



Implementasi Model Sistem Dinamik Terhadap Analisis Tingkat Kemacetan Lalu Lintas

Irsyad Baihaqi Lubis, M.R Syahputra*, Syawaluddin, Syahriol Sitrus

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Matematika, Universitas Sumatera Utara, Medan
Jalan Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

Email: lirsyadlubis13@gmail.com, m.romi@usu.ac.id

Email Penulis Korespondensi: m.romi@usu.ac.id

Submitted: 10/01/2025; Accepted: 31/01/2025; Published: 31/01/2025

Abstrak—Mengatasi kemacetan lalu lintas yang ada merupakan hal yang banyak menjadi harapan masyarakat, terutama masyarakat yang selalu terjebak didalam permasalahan lalu lintas tersebut. Salah satu cara yang digunakan untuk dapat mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas adalah dengan metode pendekatan sistem dinamik. Metode ini menganalisis dan mensimulasikan permasalahan dengan menentukan variabel penyebabnya. Analisis yang dilakukan menggunakan model causal loop diagram yang selanjutnya dilakukan simulasi dengan model stock flow diagram dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Ventana Simulation (Vensim). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan tingkat rata-rata kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi dengan kondisi awal 1.06% menjadi 0.71%. Penurunan 32% ini memberikan dampak kondisi lalu lintas yang ramai lancar tanpa adanya penundaan waktu tempuh pada ruas Jalan Setia Budi.

Kata Kunci: Diagram Kausal; Diagram Alir dan Stok; Kemacetan Lalu Lintas; Simulasi; Sistem Dinamik

Abstract—Overcoming existing traffic congestion is something that many people hope for, especially people who are always trapped in these traffic problems. One of the methods used to reduce traffic congestion is the dynamic system approach. This method analyses and simulates the problem by determining the causal variables. The analysis was conducted using a causal loop diagram model which was then simulated with a stock flow diagram model using Ventana Simulation (Vensim) software. The results showed that there was a decrease in the average level of traffic congestion on Jalan Setia Budi with an initial condition of 1.06% to 0.71%. This 32% decrease has an impact on traffic conditions that are busy without any delays in travel time on Jalan Setia Budi.

Keywords: Causal Loop Diagram; Stock and Flow Diagram; Traffic Congestion; Simulation; Dynamic System;

1. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan permasalahan kompleks yang dihadapi oleh banyak kota besar, termasuk di Indonesia[1]. Jalan Setia Budi, sebagai salah satu jalur utama yang menghubungkan kawasan perkantoran, komersial, dan pemukiman, sering kali mengalami kepadatan yang signifikan, terutama pada jam-jam sibuk. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada penurunan produktivitas masyarakat, tetapi juga meningkatkan konsumsi bahan bakar, polusi udara, dan stres pengguna jalan. Lalu lintas didalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan. Dalam keadaan sebenarnya, lalu lintas memiliki beberapa permasalahan yang dapat mengganggu peruntukan dari ruang lalu lintas ini, salah satunya adalah kemacetan lalu lintas[2][3][4]. Kemacetan yaitu kondisi tersendat atau berhentinya arus lalu lintas yang dikarenakan jumlah kendaraan yang terlalu banyak dan melebihi kapasitas jalan yang mampu menampung kendaraan. Terjadinya kemacetan lalu lintas pastinya tidak lepas dari beberapa penyebabnya, seperti volume dari kendaraan yang semakin meningkat, kecelakaan lalu lintas, konstruksi jalan, cuaca, kepadatan penduduk, gangguan lalu lintas dan sebagainya[5]. Tingkat kemacetan yang signifikan naik dan cenderung pada kondisi tinggi dapat menyebabkan banyak kerugian, yang mana kerugian ini akan diterima atau dirasakan oleh pengguna jalan tersebut[6].

Permasalahan yang menjadi daya tarik untuk dilakukan penelitian pada ruas Jalan Setia Budi karena beberapa penyebab kemacetan yang umum terjadi di Indonesia juga terjadi pada ruas Jalan Setia Budi, seperti penyebab paling signifikan yang menyebabkan kemacetan adalah kondisi jalan yang tidak mampu menampung volume kendaraan yang melalui jalan tersebut[7], selain itu juga jam kerja dan jam masuk sekolah yang bersamaan juga menjadi penyebab kemacetan pada ruas Jalan Setia Budi. Mengatasi kemacetan lalu lintas merupakan hal yang banyak menjadi harapan masyarakat, terutama masyarakat yang selalu terjebak didalam permasalahan lalu lintas tersebut. Dalam mengatasi permasalahan kemacetan, diperlukan pendekatan yang tidak hanya berfokus pada pembangunan infrastruktur fisik, tetapi juga pada analisis dan pemodelan sistem yang komprehensif. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah model sistem dinamik. Model ini memungkinkan simulasi berbagai skenario yang melibatkan interaksi antara variabel-variabel yang mempengaruhi lalu lintas, seperti pertumbuhan jumlah kendaraan, kapasitas jalan, dan pola perilaku pengguna jalan[8]. Model sistem dinamik memiliki keunggulan dalam mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dan umpan balik (feedback) yang sering kali sulit terlihat dalam analisis statis. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan solusi yang tidak hanya efektif dalam jangka pendek, tetapi juga mampu memberikan dampak positif dalam jangka panjang bagi sistem transportasi perkotaan secara keseluruhan. Dengan menggunakan model ini, pembuat kebijakan dapat mengevaluasi berbagai strategi pengelolaan lalu lintas, seperti pengaturan waktu lampu lalu lintas, pengembangan transportasi publik, dan kebijakan pembatasan kendaraan bermotor.yang selanjutnya

mensimulasikan permasalahan tersebut dengan menentukan variabel-variabel penyebabnya, sehingga dapat diciptakan suatu skenario kebijakan untuk permasalahan tersebut[9][10].

Dalam penelitian terdahulu dengan metode analisis yang digunakan adalah simulasi sistem dinamik dengan menggunakan perangkat lunak sistem dinamik, memiliki prospek yang sangat baik sebagai alat bantu dalam menganalisis variabel yang berpengaruh terhadap kemacetan di kawasan pintu masuk Pelabuhan Tanjung Priok. Melalui pendekatan ini dapat memprediksi dampak dari penerapan berbagai skenario kebijakan yang dapat digunakan sebagai antisipasi kemacetan[11]. Pada penelitian lain dengan mempresentasikan kondisi nyata yang terjadi, variabel atau parameter yang berpengaruh diperoleh dari studi literatur penelitian terdahulu. Model yang disusun mencakup setiap variabel yang terkait dalam meningkatkan efisiensi waktu tempuh, biaya bahan bakar minyak (BBM), dan jumlah emisi gas buang. Sehingga hasilnya diperoleh skenario berupa rekonfigurasi jaringan rute pada beberapa jalan yang dapat diusulkan sebagai upaya meningkatkan efisiensi[12]. Selanjutnya terdapat penelitian menggunakan metode sistem dinamik untuk menciptakan prediksi masa depan pada sistem lalu lintas pada suatu kota, hasil dari penelitian ini memberikan rekomendasi kebijakan untuk menciptakan sistem lalu lintas yang berkembang ke arah lebih baik[13]. Dan terakhir, penelitian yang menggunakan perangkat lunak sistem dinamik berupa Vensim sebagai alat bantu dalam melakukan analisis terhadap kualitas dan kuantitas air pada suatu PDAM, implementasi dari metode sistem dinamik berhasil memberikan hasil analisis berupa faktor yang menjadi penyebab terjadinya penurunan kualitas dan kuantitas air di PDAM tersebut[14].

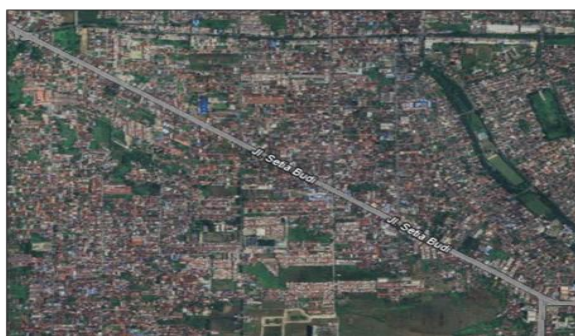
Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kemacetan di Jalan Setia Budi melalui implementasi model sistem dinamik. Penelitian ini akan mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap kemacetan dan mengevaluasi dampak dari berbagai intervensi kebijakan[15]. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang aplikatif dan berkelanjutan untuk mengurangi tingkat kemacetan serta meningkatkan kualitas hidup masyarakat di sekitar kawasan tersebut. Pada akhirnya, implementasi model sistem dinamik ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengambilan keputusan yang lebih terukur dan berorientasi pada pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan[16].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu metode penelitian yang memanfaatkan data numerik dalam menjelaskan, memprediksi, dan memahami suatu peristiwa. Salah satu tujuan dari pendekatan kuantitatif adalah untuk menjelaskan interaksi yang terjadi antarvariabel[17][18][19]. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data berjenis sekunder, yaitu data yang sebelumnya telah direkapitulasi atau dikumpulkan dan kemudian diolah oleh pihak lain untuk tujuan tertentu. Dalam konteks penelitian ini, data bersumber dari Dinas Perhubungan Kota Medan, yang meliputi volume kendaraan, ekivalensi mobil penumpang, kecepatan rata-rata, lalu lintas harian rata-rata, dan jumlah angkutan kota (Angkot) yang terdaftar. Selanjutnya untuk periode waktu, semua data yang digunakan merupakan data periode tahun 2024. Pendekatan sistem dinamik digunakan sebagai metode dalam penelitian ini, metode ini menghasilkan output numerik dari simulasi suatu model[20][21][22]. Dari hasil simulasi tersebut, kemudian dapat diformulasikan suatu skenario kebijakan yang diasumsikan sebagai solusi mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

2.1 Pengambilan Data

Dalam pengambilan data volume lalu lintas, digunakan 2 titik lokasi persimpangan sebagai sampel pengambilan data pada ruas Jalan Setia Budi. Lokasi persimpangan pertama adalah simpang dr. Mansyur dan untuk lokasi persimpangan kedua adalah simpang Tasbih. Peta kondisi nyata terkait lokasi pengambilan data volume lalu lintas, dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya, data volume lalu lintas ini dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Statistical Package for The Social Science (SPSS) untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam proses simulasi.



Gambar 1. Peta Ruas Jalan Setia Budi

Gambar 1. Peta Ruas Jalan Setia Budi yang disertakan dalam penelitian ini menunjukkan kondisi terkini dari lalu lintas pada berbagai titik sepanjang jalur tersebut. Gambar ini berfungsi sebagai visualisasi pendukung dalam menganalisis titik-titik kritis yang memerlukan intervensi serta sebagai dasar dalam proses pembangunan model sistem dinamik.

2.2 Tahapan Analisis

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengukur pengaruh perubahan pada satu variabel terhadap variabel lain dalam sistem. Metode yang digunakan adalah metode Sistem Dinamik dengan bantuan perangkat lunak Sistem Dinamik berupa Ventana Simulation (Vensim) dalam pembuatan model dan proses simulasinya. Penggunaan Sistem Dinamik memiliki potensi yang baik sebagai solusi dalam menganalisis interaksi variabel-variabel penyebab terjadinya kemacetan lalu lintas.

2.3 Tahapan Simulasi

Pada tahap ini permasalahan kemacetan lalu lintas disimulasikan menggunakan model dari Sistem Dinamik. Dalam proses simulasi terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, antara lain:

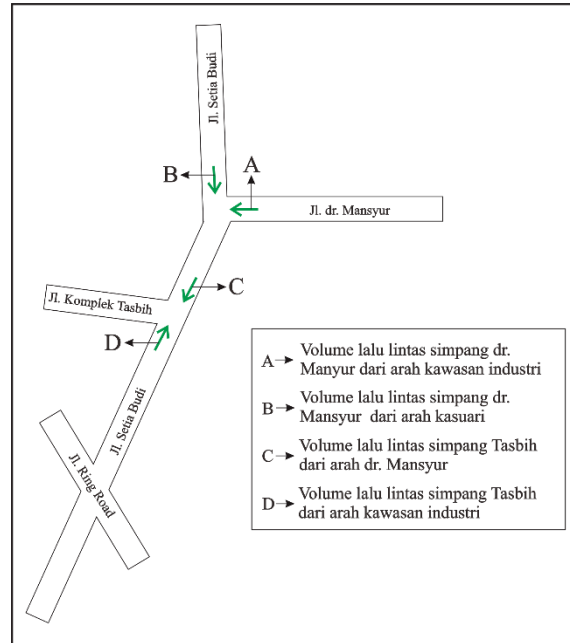
- a. Pemetaan Sistem Nyata
Dalam tahap ini mengkonsep kondisi nyata lokasi penelitian sangat berperan penting untuk dapat dengan baik mensimulasikan kemacetan lalu lintas.
- b. Identifikasi Variabel
Melakukan identifikasi variabel dalam tahap ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui variabel-variabel yang menjadi penyebab dari kemacetan lalu lintas.
- c. Model Causal Loop Diagram (CLD)
Causal loop diagram atau diagram kausatik dapat menunjukkan fenomena interaksi sebab-akibat antara variabel dari model kemacetan lalu lintas dalam bahasa gambar CLD.
- d. Model Stock Flow Diagram (SFD)
Setelah menyelesaikan model representasi dari permasalahan kemacetan lalu lintas, dilakukan konversi kedalam bentuk diagram stok dan aliran guna mengetahui lebih lanjut bagaimana perilaku dinamik sistem dan kebijakan seperti apa yang dihasilkan.
- e. Input Data
Tahap dimana data yang telah diperoleh di input kedalam model sistem dinamik guna mengetahui nilai simulasi dari permasalahan kemacetan lalu lintas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Dinas Perhubungan Kota Medan untuk data periode tahun 2024, didalam data tersebut mencakup informasi terkait hari pengamatan, waktu berlangsungnya jam kritis, volume kendaraan berdasarkan jenisnya dan ekivalensi mobil penumpang. Pengamatan terhadap volume lalu lintas dilakukan dalam 7 hari, dimana hari Senin hingga Jumat pengamatan dikategorikan sebagai weekday dan pada hari Sabtu hingga Minggu dikategorikan sebagai weekend. Pengamatan ini hanya mengambil data volume kendaraan ketika jam kritis lalu lintas berlangsung pada ruas Jalan Setia Budi dari simpang Tasbih dan simpang dr. Mansyur, untuk mengamati volume kendaraan pada jam kritis ini digunakan interval waktu dengan durasi satu jam.

Volume kendaraan dikalkulasikan berdasarkan jenis kendaraan yang melintas, lalu volume tersebut dikonversi kedalam bentuk ekivalensi mobil penumpang. Ekivalensi mobil penumpang ini sangat dibutuhkan untuk mengetahui tingkat kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi, semua data dihimpun berdasarkan dari empat sensor arah dalam dua lokasi persimpangan. Gambar memberikan visualisasi volume lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi, visualisasi ini menggunakan empat titik sampel volume lalu lintas yang menuju ruas Jalan Setia Budi dengan berdasarkan dari dua lokasi persimpangan. Pada lokasi pertama yaitu simpang dr. Mansyur, persimpangan ini memiliki dua titik volume lalu lintas yang menuju ruas Jalan Setia Budi yaitu titik A dan B. Titik A merupakan volume lalu lintas dari arah kawasan industri menuju ruas Jalan Setia Budi, sedangkan titik B merupakan volume lalu lintas dari arah kasuari menuju ruas Jalan Setia Budi. Selanjutnya pada lokasi kedua yaitu simpang Tasbih, persimpangan ini juga memiliki dua titik volume lalu lintas menuju ruas Jalan Setia Budi yaitu titik C dan D. Titik C merupakan volume lalu lintas dari arah dr. Mansyur menuju ruas Jalan Setia Budi, sedangkan titik D merupakan volume lalu lintas dari arah kawasan industri menuju ruas Jalan Setia Budi.



Gambar 2. Peta Titik Pengambilan Sampel

Gambar 2. Peta titik pengambilan sampel menunjukkan diagram arus lalu lintas di ruas Jalan Setia Budi yang terhubung dengan beberapa jalur utama lainnya. Diagram ini memetakan volume lalu lintas pada beberapa titik simpang yang sering menjadi titik kemacetan. Ketika weekday durasi terjadinya jam kritis lalu lintas cenderung memiliki durasi yang lebih lama dibandingkan jam kritis yang terjadi ketika weekend, hal ini disebabkan oleh aktivitas beberapa sekolah dan perkantoran yang berlangsung hanya mulai hari Senin hingga Jumat. Data tersebut menunjukkan bahwa ruas Jalan Setia Budi memiliki rata-rata volume kendaraan 3004.82 kendaraan/jam ketika weekday dan 2911.17 kendaraan/jam ketika weekend, volume kendaraan yang dimaksud adalah jumlah kendaraan yang melintas dari keempat sensor arah menuju ruas Jalan Setia Budi. Data kondisi lalu lintas ini selanjutnya dilakukan pengolahan data berupa pencarian nilai minimum, maksimum, mean dan standar deviasinya. Hal tersebut dibutuhkan untuk proses mensimulasikan kemacetan lalu lintas, simulasi ini nantinya menggunakan data kondisi nyata sebagai nilai awal dan acuan untuk melakukan simulasi yang bersifat prediksi.

3.2 Simulasi Kemacetan Lalu Lintas

Volume lalu lintas pada Jalan Setia Budi antara kedua titik simpang dr. Mansyur dan simpang Tasbih dilakukan analisis terlebih dahulu, selanjutnya dari kondisi tersebut kemudian dilakukan simulasi. Simulasi dalam penelitian ini bertujuan memberikan prediksi volume lalu lintas pada ruas jalan tersebut, prediksi ini menggunakan data aktual yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Medan sebagai acuan atau dasarnya. Hasil dari simulasi memberikan visualisasi volume lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi dalam kurun waktu empat minggu kedepan ketika weekday dan juga weekend, simulasi yang dihasilkan memberikan visualisasi volume lalu lintas rata-rata yang terjadi untuk setiap minggunya.

Dalam prosesnya terlebih dahulu ruas Jalan Setia Budi dipetakan secara nyata untuk kondisi lengkapnya, selanjutnya dilakukan identifikasi variabel yang relevan dengan kondisi nyata ruas jalan tersebut, setelah itu dibangun model sistem dinamik berupa causal loop diagram (CLD) dan stock flow diagram (SFD). Pada tahap akhir untuk melakukan simulasi, data aktual dari volume lalu lintas yang telah diolah kemudian diinput kedalam model sistem dinamik dengan bantuan perangkat lunak Ventana Simulation (Vensim). Model sistem dinamik yang digunakan dalam proses simulasi adalah model stock flow diagram (SFD) dan causal loop diagram (CLD). Pada model CLD, model ini memberikan visualisasi terhadap hubungan sebab akibat dari setiap variabel, sedangkan model SFD memberikan visualisasi terkait perubahan variabel dari waktu ke waktu. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan secara detail dalam proses mensimulasikan volume lalu lintas ruas Jalan Setia Budi:

a. Pemetaan Sistem Nyata

Jalan Setia Budi Kota Medan merupakan ruas jalan berstatus Jalan Perkotaan dengan fungsi JKP-2, jika mengacu dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03/PRT/M/2012 dan Buku Kondisi Jalan Nasional 2023 Semester 1 JKP-2 atau Jalan Kolektor Primer 2 adalah ruas jalan yang berfungsi sebagai penghubung antar pusat kegiatan lokal berdaya guna. Selain itu ruas jalan JKP-2 juga memiliki fungsi sebagai akses bagi angkutan pengumpul atau pembagi dengan jarak tempuh relatif sedang, kecepatan tempuh yang juga relatif sedang, dan jumlah jalan masuk yang diberikan batasan. Ruas jalan ini mempunyai jumlah lajur sebanyak 4 lajur dengan pembagian 2 lajur searah. Untuk panjang ruas Jalan Setia Budi antara kedua titik yang digunakan membentang sepanjang 3 kilometer dengan lebar total ruas jalan selebar 14 meter. Selanjutnya,

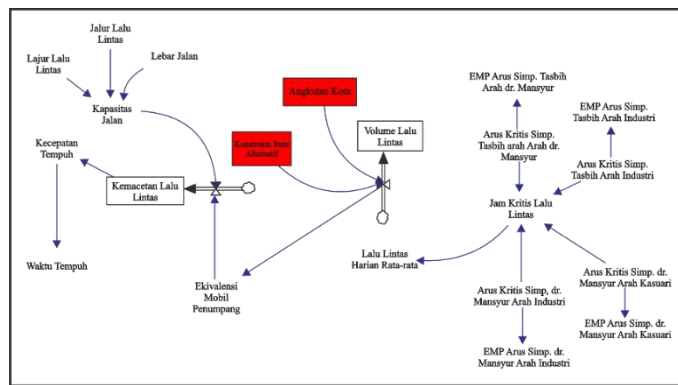
untuk persimpangan dengan teknologi Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) pada ruas Jalan Setia Budi antara titik yang telah ditentukan terdapat di 3 persimpangan yaitu simpang dr. Mansyur, simpang Tasbih, dan simpang Ringroad.

b. Identifikasi Variabel

Merujuk dari hasil pemetaan sistem nyata pada ruas Jalan Setia Budi, diperoleh variabel yang relevan sebagai penyebab terjadinya kemacetan lalu lintas. Dari variabel penyebab terjadinya kemacetan, variabel diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu variabel independen dan variabel dependen. Variabel independen yang dimaksud adalah variabel yang memberikan pengaruh terhadap variabel lainnya, pengaruh ini berupa perubahan nilai yang terjadi sebagai representasi perilaku dinamis dari variabel tersebut. Disisi lain terdapat juga variabel dependen dalam penelitian ini, dimana variabel ini merupakan variabel yang terdampak dari variabel independen.

c. Causal Loop Diagram (CLD)

Setelah selesai melakukan pemetaan sistem nyata, melakukan analisis, dan identifikasi variabel, selanjutnya memvisualisasikan hal tersebut kedalam bentuk model causal loop diagram (CLD). Hasil dari model CLD dapat menunjukkan hubungan sebab akibat dari variabel-variabel yang menjadi penyebab kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi antara titik simpang dr. Mansyur dan simpang Ringroad. Pada **Error! Reference source not found.** model CLD memvisualisasikan kondisi nyata dari ruas Jalan Setia Budi.



Gambar 3. Model stock flow diagram

Gambar 3. Model stock flow diagram menunjukkan diagram sistem dinamik yang menggambarkan interaksi berbagai variabel yang mempengaruhi kemacetan lalu lintas di Jalan Setia Budi. Diagram ini membantu mengidentifikasi titik-titik kemacetan kritis dan mengusulkan solusi berupa jalur alternatif dan optimalisasi angkutan kota. Ini memberikan pendekatan komprehensif untuk menganalisis skenario kebijakan dan pengaruhnya terhadap lalu lintas.

3.3 Input Data

Data yang digunakan untuk proses simulasi adalah data volume lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi periode Tahun 2024 yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Medan. Didalam data tersebut mencakup informasi hari dilakukannya pengamatan, waktu terjadinya jam kritis, volume kendaraan berdasarkan jenis dan ekivalensi mobil penumpang. Selain data volume lalu lintas, data kecepatan tempuh pada ruas Jalan Setia Budi antara kedua titik yang telah ditentukan juga dibutuhkan dalam proses simulasi nantinya. Data kecepatan tempuh juga diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Medan untuk periode Tahun 2024. Selanjutnya data volume lalu lintas dan kecepatan tempuh tersebut dilakukan pengolahan data terlebih dahulu, pengolahan data ini menggunakan bantuan perangkat lunak Statistical Package for the Social Science (SPSS). Pengolahan data ini dilakukan untuk memperoleh nilai minimum, maksimum, mean dan standar deviasi dari data volume lalu lintas dan kecepatan tempuh. Berikut adalah tabel data aktual volume lalu lintas ketika saat weekday dan weekend setelah proses pengolahan data: Berisi hasil implementasi aplikasi ataupun hasil program (yang penting saja), ataupun hasil dari pengujian metode.

Tabel 1. Jam kritis lalu lintas simpang dr. Mansyur saat weekday

| Simpang/Sensor Arah | N | Minimum | Maximum | Mean | Std.Deviasi |
|---------------------|----|---------|---------|---------|-------------|
| Titik A | 55 | 1496 | 3195 | 2093.81 | 508.21 |
| Titik B | 31 | 2100 | 18058 | 3592.29 | 2874.66 |

Tabel 2. Jam kritis lalu lintas simpang Tasbih saat weekday

| Simpang/Sensor Arah | N | Minimum | Maximum | Mean | Std.Deviasi |
|---------------------|----|---------|---------|---------|-------------|
| Titik C | 61 | 2340 | 4362 | 3427.44 | 465.86 |
| Titik D | 56 | 2252 | 5119 | 3227.53 | 645.53 |

Tabel 1. Jam kritis lalu lintas simpang dr. Mansyur saat weekend

| Simpang/Sensor Arah | N | Minimum | Maximum | Mean | Std.Deviasi |
|---------------------|----|---------|---------|--------|-------------|
| Titik A | 10 | 1529 | 2985 | 2316.5 | 557.09 |
| Titik B | 6 | 2709 | 3171 | 2899 | 178.95 |

Tabel 4. Jam kritis lalu lintas simpang Tasbih saat weekend

| Simpang/Sensor Arah | N | Minimum | Maximum | Mean | Std.Deviasi |
|---------------------|----|---------|---------|---------|-------------|
| Titik C | 6 | 2714 | 3718 | 3277.93 | 272.67 |
| Titik D | 10 | 2478 | 3478 | 2918.04 | 279.22 |

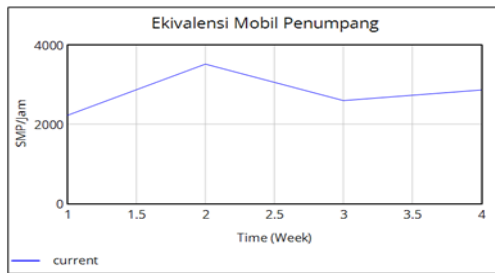
Tabel 5. Kecepatan tempuh kendaraan pada ruas Jalan Setia Budi saat weekday

| Kecepatan | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviasi |
|-----------|-----|---------|---------|-------|--------------|
| Tempuh | 277 | 11.00 | 80.00 | 38.56 | 22.35 |

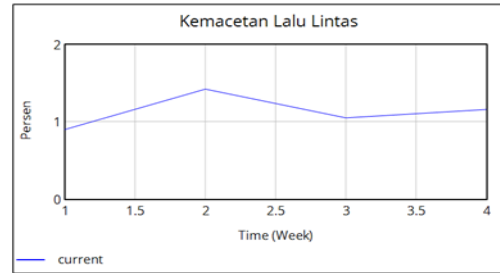
Tabel 6. Kecepatan tempuh kendaraan pada ruas Jalan Setia Budi saat weekend

| Kecepatan | N | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviasi |
|-----------|-----|---------|---------|-------|--------------|
| Tempuh | 138 | 10.10 | 77.00 | 34.85 | 21.75 |

Pada Tabel 1 hingga 6 dapat dilihat tabel tersebut memuat informasi berupa nilai minimum, maksimum, mean dan standar deviasi dari volume lalu lintas dan kecepatan tempuh, pada volume lalu lintas diklasifikasi kembali berdasarkan lokasi simpang dan arahnya. Keempat nilai tersebut merupakan nilai yang dibutuhkan dalam proses simulasi kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi. Dalam proses simulasi kemacetan lalu lintas ini menggunakan bantuan perangkat lunak simulasi yaitu Ventana Simulation (Vensim), simulasi ini menggunakan sebuah fungsi dalam menghasilkan simulasi kemacetan lalu lintas untuk 4 minggu kedepan.

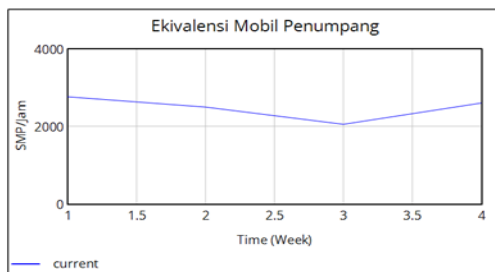


Gambar 4. Volume lalu lintas ruas Jalan Setia Budi saat weekday

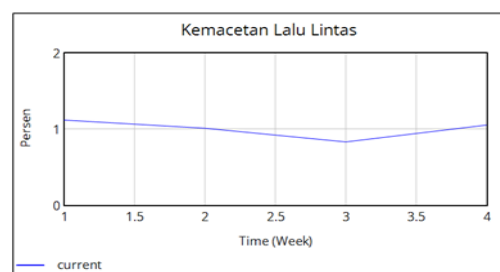


Gambar 5. Kemacetan lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekday

Visualisasi kondisi lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi ketika weekday, dapat dilihat pada Gambar 4. tersebut memberikan visualisasi volume lalu lintas dalam bentuk ekivalensi mobil penumpang (EMP). Pada minggu pertama volume lalu lintas mempunyai nilai 1526,46 SMP/jam, kondisi ini mengalami penurunan menuju minggu kedua dan kembali naik setelah memasuki minggu ketiga. Selanjutnya untuk kondisi kemacetan lalu lintas yang terjadi pada ruas Jalan Setia Budi ketika weekday dapat dilihat Gambar 5. Pada gambar tersebut kondisi kemacetan lalu lintas pada minggu pertama bernilai 0,89%, kemacetan ini mengalami kenaikan ketika memasuki minggu kedua dengan nilai 1,17%.



Gambar 6. Volume lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekend



Gambar 7. Kemacetan lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekend

Simulasi kondisi lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi juga dilakukan ketika weekend, visualisasi volume lalu lintas dalam bentuk EMP ketika weekend dapat dilihat pada Gambar 6. Merujuk dari gambar tersebut pada minggu pertama volume lalu lintas bernilai 1896,87 SMP/jam. Nilai volume lalu lintas mengalami penurunan menuju minggu kedua, setelah itu saat memasuki minggu ketiga nilai volume lalu lintas mengalami kenaikan kembali. Selanjutnya untuk visualisasi kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi ketika weekend

dapat dilihat pada Gambar 7. kemacetan lalu lintas pada minggu pertama bernilai 1,1%. Pola visualisasi ini juga serupa dengan volume lalu lintas ketika weekend, menuju minggu kedua nilai kemacetan mengalami penurunan dan kembali naik setelah memasuki minggu ketiga.

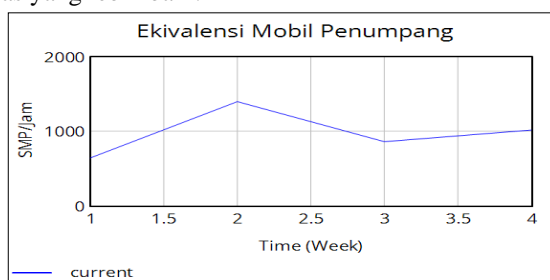
Mengacu dari hasil simulasi kondisi lalu lintas pada simpang Setia Budi – dr. Mansyur dan simpang Setia Budi – Tasbih, kedua simpang tersebut memberikan visualisasi volume lalu lintas yang cukup tinggi pada saat terjadinya jam kritis. Dalam visualisasi 4 minggu tersebut menunjukkan volume lalu lintas rata-rata dari kedua simpang berjumlah 2904.70 kendaraan/jam, dengan volume tersebut menyebabkan perolehan volume dalam bentuk EMP untuk menghitung nilai kemacetan juga ikut berdampak naik. Rata-rata EMP yang diperoleh berjumlah 1816.78 SMP/jam, dari perolehan tersebut selanjutnya nilai EMP dilakukan perbandingan terhadap kapasitas dari ruas Jalan Setia Budi. Perbandingan ini menghasilkan nilai rata-rata kemacetan sebesar 1.06%, dimana nilai ini sudah masuk dalam kategori volume lalu lintas yang padat dan potensi untuk terjadinya kemacetan cukup tinggi. Kondisi ini membutuhkan upaya atau tindakan yang efektif sebagai solusinya, dengan demikian kejenuhan volume lalu lintas dan potensi terjadinya kemacetan lalu lintas dapat diminimalkan. Salah satu upaya yang dapat digunakan sebagai solusi meminimalkan kemacetan lalu lintas khususnya pada ruas Jalan Setia Budi adalah dengan menggunakan skenario kebijakan. Konsep skenario kebijakan yang digunakan pada hasil dari simulasi volume lalu lintas ruas Jalan Setia Budi antara simpang Setia Budi – dr. Mansyur dan simpang Setia Budi – Ringroad, menggunakan mekanisme 2 langkah yaitu menganalisis dan menerapkan. Analisis yang dilakukan pada hasil simulasi kondisi lalu lintas diklasifikasikan kedalam dua jenis waktu, yaitu dengan melihat kondisi lalu lintas pada saat weekday dan weekend. Dari kondisi lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekday dan weekend diperoleh rata-rata nilai kemacetan lalu lintas yang diperoleh dari kedua jenis waktu tersebut berada di angka lebih dari 1.06%. Dapat disimpulkan bahwa kondisi lalu lintas ruas Jalan Setia Budi antara simpang Setia Budi - dr. Mansyur dan Setia Budi - Ringroad mengalami kepadatan lalu lintas, kondisi ini menyebabkan terjadinya penambahan waktu tempuh bagi pengguna ruas Jalan Seta Budi.

3.3 Skenario Kebijakan

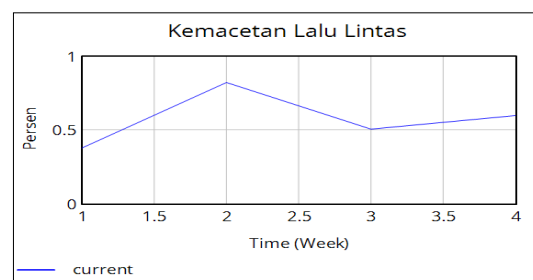
Solusi yang digunakan untuk meminimalkan kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi adalah dengan membuat variabel terlebih dahulu, variabel ini nantinya dilakukan simulasi kembali untuk memperoleh hasil simulasi dengan variabel solusi. Variabel yang digunakan adalah variabel “konstruksi rute alternatif” dan “transportasi umum”. Kedua variabel ini dapat disebut sebagai variabel solusi untuk disimulasikan kembali, masing-masing variabel ini mempunyai asumsi yang digunakan untuk meminimalkan kemacetan lalu lintas. Asumsi ini sudah dilakukan analisis dan penyesuaian dengan kondisi ruas Jalann Setia Budi antara titik simpang Setia Budi – dr. Mansyur dan simpang Setia Budi – Ringroad.

Variabel solusi “konstruksi rute alternatif” merupakan upaya teknis yang digunakan sebagai solusi dalam meminimalkan kemacetan lalu lintas. Pada variabel “konstruksi rute alternatif” konsep yang digunakan memiliki kesamaan dengan konsep pengalihan arus lalu lintas, dimana penggunaan konsep tersebut diharapkan mampu meminimalkan kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi antara kedua titik yang telah ditentukan. Rute alternatif yang dikonstruksikan berjumlah 3 rute, dengan harapan ketiganya mampu memberikan dampak untuk meminimalkann kemacetan pada ruas Jalan Setia Budi sebesar 15% jika dikalkulasikan pada ketiga rute tersebut.

Selain variabel “konstruksi rute alternatif”, variabel “angkutan kota” juga dinggap sebagai upaya yang tepat untuk dijadikan variabel solusi. Dengan angka variabel “angkutan kota” berupa jumlah dari angkutan kota, diharapkan mampu meminimalkan kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi. Asumsi yang digunakan pada angkutan kota adalah dengan mengunakan kapasitas dari angkutan kota tersebut, dari kapasitas untuk 1 angkutan kota kemudian dilakukan kalkulasi dengan jumlah angkutan kota yang tersedia. Pada akhir dari asumsi variabel “angkutan kota”, dilakukan konversi nilai kapasitas total yang diperoleh dengan nilai ekivalensi mobil penumpang. Dengan demikian, nilai tersebut merupakan asumsi yang dapat meminimalkan kemacetan lalu lintas. Data yang digunakan untuk jumlah angkutan kota yang tersedia dengan trayek atau rute melewati Jalan Setia Budi, bersumber dari Dinas Perhubungan Kota Medan untuk periode tahun 2023. Selanjutnya kedua variabel solusi ini disimulasikan kembali dengan variabel lainnya, guna memperoleh hasil simulasi kondisi lalu lintas yang lebih baik.

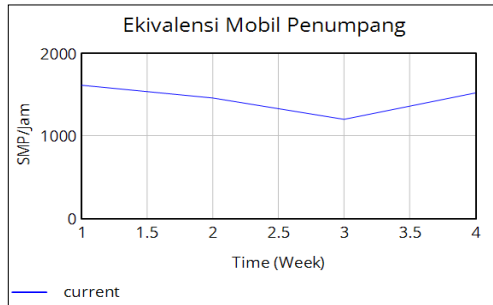


Gambar 8. Volume lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekday

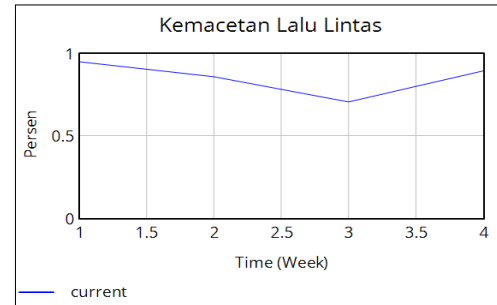


Gambar 9. Kemacetan lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekday

Hasil simulasi dengan variabel solusi ketika weekday dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10, visualisasi volume lalu lintas dalam bentuk EMP merujuk pada Gambar 8. berjumlah sebesar 641.23 SMP/jam di minggu pertamanya. Nilai ini mengalami penurunan dengan jumlah yang cukup signifikan dari kondisi sebelum diberikan variabel solusi. Dapat dilihat pada Gambar 9., visualisasi kemacetan lalu lintas ruas Jalan Setia Budi di minggu pertamanya sebesar 0,37%. Serupa dengan kondisi volume lalu lintas, kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi juga mengalami penurunan setelah disimulasikan kembali dengan variabel solusi.



Gambar 10. Volume lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekend



Gambar 11. Kemacetan lalu lintas ruas Jalan Setia Budi ketika weekend

Gambar 10. dan Gambar 11. merupakan hasil simulasi kondisi lalu lintas yang dilakukan pada ruas Jalan Setia Budi ketika weekend setelah penerapan variabel solusi. Dapat dilihat pada Gambar 11, volume lalu lintas dengan EMP pada minggu pertama bernilai 1896,87 SMP.jam. Nilai ini mengalami penurunan jika dibandingkan dengan hasil simulasi sebelum penerapan variabel solusi. Selanjutnya pada Gambar 12, dapat dilihat kemacetan lalu lintas pada minggu pertamanya memiliki nilai sebesar 0,94%.

Merujuk dari hasil simulasi kemacetan lalu lintas dengan menerapkan variabel solusi berupa “Konstruksi Rute Alternatif” dan “Transportasi Umum”, dapat dilihat bahwa terjadinya penurunan pada tingkat kemacetan lalu lintas. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan pada volume lalu lintas ketika weekday dan weekend, rata-rata volume lalu lintas yang disimulasikan tanpa variabel solusi berjumlah 2904.70 kendaraan/jam. Setelah melakukan simulasi kembali dengan menerapkan variabel solusi rata-rata volume lalu lintas mengalami penurunan sebesar 32%, dengan jumlah rata-rata volume lalu lintas 1946.29 kendaraan/jam. Selain berdampak pada volume lalu lintas, penerapan variabel solusi juga memberikan dampak penurunan sebesar 33% pada tingkat kemacetan lalu lintas ruas Jalan Setia Budi. Sebelumnya rata-rata tingkat kemacetan lalu lintas mempunyai nilai 1.06%, setelah dilakukan simulasi kembali dengan variabel solusi memberikan penurunan hingga rata-rata tingkat kemacetan lalu lintasnya bernilai 0.71%. Berdasarkan kondisi tersebut, skenario kebijakan berupa “konstruksi rute alternatif” dan “angkutan kota” memberikan dampak penurunan sekitar 32% terhadap kondisi lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi antara titik simpang dr. Mansyur dan simpang Ringroad. Hal ini dibuktikan terjadinya penurunan pada rata-rata tingkat kemacetan lalu lintas ruas Jalan Setia Budi. Pada kondisi awalnya tingkat kemacetan lalu lintas memiliki rata-rata sebesar 1.06%, dengan dilakukan penerapan skenario kebijakan tingkat rata-rata kemacetan menjadi 0.71%. Dengan demikian skenario kebijakan “penerapan konstruksi rute alternatif” dan “optimalisasi penggunaan angkutan kota” dapat digunakan sebagai solusi untuk meminimalkan kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi. Namun, dalam penerapannya, untuk memperoleh hasil yang optimal skenario ini membutuhkan partisipasi yang baik dari pengguna lalu lintas dan pihak-pihak yang terkait dengan lalu lintas. Simulasi yang dilakukan ini berupa bentuk prediksi di masa mendatang, dimana pada kondisi sebenarnya hal tersebut bisa saja berbeda dengan simulasi yang dilakukan. Namun, dengan dilakukannya simulasi terhadap kondisi lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi dapat membuat perencanaan antisipasi yang baik apabila pada kondisi nyata terjadi kemacetan lalu lintas sebagaimana yang disimulasikan. Dengan demikian penggunaan simulasi terhadap kondisi lalu lintas dapat sangat membantu untuk membuat perencanaan kinerja lalu lintas di masa depan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa metode Sistem Dinamik dapat digunakan untuk mensimulasikan kemacetan lalu lintas pada ruas Jalan Setia Budi. Simulasi tersebut menghasilkan skenario kebijakan berupa penerapan konstruksi rute alternatif dan optimalisasi penggunaan transportasi umum berjenis angkutan kota. Skenario kebijakan tersebut berdampak terhadap tingkat kemacetan lalu lintas dengan nilai 0.71%, angka ini mengalami penurunan sebesar 32% dari kondisi awal tingkat kemacetan dengan nilai 1.06%. Angka 0.71% menyimpulkan bahwa ruas Jalan Setia Budi berada pada kategori lalu lintas yang ramai lancar dengan tidak ada penundaan pada waktu tempuh. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendalam mengenai penyebab dan solusi kemacetan di Jalan Setia Budi. Melalui implementasi model sistem dinamik, diharapkan tercipta kebijakan yang berbasis data dan teruji melalui simulasi, sehingga solusi



yang diterapkan dapat efektif dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini akan menjadi landasan bagi pengembangan sistem transportasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan di masa depan.

REFERENCES

- [1] L. A. Nugroho, E. A. Latifa, dan E. O. Maulani, “Dampak Jumlah Kendaraan Besar terhadap Kemacetan Lalu Lintas di Jalan Tol,” *J. Tek. Sipil Cendekia*, vol. 5, no. 2, hal. 915–928, 2024, doi: 10.51988/jtsc.v5i2.154.
- [2] A. M. Rayhan, “PENEGAKAN HUKUM TERHADAP PENGGUNA LAMPU STROBO DAN ROTATOR SIRINE PADA MOBIL PRIBADI BERDASARKAN PASAL 134 UU No. 22 TAHUN 2009 TENTANG LALU LINTAS DAN ANGKUTAN JALAN (Studi Wilayah Direktorat Lalu Lintas Kepolisian Daerah Lampung),” 2023.
- [3] J. Asfi, “Pemberian Hak Kebebasan Dari Orang Tua Terhadap Penggunaan Sepeda Motor Pada Anak Dibawah Umur Menurut Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Angkutan Jalan (Studi Kasus Di Dinas Perhubungan Bidang Lalu Lintas Angkutan Jalan Kota Banda Aceh).” UIN Ar-Raniry Banda Aceh, Syaria’h dan Hukum, 2022.
- [4] D. A. N. A. JALAN dan H. N. U. R. HASANAH, “LEGALITAS RELAWAN PENGAWAL AMBULAN DITINJAU DARI UNDANG-UNDANG NOMOR 22 TAHUN 2009 TENTANG LALU LINTAS,” 2024.
- [5] A. S. Zakia, I. A. Putri, S. Husna, dan Sahrupi, “Analisis lalu lintas darat jalan lingkaran selatan Cilegon-Anyer menggunakan causal loop diagram,” *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 1, hal. 131–137, 2024, doi: 10.37373/jenius.v5i1.1017.
- [6] S. Astuti, R. Manalu, E. Simamora, E. Ulina, dan B. Hombing, “SIMPANG EMPAT UNIMED MMTC MEDAN ANALYSIS OF FACTORS CAUSED BY TRAFFIC CONSTRUCTION AT THE,” vol. 1, hal. 3421–3429, 2024.
- [7] E. Maha, “Analisis Faktor-faktor Pendorong Penyebab Terjadinya Kemacetan di Kawasan Pajus Padang Bulan Medan,” *J. Samudra Geogr.*, vol. 5, no. 1, hal. 38–42, 2022.
- [8] A. Faradibah, A. Ulfa Tenripada, P. B. Lestari Lokapitasari, A. Putri Utami, dan R. Rahmadani, “Pemodelan dan Simulasi Teknologi Connected Vehicle untuk Meningkatkan Traffic Flow di Kawasan Perkotaan Kota Makassar,” *Tecnoscienza*, vol. 8, no. 2, hal. 194–208, 2024.
- [9] B. K. Bala, K. M. Noh, dan F. M. Arshad, *Springer Texts in Business and Economics Modelling and Simulation System Dynamics*. Springer, 2016.
- [10] J. Sterman, *Business Dynamics : Systems Thinking and Modelling for a Complex World*. McGraw-Hill Education, 2000.
- [11] F. Kurniawan, “Implementasi Model Simulasi Sistem Dinamis Terhadap Analisis Kemacetan Lalu Lintas Dikawasan Pintu Masuk Pelabuhan Tanjung Priok,” *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 20, hal. 1–8, 2018.
- [12] A. Faradibah dan E. Suryani, “Pengembangan Model Simulasi Sistem Dinamik Untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Operasional Transportasi,” *Ilk. J. Ilm.*, vol. 11, hal. 67–76, 2019.
- [13] J. M. Sánchez, A. Valverde, J. L. G. Guirao, dan H. Chen, “Mathematical Modeling For The Development Of Traffic Based on The Theory Of System Dynamics,” *AIMS Math.*, vol. 8, no. 11, hal. 27626–27642, 2023, doi: 10.3934/math.20231413.
- [14] S. D. Kurnia dan A. U. Farahdiba, “Penggunaan Sistem Dinamis Vensim PLE Sebagai Analisis Kualitas dan Kuantitas Air PDAM Tirta Kencana Kabupaten Jombang,” *EnviroUS*, vol. 3, no. 2, hal. 12–19, 2023.
- [15] A. M. Alfani, D. Sukma Donoriyanto, dan I. Nugraha, “Penerapan Sistem Dinamis dalam Menganalisis Tarif Tol Krian-Legundi-Manyar-Bunder,” *Briliant J. Ris. dan Konseptual*, vol. 8, no. 3, hal. 704, 2023, doi: 10.28926/briliant.v8i3.1192.
- [16] D. P. Anggraeni, C. Renatasari, P. April, R. Pakpahan, S. Fitri, dan A. Wati, “Analisis Peningkatan Jumlah Transportasi Kota Surabaya Menggunakan Sistem Dinamik,” *KOLONI J. Multidisiplin Ilmu*, vol. 3, no. 2, hal. 2828–6863, 2024.
- [17] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, Fourth Edi. SAGE, 2013.
- [18] M. P. Harmoko et al., *Buku ajar metodologi penelitian*. Feniks Muda Sejahtera, 2022.
- [19] M. R. Pahleviannur et al., *Metodologi penelitian kualitatif*. Pradina Pustaka, 2022.
- [20] A. T. N. Maliha, Y. Prasetyo, dan H. S. Firdaus, “Pemetaan Kemacetan Lalu Lintas di Universitas Diponegoro (Studi Kasus: Kecamatan Tembalang dan Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang),” *J. Geod. Undip*, vol. 12, no. 3, hal. 351–360, 2023.
- [21] E. Suryani, R. A. Hendrawan, dan U. E. Rahmawati, “Implementasi model simulasi sistem dinamik dalam industri jagung.” Penerbit Deepublish, 2021.
- [22] L. P. SINAGA, D. KARTIKA, dan H. NASUTION, *Pengantar Sistem Dinamik*. Amal Insani Publisher, 2021.