

ANALISIS KEMACETAN LALU LINTAS DI JALAN MARGONDA RAYA DEPOK DENGAN METODE SYSTEM DYNAMICS

Timbul PM Panjaitan¹✉

¹ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekerjaan Umum

Email: tpmpanjaitan@gmail.com

Abstrak

Jalan Margonda Raya merupakan salah satu jalan utama di Kota Depok yang sering mengalami kemacetan lalu lintas, terutama pada jam sibuk. Kemacetan ini disebabkan oleh berbagai faktor, seperti volume kendaraan yang tinggi, kapasitas jalan yang terbatas, dan pola pergerakan lalu lintas yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemacetan lalu lintas di Jalan Margonda Raya menggunakan metode Sistem Dinamika, yang memungkinkan pemodelan hubungan dinamis antara berbagai faktor yang memengaruhi kemacetan.

Dalam penelitian ini, data primer dan sekunder dikumpulkan mengenai volume lalu lintas, kapasitas jalan, perilaku pengguna jalan, dan kebijakan transportasi yang ada. Model Sistem Dinamika dikembangkan untuk mensimulasikan berbagai skenario manajemen lalu lintas, seperti peningkatan kapasitas jalan, optimalisasi sistem transportasi umum, dan penerapan kebijakan pembatasan kendaraan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan terpadu yang menggabungkan peningkatan kapasitas infrastruktur dengan penguatan transportasi umum lebih efektif dalam mengurangi kemacetan daripada hanya memperluas kapasitas jalan.

Melalui pendekatan pemodelan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan berbasis data bagi pemerintah daerah untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di Jalan Margonda Raya.

Kata Kunci: Kemacetan, Lalu Lintas, Dinamika, Pemodelan, Transportasi.

Abstract

Margonda Raya Street in one of the main roads in Depok City that frequently experiences traffic congestion, especially during peak hours. This congestion is caused by various factors, such as high vehicle volume, limited road capacity, and complex traffic movement patterns. This study aims to analyze traffic congestion on Margonda Raya Street using the System Dynamics method, which enables the modeling of dynamic relationships between various factors influencing congestion.

In this study, primary and secondary data were collected regarding traffic volume, road capacity, road user behavior, and existing transportation policies. A System Dynamics model was developed to simulate various traffic management scenarios, such as increasing road capacity, optimizing the public transportation system, and implementing vehicle restriction policies. The simulation results indicate that an integrated approach combining infrastructure capacity improvements with public transportation reinforcement is more effective in reducing congestion than merely expanding road capacity.

Through this modeling approach, this study is expected to provide data-driven policy recommendations for local governments to address traffic congestion on Margonda Raya Street.

Keywords: *Traffic, Congestion, Dynamics, Modeling, Transportation.*

PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan permasalahan kompleks yang dihadapi oleh hampir semua kota besar di dunia, termasuk Indonesia. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang tidak sebanding dengan kapasitas infrastruktur jalan telah menimbulkan beban yang berat bagi sistem transportasi perkotaan. Selain menurunkan efisiensi pergerakan, kemacetan juga berdampak negatif terhadap produktivitas ekonomi, kualitas lingkungan, serta kesehatan masyarakat. Fenomena ini menjadi tantangan serius dalam mewujudkan transportasi yang berkelanjutan di kawasan perkotaan modern.

Kota Depok, sebagai salah satu kota penyangga Jakarta, menghadapi tingkat pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang sangat tinggi dalam dua dekade terakhir. Pertumbuhan ini mendorong meningkatnya kebutuhan mobilitas, baik bagi masyarakat Depok sendiri maupun bagi mereka yang melakukan perjalanan ke Jakarta sebagai pusat aktivitas ekonomi. Jalan Margonda Raya, yang merupakan jalan arteri utama Kota Depok, berperan sebagai penghubung vital antara Depok dengan Jakarta Selatan. Kondisi ini menjadikan Jalan Margonda Raya sebagai salah satu koridor lalu lintas tersibuk di kawasan Jabodetabek.

Namun demikian, arus lalu lintas yang tinggi di Jalan Margonda Raya seringkali tidak mampu diimbangi dengan kapasitas jalan yang tersedia. Kemacetan hampir terjadi setiap hari, terutama pada jam sibuk pagi dan sore. Data dari Badan Pusat Statistik (2023) menunjukkan bahwa rata-rata volume kendaraan yang melintasi Jalan Margonda Raya mencapai lebih dari 6.000 kendaraan per jam pada jam puncak, dengan kecepatan rata-rata hanya sekitar 20 km/jam. Kondisi ini tidak hanya memperlambat mobilitas masyarakat, tetapi juga meningkatkan konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, dan risiko kecelakaan lalu lintas.

Berbagai kebijakan telah diterapkan Pemerintah Kota Depok untuk mengurangi tingkat kemacetan, seperti penerapan sistem ganjil-genap, pemisahan jalur cepat dan lambat, hingga penggunaan tilang elektronik (ETLE) untuk meningkatkan kedisiplinan pengemudi. Namun, efektivitas kebijakan-kebijakan tersebut masih terbatas, sehingga permasalahan kemacetan tetap menjadi isu krusial di Jalan Margonda Raya. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan kemacetan tidak dapat diselesaikan hanya dengan pendekatan teknis sederhana, melainkan memerlukan analisis yang lebih mendalam mengenai interaksi dinamis antar faktor penyebab.

Dalam konteks inilah, metode *System Dynamics* (SD) menjadi salah satu pendekatan yang relevan. *System Dynamics* merupakan metode pemodelan yang dikembangkan oleh Jay W. Forrester pada awal 1960-an, yang dirancang untuk menganalisis sistem kompleks melalui interaksi umpan balik (*feedback loops*), stok (*stocks*), aliran (*flows*), dan keterlambatan (*delays*). Dengan pendekatan ini, dinamika kemacetan lalu lintas dapat dipahami secara lebih komprehensif, tidak hanya berdasarkan analisis statis tetapi juga melalui simulasi skenario kebijakan dalam jangka panjang.

Penerapan *System Dynamics* pada studi lalu lintas memungkinkan pemangku kebijakan untuk melihat dampak jangka panjang dari setiap intervensi, seperti peningkatan kapasitas jalan, penguatan transportasi umum, atau pembatasan kendaraan

pribadi. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan gambaran deskriptif mengenai kondisi kemacetan di Jalan Margonda Raya, tetapi juga menghasilkan rekomendasi berbasis data yang dapat membantu Pemerintah Kota Depok dalam merumuskan kebijakan transportasi yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor utama penyebab kemacetan lalu lintas di Jalan Margonda Raya, Depok, serta mengevaluasi dampak dari berbagai intervensi kebijakan menggunakan metode *System Dynamics*. Dengan pemodelan yang tepat, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam mengatasi permasalahan kemacetan di kawasan tersebut.

1. Konsep *System Dynamics* dalam Analisis Kemacetan di Jalan Margonda Raya, Depok

System Dynamics (SD) adalah pendekatan berbasis pemodelan sistem yang digunakan untuk memahami dan menganalisis dinamika kompleks dalam suatu sistem, termasuk sistem transportasi. Pendekatan ini dikembangkan oleh Jay W. Forrester dan telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk manajemen lalu lintas dan perencanaan transportasi.

Dalam konteks kemacetan lalu lintas di Jalan Margonda Raya, Depok, metode *System Dynamics* digunakan untuk memetakan hubungan sebab-akibat antara berbagai faktor yang mempengaruhi lalu lintas, seperti pertumbuhan jumlah kendaraan, kapasitas jalan, perilaku pengguna jalan, dan kebijakan transportasi yang telah diterapkan.

2. Komponen Utama dalam Model *System Dynamics* untuk Kemacetan di Jalan Margonda Raya Depok

a) Stock (Stok/Persediaan):

- Jumlah kendaraan di Jalan Margonda pada waktu tertentu.
- Kapasitas jalan dan infrastruktur transportasi.
- Tingkat kepadatan lalu lintas pada berbagai segmen jalan.

b) Flow (Aliran):

- Laju masuknya kendaraan ke Jalan Margonda dari berbagai titik (misalnya, dari Depok ke Jakarta atau sebaliknya).
- Laju keluarnya kendaraan dari Jalan Margonda menuju jalur alternatif atau tujuan akhir.
- Perubahan pola perjalanan akibat intervensi kebijakan seperti pembatasan lalu lintas atau peningkatan kapasitas jalan

c) Feedback Loops (Lingkaran Umpan Balik):

- Loop Penguatan (*Reinforcing Loop*): Pertumbuhan jumlah kendaraan yang menyebabkan peningkatan kemacetan, yang pada akhirnya mendorong lebih banyak orang menggunakan kendaraan pribadi.

- Loop Penyeimbang (*Balancing Loop*): Kebijakan transportasi seperti sistem ganjil-genap atau peningkatan transportasi umum yang bertujuan mengurangi volume kendaraan di Jalan Margonda

d) Delays (Keterlambatan):

- Dampak dari kebijakan transportasi tidak langsung terasa seketika, tetapi membutuhkan waktu untuk menunjukkan efektivitasnya. Misalnya, pembangunan jalur bus atau transportasi umum yang lebih baik mungkin baru berdampak signifikan dalam beberapa tahun ke depan.

3. Aplikasi System Dynamics dalam Analisis Kemacetan Jalan Margonda

a) Pemodelan Skenario

Dengan menggunakan *System Dynamics*, berbagai skenario dapat distimulasikan untuk melihat dampaknya terhadap tingkat kemacetan. Misalnya:

- Dampak kebijakan pemisahan jalur cepat dan lambat terhadap kecepatan rata-rata kendaraan.
- Efektivitas kebijakan ganjil-genap dalam mengurangi jumlah kendaraan di jalan.
- Simulasi peningkatan penggunaan transportasi umum dan dampaknya terhadap kepadatan lalu lintas.

b) Evaluasi Kebijakan yang Sudah Diterapkan

Dengan pemodelan berbasis *System Dynamics*, dapat dianalisis sejauh mana kebijakan yang telah diterapkan, seperti tilang elektronik (ETLE) dan pemisahan jalur cepat-lambat, mampu mengurangi kemacetan di Jalan Margonda. Jika kebijakan belum efektif, pemodelan ini juga dapat membantu dalam merancang strategi alternatif.

c) Rekomendasi Kebijakan Berbasis Simulasi

Hasil dari pemodelan dapat memberikan rekomendasi berbasis data mengenai strategi terbaik untuk mengatasi kemacetan. Beberapa opsi yang bisa diuji dalam simulasi antara lain:

- Peningkatan kapasitas jalan atau pembangunan infrastruktur pendukung.
- Optimalisasi sistem transportasi umum, seperti penambahan rute bus atau pengintegrasian moda transportasi.
- Pembatasan kendaraan pribadi dengan kebijakan berbasis demand management seperti *electronic road pricing* (ERP).

Dengan memperhatikan faktor faktor diatas, *System Dynamics* memberikan pendekatan yang sistematis dalam memahami interaksi kompleks antara faktor-faktor penyebab kemacetan di Jalan Margonda, Depok. Dengan menggunakan pemodelan berbasis simulasi, metode ini memungkinkan perencanaan kebijakan yang lebih akurat dan berbasis data, sehingga dapat menghasilkan solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam mengatasi permasalahan lalu lintas.

Sebagai pusat aktivitas ekonomi, pendidikan, dan komersial, Jalan Margonda Raya menjadi jalur utama bagi kendaraan pribadi, transportasi umum, serta pejalan kaki, yang menyebabkan tingginya volume lalu lintas terutama pada jam sibuk.

Untuk mengatasi permasalahan kemacetan di kawasan ini, Pemerintah Kota Depok telah menerapkan berbagai kebijakan lalu lintas, antara lain:

- 1) **Pemisahan Jalur Cepat dan Lambat:** Kebijakan ini diterapkan untuk memisahkan arus kendaraan berdasarkan kecepatan, sehingga diharapkan dapat mengurangi kepadatan dan meningkatkan efisiensi lalu lintas di Jalan Margonda Raya. ([Tempo](#))
- 2) **Sistem Ganjil-Genap:** Pada Oktober 2021, Pemerintah Kota Depok bersama Polres Metro Depok memberlakukan kebijakan ganjil-genap bagi kendaraan roda empat di Jalan Margonda Raya. Kebijakan ini diterapkan pada akhir pekan dengan tujuan mengurangi volume kendaraan dan kemacetan. Namun, kebijakan ini kemudian dicabut pada Januari 2022. ([Megapolitan](#) dan [Media Indonesia](#))
- 3) **Penerapan Tilang Elektronik (Electronic Traffic Law Enforcement/ETLE):** Sejak Maret 2021, Satuan Lalu Lintas Polres Metro Depok telah memberlakukan tilang elektronik di Jalan Margonda Raya. Penerapan ETLE ini bertujuan meningkatkan disiplin berlalu lintas dan mengurangi pelanggaran yang dapat menyebabkan kemacetan. ([Satlantas Polres Metro Depok](#))

Meskipun berbagai kebijakan telah diterapkan, kemacetan di Jalan Margonda Raya masih menjadi permasalahan yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analitis yang komprehensif untuk memahami dinamika lalu lintas di kawasan ini. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *System Dynamics* (SD), dengan perangkat lunak POWERSIM atau VENSIM, yang memungkinkan analisis sistem transportasi secara holistik dengan mempertimbangkan interaksi antar variabel yang mempengaruhi dinamika lalu lintas

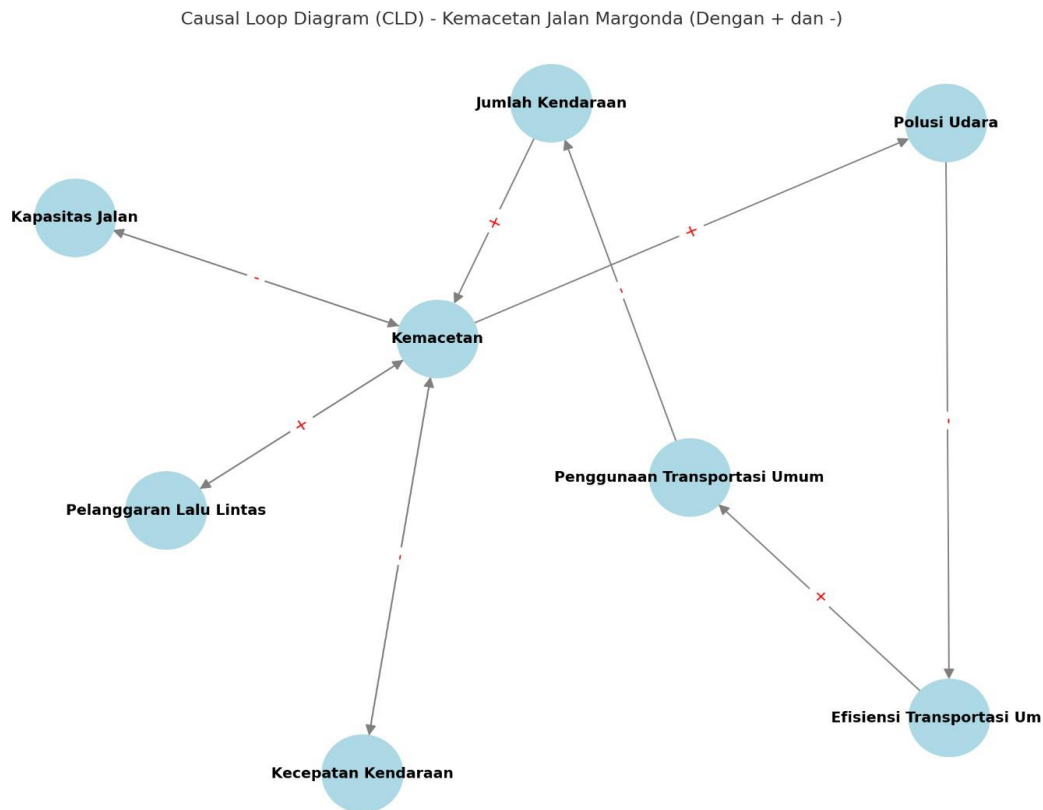
4. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode System Dynamics, yang mencakup beberapa tahapan utama:

- a) **Identifikasi Variabel Penting** – Menentukan faktor-faktor utama yang mempengaruhi kemacetan di Jalan Margonda.
- b) **Pembuatan Causal Loops Diagram (CLD)** – Menunjukkan hubungan antara variabel-variabel dalam sistem transportasi.
- c) **Pembuatan Stock and Flow Diagram** – Menganalisis dinamika perubahan jumlah kendaraan di Jalan Margonda Raya Depok.
- d) **Simulasi dan Prediksi** – Melakukan simulasi kondisi lalu lintas selama lima tahun ke depan tanpa intervensi dan dengan intervensi kebijakan

5. Causal Loop Diagram (CLD)

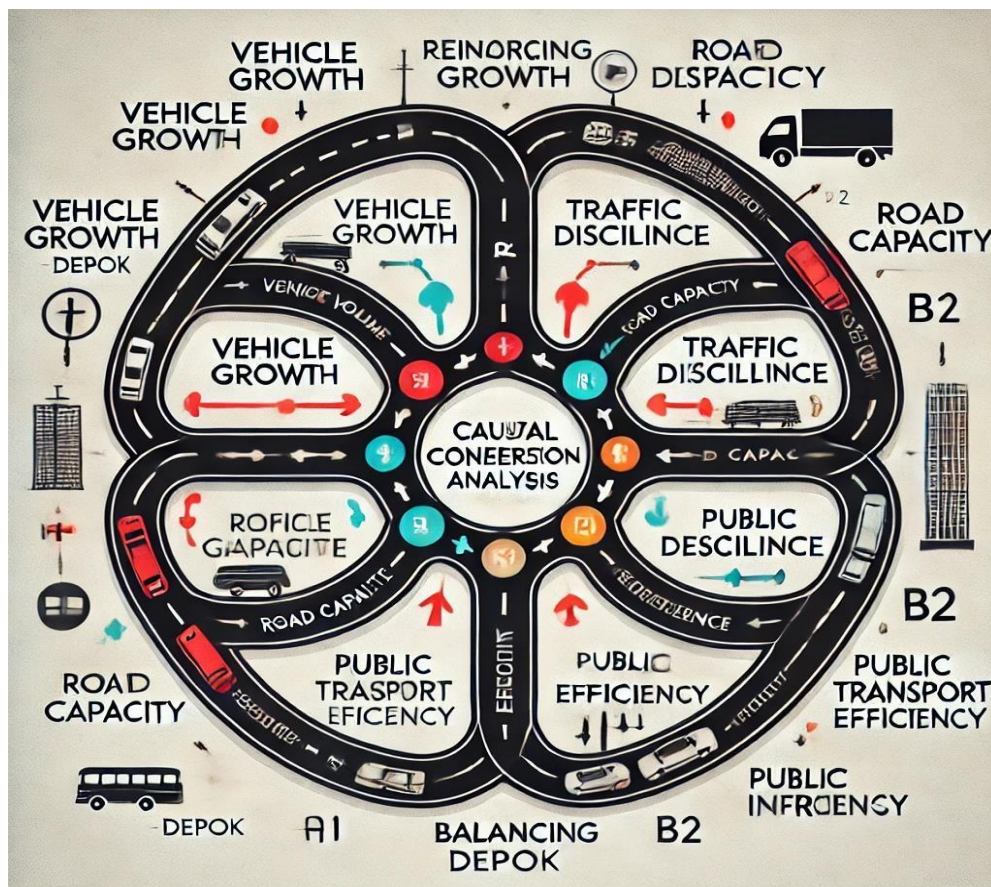
Diagram causal loops berikut menggambarkan hubungan antar variabel yang mempengaruhi kemacetan di Jalan Margonda:



Gambar 1. CLD (Causal Loop Diagram Kemacetan Jalan Margonda Raya)

Beberapa Loops utama dalam model ini meliputi:

- **Reinforcing Loop (R1): Pertumbuhan Kendaraan** – Semakin banyak kendaraan yang masuk ke Jalan Margonda, semakin tinggi tingkat kemacetan, yang dapat mendorong lebih banyak orang untuk menggunakan kendaraan pribadi.
- **Balancing Loop (B1): Kapasitas Jalan** – Kapasitas jalan yang terbatas membatasi jumlah kendaraan yang dapat melewati jalur tersebut, sehingga memperburuk kemacetan.
- **Balancing Loop (B2): Efektivitas Transportasi Umum** – Jika transportasi umum lebih efisien dan nyaman, maka masyarakat cenderung beralih dari kendaraan pribadi ke angkutan umum, yang berpotensi mengurangi kemacetan.
- **Reinforcing Loop (R2): Perilaku Pengguna Jalan** – Kurangnya disiplin berlalu lintas, seperti parkir sembarangan atau penggunaan jalur tidak sesuai aturan, dapat memperburuk kemacetan di sepanjang koridor Margonda.



Gambar 2. Causal Loop Secara Lengkap

(Mencakup reinforcing loops (R1: Pertumbuhan Kendaraan, R2: Disiplin Lalu Lintas) dan balancing loops (B1: Kapasitas Jalan, B2: Efisiensi Transportasi Umum), dengan tanda '+' dan '-' untuk menunjukkan hubungan sebab-akibat)

6. Data Pendukung

Beberapa data yang mendukung analisis kemacetan di Jalan Margonda Raya:

- **Jumlah Kendaraan:** Rata-rata volume kendaraan mencapai **6.012 kendaraan per jam**, meningkat 1,22% dari tahun sebelumnya.
- **Kecepatan Kendaraan:** Kecepatan rata-rata kendaraan saat ini sekitar **20 km/jam**, yang diperkirakan akan turun menjadi **10 km/jam dalam 5 tahun** jika tidak ada intervensi.
- **Penggunaan Transportasi Umum:** Moda share transportasi umum sekitar **15,91%**, dengan rata-rata **177.996 penumpang per hari**.
- **Pelanggaran Lalu Lintas:** Pelanggaran seperti parkir liar dan kendaraan berhenti di badan jalan berkontribusi terhadap kemacetan.
- **Polusi Udara:** Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berdampak pada peningkatan emisi gas buang di kawasan tersebut.

7. Simulasi dan Prediksi Kemacetan

Dengan menggunakan pendekatan **System Dynamics**, model simulasi dibuat untuk memperkirakan tingkat kemacetan di Jalan Margonda dalam lima tahun ke depan jika tidak ada langkah-langkah perubahan atau kebijakan baru yang diterapkan.

Tabel 1. Kombinasi Prediksi Kemacetan 5 Tahun

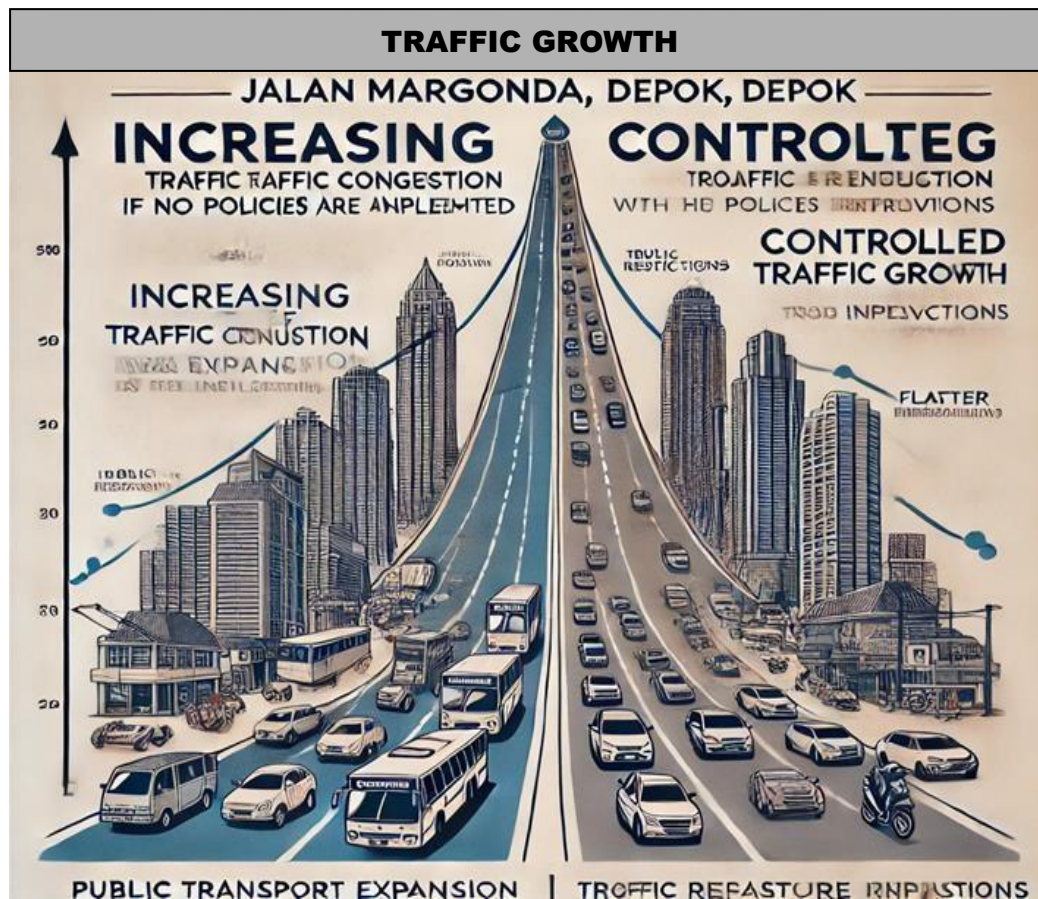
Tahun	Volume Kendaraan (ribu/jam)	Kecepatan Kendaraan (km/jam) Tanpa Kebijakan	Kecepatan Kendaraan (km/jam) Dengan Kebijakan
2024	6,0	20	20
2025	6,4	17	19
2026	6,9	14	18
2027	7,5	12	17
2028	8,2	10	16

Sumber : Penulis

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanpa adanya intervensi kebijakan sbb :

- Volume kendaraan akan meningkat sekitar **5-7% per tahun**.
- Kecepatan rata-rata kendaraan akan turun drastis dari **20 km/jam saat ini menjadi 10 km/jam dalam 5 tahun ke depan**.
- Tingkat kemacetan akan semakin parah, terutama pada jam sibuk pagi dan sore hari.
- Emisi karbon dan polusi udara di sekitar Jalan Margonda akan meningkat, menyebabkan dampak negatif bagi kesehatan masyarakat.
- Produktivitas masyarakat akan menurun akibat waktu perjalanan yang semakin lama.

Sebaliknya, dengan adanya kebijakan yang tepat, seperti optimalisasi transportasi umum dan pengendalian jumlah kendaraan pribadi, kecepatan kendaraan masih dapat dipertahankan dalam kisaran **16-20 km/jam**, sehingga kemacetan tidak semakin memburuk



Gambar 3. Grafik Prediksi Kemacetan Dengan dan Tanpa Kebijakan

Grafik di atas menunjukkan perbandingan antara dua skenario:

- 1) **Tanpa kebijakan:** Pertumbuhan kendaraan terus meningkat, sementara kecepatan rata-rata kendaraan menurun drastis hingga mencapai titik kemacetan ekstrem.
- 2) **Dengan kebijakan:** Implementasi kebijakan transportasi publik dan regulasi lalu lintas dapat mengurangi dampak pertumbuhan kendaraan, sehingga kecepatan kendaraan tetap terjaga dalam batas yang wajar.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi System Dynamics terhadap kemacetan di Jalan Margonda Raya, Kota Depok, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tingkat Kemacetan yang Tinggi dan Meningkat

- Volume kendaraan di Jalan Margonda Raya mencapai ± 6.012 kendaraan/jam pada jam sibuk, dengan kecepatan rata-rata 20 km/jam.
- Pertumbuhan kendaraan pribadi sekitar 5–7% per tahun menyebabkan kecepatan rata-rata diprediksi turun menjadi 10 km/jam pada 2028 jika tidak ada intervensi kebijakan.
- Dominasi **reinforcing loops** (pertumbuhan kendaraan dan perilaku pengguna jalan) memperkuat fenomena kemacetan, sedangkan **balancing loops** (kapasitas jalan dan transportasi umum) saat ini masih lemah.

2. Efektivitas Kebijakan Parsial Terbatas

- Pemisahan jalur cepat-lambat hanya efektif di luar jam sibuk.
- Sistem ganjil-genap memberikan dampak sementara, tidak berkelanjutan.
- ETLE meningkatkan disiplin pengguna jalan, namun tidak menurunkan volume kendaraan secara signifikan.

3. Simulasi System Dynamics Menunjukkan Efektivitas Strategi Integratif

- Skenario integratif (transportasi umum + pembatasan kendaraan pribadi) paling efektif menjaga kecepatan kendaraan tetap stabil (16–20 km/jam) hingga 2028.
- Pendekatan parsial (hanya pelebaran jalan atau transportasi umum sendiri) cenderung memberikan hasil jangka pendek dan kurang efektif dalam jangka panjang.

4. Dampak Kemacetan Bersifat Multidimensional

- **Ekonomi:** Kerugian produktivitas dan waktu tempuh yang meningkat, diperkirakan miliaran rupiah per tahun.
- **Lingkungan:** Peningkatan emisi CO₂, PM2.5, dan NO_x.
- **Kesehatan:** Peningkatan risiko penyakit pernapasan dan stres.
- **Kualitas Hidup:** Mobilitas warga terganggu, khususnya pelajar dan pekerja.

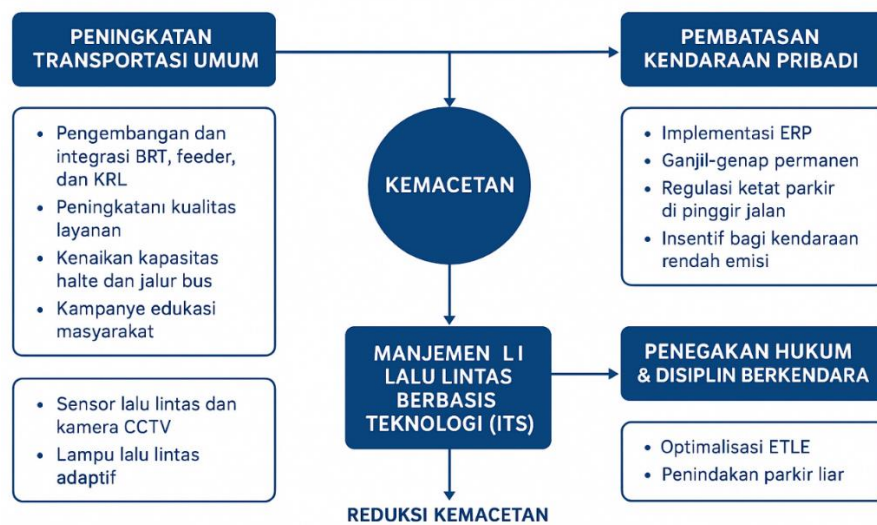
5. Kebutuhan Kebijakan Adaptif

- Sistem transportasi perkotaan adalah **kompleks adaptif**; solusi berbasis infrastruktur saja tidak cukup.
- Intervensi harus mengkombinasikan **peningkatan transportasi publik, manajemen permintaan kendaraan, dan penegakan hukum** untuk hasil jangka panjang.

Ringkasan Implementasi Kebijakan

Strategi	Dampak	Catatan
Transportasi Umum Terintegrasi	Tinggi (jangka panjang)	Harus didukung fasilitas dan tarif bersaing
Pembatasan Kendaraan Pribadi	Tinggi (jika konsisten)	Perlu pengawasan ketat dan ERP
Pelebaran Jalan	Rendah (jangka panjang)	Hanya mengurangi kemacetan sementara (induced demand)
Integratif (Transportasi Umum + Pembatasan Kendaraan)	Sangat Tinggi	Prioritas utama bagi Pemkot Depok
ITS & Penegakan Hukum	Tinggi	Meningkatkan disiplin dan efisiensi arus lalu lintas

REKOMENDASI KEBIJAKAN UNTUK PEMKOT DEPOK



REKOMENDASI KEBIJAKAN UNTUK PEMKOT DEPOK

Berdasarkan temuan penelitian, Pemerintah Kota Depok dapat mempertimbangkan kebijakan berikut:

A. Peningkatan Transportasi Umum

1. Pengembangan dan integrasi **Bus Rapid Transit (BRT)**, feeder, dan konektivitas dengan **KRL Jabodetabek**.
2. Peningkatan kualitas layanan transportasi umum: jadwal tepat waktu, kenyamanan, keamanan, dan tarif terjangkau.
3. Peningkatan kapasitas halte dan jalur khusus bus untuk mengurangi interaksi dengan kendaraan pribadi.
4. Kampanye edukasi masyarakat tentang manfaat transportasi publik untuk mengubah perilaku mobilitas.

B. Pembatasan Kendaraan Pribadi

1. Implementasi **Electronic Road Pricing (ERP)** di koridor Margonda Raya untuk mengendalikan volume kendaraan.
2. Penegakan sistem **ganjil-genap permanen** pada jam sibuk dengan monitoring real-time.
3. Regulasi ketat parkir di pinggir jalan dan di pusat kegiatan ekonomi untuk mencegah parkir liar.
4. Insentif bagi kendaraan rendah emisi dan transportasi berbasis ramah lingkungan (sepeda, *carpooling*).

C. Manajemen Lalu Lintas Berbasis Teknologi (ITS)

1. Pemasangan **sensor lalu lintas** dan **kamera CCTV** untuk memonitor arus dan kepadatan secara real-time.
2. Pengaturan lampu lalu lintas adaptif berbasis volume kendaraan.
3. Integrasi data ITS dengan aplikasi publik (misal *Google Maps*, *Waze*) untuk mengarahkan kendaraan ke jalur alternatif dan mengurangi kemacetan.

D. Penegakan Hukum dan Disiplin Berkendara

1. Optimalisasi **ETLE** untuk memastikan kepatuhan terhadap rambu dan marka jalan.
2. Penindakan ketat parkir liar dan pelanggaran lalu lintas yang memperburuk arus.
3. Peningkatan kesadaran hukum melalui kampanye publik, sosialisasi sekolah, dan kantor.

E. Kebijakan Jangka Panjang dan Integratif

1. Kombinasi kebijakan transportasi umum + pembatasan kendaraan pribadi (*integrative scenario*) diprioritaskan karena terbukti paling efektif dalam simulasi.

2. Perencanaan kapasitas jalan jangka panjang dengan memperhitungkan ***induced demand*** agar pelebaran jalan tidak menjadi solusi sementara.
3. Monitoring dan evaluasi berkala berbasis data *System Dynamics* untuk menyesuaikan kebijakan sesuai perubahan perilaku dan pertumbuhan kendaraan.

F. Poin Praktis Tambahan

1. Penyediaan jalur sepeda dan pedestrian untuk mendorong mobilitas non-motorized.
2. Peningkatan fasilitas park and ride di titik masuk kota Depok untuk mengurangi kepadatan di Margonda Raya.
3. Koordinasi dengan Pemprov DKI Jakarta terkait pola perjalanan komuter harian.
4. Pengembangan kebijakan tarif progresif di pusat keramaian atau jam puncak untuk mendorong redistribusi waktu perjalanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kota Depok. (2023). *Statistik transportasi Kota Depok*. <https://depokkota.bps.go.id>
- Dinas Perhubungan Kota Depok. (2023). *Laporan analisis lalu lintas Jalan Margonda Raya*.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics*. MIT Press.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill.