karena menghilangkan risiko tabrakan frontal yang disebabkan oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan. Untuk mengimplementasikan skenario ini ke dalam IFN, beberapa data link dari skenario dasar akan dihapus, membuat aliran lalu lintas hanya berjalan dalam satu arah.

## 3. Scenario 3 (Mengubah Menjadi Jalan Satu Arah, Dari Timur ke Barat)

Skenario 3 mirip dengan skenario 2, kecuali arah jalan dibalik dari barat ke timur. Skenario ini mengusulkan solusi untuk masalah kemacetan lalu lintas di dekat gereja dengan mengubah jalan menjadi jalan satu arah. Arah tersebut dipilih dari barat ke timur untuk mengurangi kemacetan, karena jarak antara persimpangan di sebelah barat gereja terlalu pendek, yang berpotensi menyebabkan kemacetan. Dengan mengubah arah jalan, kami bertujuan untuk mencegah kemacetan di persimpangan tersebut. Untuk mengimplementasikan skenario ini ke dalam IFN, beberapa data link dari skenario dasar akan dihapus, membuat aliran lalu lintas hanya berjalan dalam satu arah.

## 4. Scenario 4 (Menyediakan Shuttle Bus Untuk Jemaat Gereja)

Skenario 4 mengusulkan implementasi layanan bus antar-jemput sebagai sarana transportasi bagi anggota gereja. Dengan mengurangi jumlah kendaraan pribadi yang pergi ke gereja, aliran lalu lintas dan kemacetan dapat berkurang. Namun, masalah ruang parkir untuk bus antar-jemput menjadi isu karena gereja saat ini tidak memiliki ruang yang cukup untuk parkir. Oleh karena itu, bus mungkin harus diparkir di sepanjang jalan, yang berpotensi menyebabkan kemacetan.

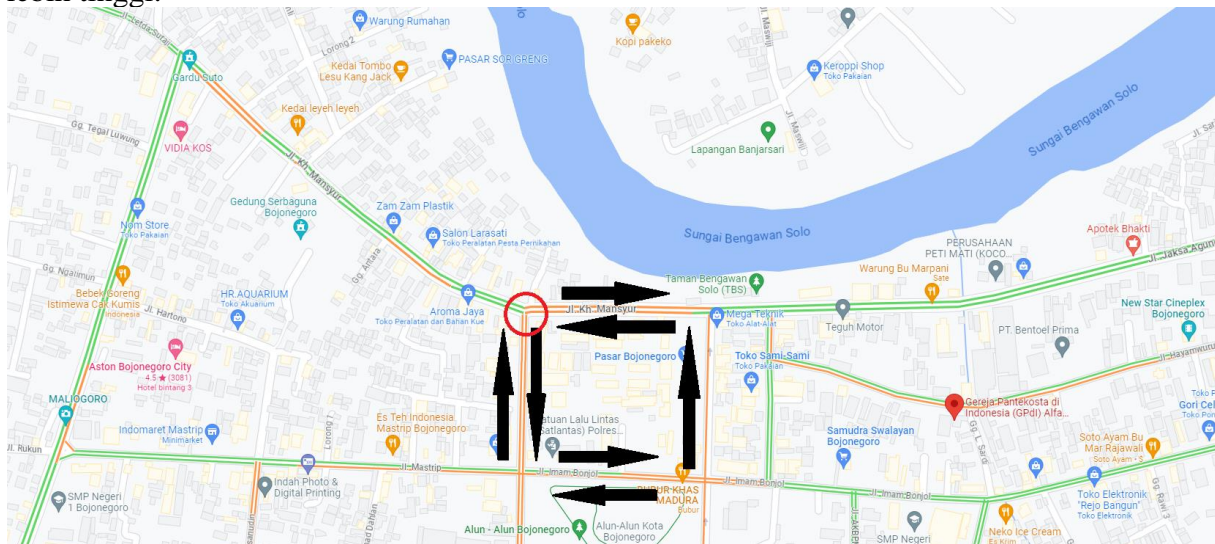
**Tabel 7. Perbandingan Hasil Skenario Berdasarkan Ideal Flow Network Transport**

| No. | Variable                 | Base Scenario      | Scenario 1 (Parking Lot) | Scenario 2 (One Way E to W) | Scenario 3 (One Way W to E) | Scenario 4 (Shuttle Bus) |
|-----|--------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1   | Total Flow               | 177529.91 pcu/hour | 177529.91 pcu/hour       | 177529.91 pcu/hour          | 177529.91 pcu/hour          | 177477.91 pcu/hour       |
| 2   | Max Congestion           | 0.9                | 0.8988                   | 0.9913                      | 0.7235                      | 0.8997                   |
| 3   | Average Link Speed       | 23.7956 km/hour    | 23.8016 km/hour          | 23.7473 km/hour             | 23.8104 km/hour             | 23.7959 km/hour          |
| 4   | Average Link Travel Time | 2.4945 min/km      | 2.4938 min/km            | 2.4985 min/km               | 2.4978 min/km               | 2.4944 min/km            |
| 5   | Average Link Delay       | 4.7903 second/km   | 4.7493 second/km         | 4.9956 second/km            | 4.9533 second/km            | 4.7883 second/km         |

|   |                     |           |           |           |           |           |
|---|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 6 | Total Travel Length | 24.083 km | 24.083 km | 23.161 km | 23.161 km | 24.083 km |
|---|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

Total arus dalam skenario 4 mengalami penurunan karena adanya fasilitas *shuttle bus* mengurangi jumlah orang yang menggunakan kendaraan pribadi. Anggota gereja yang biasanya menggunakan sepeda motor atau mobil mungkin beralih ke transportasi umum seperti bus antar-jemput.

Berdasarkan simulasi di atas, skenario 1 dan skenario 4 merupakan solusi untuk mengatasi kemacetan di sekitar area religius ini. Waktu perjalanan yang dihasilkan oleh simulasi skenario 1 dan skenario 4 lebih singkat daripada skenario dasar. Skenario 1 dianggap paling menguntungkan hanya dengan melihat pengurangan waktu perjalanan. Dengan mempertimbangkan bahwa setiap menitnya itu berharga, pengurangan waktu perjalanan yang paling besar akan menghasilkan manfaat yang terbesar. Skenario 3, yang menghasilkan kemacetan maksimum terendah, bukanlah skenario terbaik. Hal ini karena waktu perjalanan meningkat. Dalam skenario ini, rute pengemudi diubah dan pengemudi harus mengambil jalan memutar untuk mencapai tujuan. Oleh karena itu, waktu perjalanan dalam skenario ini menjadi lebih tinggi.



**Gambar 3.** Lokasi Tingkat *Congestion* Maksimum

Berdasarkan simulasi *IFN Transport*, lokasi kemacetan maksimum pada setiap skenario berada pada tempat yang sama. Lingkaran merah pada **Gambar 3**, menunjukkan lokasi dengan kemacetan maksimum tersebut. Skenario 3 dapat menghasilkan kemacetan terendah karena mengarahkan arus lalu lintas menjauhi tempat tersebut. Sedangkan skenario 2 memperparah kemacetan karena mengarahkan lalu lintas mendekati lokasi kemacetan. Skenario 1 yang mendirikan gedung parkir tentunya memperlancar arus lalu lintas di area gereja. Akan tetapi, perubahan arus lalu lintas yang terjadi sangatlah kecil dibandingkan dengan arus lalu lintas total pada jaringan. Sehingga, tingkat kemacetan pada skenario 1 dan 4 hanya berkurang sedikit.

#### 4.4 Teorema *Shockwave*

Ketika kendaraan diparkir di sepanjang jalan, hal ini dapat menyebabkan kemacetan lalu lintas dan penundaan. Keberadaan kendaraan yang diparkir di sepanjang jalan menciptakan penyempitan jalan, yang memaksa pengemudi melambat dan bermanuver menghindari hambatan tersebut. Perlambatan ini memiliki efek berantai pada aliran lalu lintas dan dapat menciptakan efek gelombang yang disebut gelombang kejut. Gelombang kejut disebabkan oleh perlambatan dan percepatan konstan kendaraan saat mereka bermanuver melalui kendaraan yang diparkir, yang dapat menyebabkan penundaan yang signifikan dalam arus lalu lintas.

Perhitungan *shockwave* dilakukan dengan menggunakan kalkulator online ciptaan Kardi Teknomo (Teknomo, n.d.)

Ada beberapa asumsi yang digunakan untuk menghitung gelombang kejut dalam kasus ini :

1. Arus dalam antrian adalah permintaan dari 700 orang yang perlu pulang atau pergi ke lokasi lain setelah ibadah hari Minggu. Yaitu 327 pcu/jam untuk skenario dasar, skenario 2, dan skenario 3. Dan 275 pcu/jam untuk skenario 4.
2. Kecepatan kendaraan dalam arus adalah 10 km/jam, yang disebabkan oleh kendaraan yang diparkir yang memaksa pengemudi melambat.
3. Arus normal mendekati antrian adalah 93,02 pcu/jam, dan kecepatannya adalah 24,61 km/jam. Hal ini terjadi pada lalu lintas pada hari-hari biasa, tanpa kendaraan yang diparkir di sepanjang jalan karena ibadah Minggu di gereja.
4. Arus di depan kendaraan lambat dan kepadatan di depan kendaraan lambat bervariasi untuk setiap skenario. Angka-angka tersebut bergantung pada simulasi IFN.
5. Durasi hambatan atau peristiwa lambat bervariasi untuk setiap skenario. Angka-angka tersebut bergantung pada Total Waktu untuk Menyelesaikan Antrian menggunakan Teori Antrian.

**Tabel 8. Perbandingan Hasil *Shockwave* Berdasarkan Simulasi Skenario**

|  | Base Scenario    | Scenario 2       | Scenario 3       | Scenario 4       |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Density in queue                           | 32.7 vehicles/km | 32.7 vehicles/km | 32.7 vehicles/km | 32.7 vehicles/km |
| Density of approaching vehicles to platoon | 3.78 vehicles/km | 3.78 vehicles/km | 3.78 vehicles/km | 3.78 vehicles/km |
| Front wave speed (due to stop/slow)        | 9.06 km/hour     | 9.68 km/hour     | 9.38 km/hour     | 9.04 km/hour     |
| Back wave speed (in the back of platoon)   | 8.09 km/hour     | 8.09 km/hour     | 8.09 km/hour     | 8.09 km/hour     |
| Growth of platoon                          | 0.97 km/hour     | 1.59 km/hour     | 1.29 km/hour     | 0.95 km/hour     |
| Number of vehicles in queue                | 4.52 vehicles    | 5.83 vehicles    | 4.75 vehicles    | 3.38 vehicles    |
| Queue length                               | 18.09 meters     | 23.34 meters     | 19.01 meters     | 13.53 meters     |

Skenario 1, yang melibatkan pembangunan gedung parkir, tidak akan menyebabkan gelombang kejut. Hal ini karena tidak ada kendaraan yang diparkir di sepanjang jalan, sehingga tidak ada hambatan yang memperlambat kendaraan.

#### 4.5 Price Analyze

Analisis harga untuk 10 tahun dari setiap solusi, harga-harga tersebut diperhitungkan dengan faktor skala dari harga bensin Pertamina di Jawa Timur pada bulan Maret 2023:

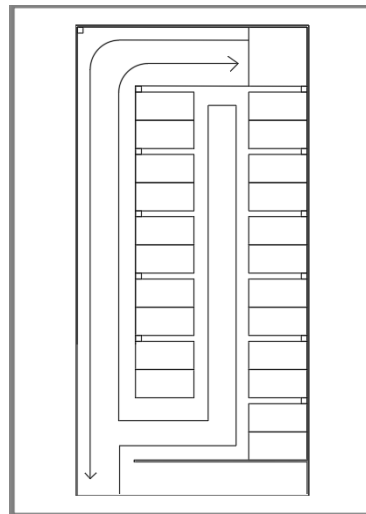
##### 1. Scenario 1 (Membangun Gedung Parkir)

Desain ini ditujukan untuk bangunan parkir 3 lantai dengan 66 atau lebih sedikit ruang parkir.

**Tabel 9.** Analisa Harga Pembangunan Gedung Parkir Untuk 10 tahun

| Cost Variable             | Price Factor to the Gasoline Price |
|---------------------------|------------------------------------|
| Purchase and construction | 1,075,188.68                       |
| Electricity               | 1,353.36                           |
| Property tax              | 4,810.53                           |
| <b>TOTAL</b>              | <b>1,081,352.57</b>                |

- Biaya pembelian dan pembangunan :  $240,601.50 + 834,586.47 = 1,075,188.68$
- Biaya listrik untuk 10 tahun :  $11.278 \times 120 \text{ months} = 1,353.36$
- Pajak bangunan untuk 10 tahun :  $0.5\% \times (40\% \times 240,601.50) \times 10 \text{ years} = 4,810.53$
- Biaya total untuk 10 tahun:  $1,075,186.68 + 1,353.36 + 4,810.53 = 1,081,352.57$



**Gambar 3.** Rencana Desain Gedung Parkir

##### 2. Scenario 2 dan 3 (Mengubah Menjadi Jalan Satu Arah)

Solusi ini tidak memerlukan biaya tambahan karena untuk melaksanakannya kita akan meminta bantuan dari para pekerja gereja untuk mengatur jemaat gereja ketika mereka akan keluar dari tempat parkir dan mengarahkan mereka untuk keluar dengan satu arah. Selain itu, kita juga akan memberikan sosialisasi kepada jemaat gereja melalui berita gereja dan pengumuman selama ibadah.

### 3. Scenario 4 (Menyediakan *Shuttle Bus* Untuk Jemaat Gereja)

Perkiraan harga untuk menyediakan mini bus (16 kursi) untuk mengangkut jemaat gereja.

**Tabel 10.** Analisa Harga Pengadaan *Shuttle Bus* Untuk 10 tahun

| Cost Variable           | Price Factor to the Gasoline Price |
|-------------------------|------------------------------------|
| Minibus purchase price  | 37,593.98                          |
| Fuel                    | 1,726.83                           |
| Maintenance and Service | 7,519.47                           |
| Tax                     | 7,519.47                           |
| Plate Replacement       | 75.19                              |
| <b>TOTAL</b>            | <b>54,435.96</b>                   |

**Tabel 11.** Perbandingan Harga Untuk Setiap Skenario

|            | Max Congestion | Cost         | Saving                          |
|------------|----------------|--------------|---------------------------------|
| Scenario 1 | 0.8988         | 1,081,352.57 | <b>424.824 IDR/PCU/Years</b>    |
| Scenario 2 | 0.9913         | 0            | <b>-2.334.629 IDR/PCU/Years</b> |
| Scenario 3 | 0.7235         | 0            | <b>-1.926.069 IDR/PCU/Years</b> |
| Scenario 4 | 0.8997         | 54,435.96    | <b>60.689 IDR/PCU/Years</b>     |

Perbandingan harga yang diperlukan dan penghematan yang akan terjadi berdasarkan selisih waktu tempuh, dapat dilihat dalam **Tabel 11**. Berdasarkan tabel tersebut, perubahan kecil dalam waktu tempuh akan berdampak cukup besar dalam segi ekonomi bila dilihat dalam satu tahun. Terlebih lagi, penghematan tersebut untuk satu unit mobil dengan rata-rata penumpang satu sampai dua orang.

## 5. KESIMPULAN

Menyediakan tempat parkir dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi kemacetan dan meningkatkan aliran lalu lintas. Terutama pada daerah yang padat dengan adanya kendaraan yang parkir di pinggir jalan. Namun, implementasi solusi lain mungkin memerlukan pertimbangan tambahan seperti perubahan sirkulasi lalu lintas. Penting untuk menilai kondisi jalan, kemacetan potensial, dan dampak terhadap waktu tempuh saat mengevaluasi solusi tersebut. Meskipun mengubah sirkulasi lalu lintas dapat menjadi solusi yang layak, penting untuk mengevaluasi efektivitasnya berdasarkan tingkat kemacetan dan faktor lainnya. Studi ini menunjukkan bahwa rute alternatif lebih efisien dalam mengurangi kemacetan, tetapi waktu berkendara menjadi lebih lama dibandingkan dengan berkendara di jalan-jalan yang padat. Secara keseluruhan, studi ini memberikan wawasan tentang faktor-faktor kompleks yang menyebabkan kemacetan di jalan dua arah dengan lebar jalan yang kecil dan menekankan pentingnya mengevaluasi dengan cermat solusi yang dapat meningkatkan aliran lalu lintas dan mengurangi kemacetan. Penelitian masa depan dapat memanfaatkan temuan ini untuk mengembangkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengelola lalu lintas di jalan dua arah kecil.

## 6. REFERENCE

- Brent, D., & Beland, L.-P. (2020). Traffic congestion, transportation policies, and the performance of First Responders. *Journal of Environmental Economics and Management*, 103, 34, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102339>
- J. Brice. (2023, February 28). World fastest growing religion 2023. *Universitymagazine.ca*. Retrieved from <https://www.universitymagazine.ca/world-fastest-growing-religion/>
- Motamedidehkordi. N., Margreiter. M., and Benz. T. (2016). Shockwave Suppression by Vehicle-to-VehicleCommunication, *Transportation Research Procedia*, 15, 471–82. Retrieved from : <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.06.040>
- M.A. Fattah, S.R. Morshed, A.-A. Kafy, Insights into the socio-economic impacts of traffic congestion in the port and industrial areas of Chittagong City, Bangladesh, *Transportation Engineering*. 9 (2022) 100122. doi:10.1016/j.treng.2022.100122.
- Teknomo, K. (n.d.). *Revoledu*. Retrieved April 30, 2023 from <https://people.revoledu.com/kardi/tutorial/traffic/shockwave.html>
- Teknomo, K. (n.d.). *Revoledu*. Retrieved May 7, 2023 from <https://people.revoledu.com/kardi/tutorial/Queuing/Queuing-Rule-Of-Thumb.html>
- Teknomo, K., Gardon, R.W. 2017. Intersection Analysis Using the Ideal Flow Model. *Proceedings of the IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Yokohama, Japan, October 16 – October 19, 1-6.
- Teknomo. K., Gardon. R. W., and Saloma. C. 2019. Ideal Flow Traffic Analysis: A Case Study on a Campus Road Network. *Philippine Journal of Science*, 148(1), 51-62.
- Xiao-Yun, L., and Skabardonis, A. (2007): ‘Freeway Traffic Shockwave Analysis: Exploring the NGSIM Trajectory Data’, in Motamedidehkordi. N., Margreiter. M., and Benz. T. (2016). Shockwave Suppression by Vehicle-to-VehicleCommunication, *Transportation Research Procedia*, 15, pp. 471–82.