



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - KS141501

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK
MENGANALISIS DAMPAK IMPLEMENTASI ADAPTIVE
TRAFFIC CONTROL SYSTEM DALAM
MENINGKATKAN EFEKTIVITAS SISTEM
TRANSPORTASI. (STUDI KASUS: SURABAYA)**

***THE DEVELOPMENT OF SYSTEM DYNAMICS
MODELS TO ANALYZE THE IMPACT OF ADAPTIVE
TRAFFIC CONTROL SYSTEM IMPLEMENTATION TO
INCREASE TRANSPORTATION SYSTEM
EFFECTIVITY (CASE STUDY: SURABAYA)***

FAIZ ANGGORO MUKTI
NRP 052115 4000 0103

Dosen Pembimbing
Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

TUGAS AKHIR - KS141501

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK
MENGANALISIS DAMPAK IMPLEMENTASI ADAPTIVE
TRAFFIC CONTROL SYSTEM DALAM MENINGKATKAN
EFEKTIVITAS SISTEM TRANSPORTASI. (STUDI KASUS:
SURABAYA)**

**FAIZ ANGGORO MUKTI
NRP 052115 4000 0103**

**Dosen Pembimbing
Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

UNDERGRADUATE THESIS - KS141501

**THE DEVELOPMENT OF SYSTEM DYNAMICS MODELS
TO ANALYZE THE IMPACT OF ADAPTIVE TRAFFIC
CONTROL SYSTEM IMPLEMENTATION TO INCREASE
TRANSPORTATION SYSTEM EFFECTIVITY (CASE
STUDY: SURABAYA)**

**FAIZ ANGGORO MUKTI
NRP 052115 4000 0103**

**Supervisor
Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D.**

**INFORMATION SYSTEM DEPARTMENT
Information Technology and Communication Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK MENGANALISIS DAMPAK IMPLEMENTASI ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL SYSTEM DALAM MENINGKATKAN EFEKTIVITAS SISTEM TRANSPORTASI. (STUDI KASUS: SURABAYA)

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FAIZ ANGGORO MUKTI
0521 15 4000 0103

Surabaya, 18 Juli 2019

KEPALA
DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI


Mahendrawati ER, ST, M.Sc, Ph.D
NIP. 197610112006042001

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK
UNTUK MENGANALISIS DAMPAK IMPLEMENTASI
ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL SYSTEM DALAM
MENINGKATKAN EFEKTIVITAS SISTEM
TRANSPORTASI. (STUDI KASUS: SURABAYA)**

TUGAS AKHIR

Disusun untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

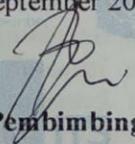
Oleh :

FAIZ ANGGORO MUKTI

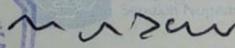
0521 15 4000 0103

Disetujui Tim Penguji : Tanggal Ujian : 12 Juli 2019
Periode Wisuda : September 2019

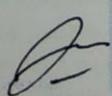
Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D.


(Pembimbing 1)

Dr. Mudjahidin, S.T., M.T.


(Penguji 1)

Andre Parvian Aristio, S.Kom., M.Sc.


(Penguji 2)



**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK
UNTUK MENGANALISIS DAMPAK
IMPLEMENTASI ADAPTIVE TRAFFIC
CONTROL SYSTEM DALAM MENINGKATKAN
EFEKTIVITAS SISTEM TRANSPORTASI. (STUDI
KASUS: SURABAYA)**

Nama Mahasiswa : Faiz Anggoro Mukti
NRP : 0521154000103
Departemen : Sistem Informasi FTIK-ITS
Pembimbing I : Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Pertumbuhan populasi yang terus menanjak secara signifikan mengakibatkan kemacetan lalu lintas tak dapat dihindari di kota-kota besar di Indonesia khususnya Surabaya. Oleh karena itu implementasi ITS (Intelligent Transport System), khususnya ATCS (Adaptive Traffic Control System) menjadi penting untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas, mengurangi polusi kendaraan demi menjaga kelestarian lingkungan dan mengurangi kemacetan lalu lintas. Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah mengembangkan model sistem dinamik untuk menganalisis dampak implementasi Adaptive Traffic Control System dalam perannya untuk meningkatkan efektivitas sistem transportasi dalam kota Surabaya. Metode Simulasi model sistem dinamik dipilih karena model sistem dinamik dapat digunakan untuk menggambarkan permasalahan transportasi kota yang kompleks. Simulasi model sistem dinamik mampu menggambarkan perubahan perilaku sistem terhadap waktu dengan umpan balik yang tertutup. Umpan balik akan menggambarkan informasi terbaru mengenai keadaan sistem. Hal ini sesuai dengan keadaan lalu lintas yang selalu berubah dari waktu ke waktu.. Hasil yang diharapkan dari pembuatan tugas akhir ini adalah untuk memberikan rekomendasi dan kajian dampak implementasi Adaptive Traffic Control System

untuk meningkatkan efektivitas sistem transportasi dalam kota Surabaya.

Kata Kunci: Adaptive Traffic Control System, Traffic Light, System Dynamics, Model, Simulation

***THE DEVELOPMENT OF SYSTEM DYNAMICS
MODELS TO ANALYZE THE IMPACT OF
ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL SYSTEM
IMPLEMENTATION TO INCREASE
TRANSPORTATION SYSTEM EFFECTIVITY (CASE
STUDY: SURABAYA)***

Name : Faiz Anggoro Mukti
NRP : 05211540000103
Department : Information System FTIK-ITS
Supervisor I : Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Population growth that keeps rising significantly has resulted in traffic congestion to be an inevitable problems in big cities in Indonesia especially Surabaya. Therefore Intelligent Transportation System (ITS) in the form of Adaptive Traffic Control System become important to improve safety, reduce pollution to preserve nature and reduce traffic congestion. The goals of this essay is to develop dynamic simulation model to analyze the impact of Adaptive Traffic Control System (ATCS) in its role to improve the efectivity of Surabaya transportation system. Dynamic simulation model is used because of its capabilites to describe complex urban transportation problems. Dynamic simulation model have the capabilities to describe system's changes in behavior towards time with a closed feedback loop. Feedback loop will be able to describe the latest information on the state of the system. This is in accordance with traffic's everchanging state. Expected result of this essay is to provide recommendation and studies on the impact of Adaptive Traffic Control System to improve the effectivity of Surabaya's Transportation system

Keywords: Adaptive Traffic Control System, Traffic Light, System Dynamics, Model, Simulation

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan hikmat sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul

“Pengembangan Model Sistem Dinamik Untuk Menganalisis Dampak Implementasi Adaptive Traffic Control System Dalam Meningkatkan Efektivitas Sistem Transportasi. (Studi Kasus: Surabaya)”.

Tugas Akhir adalah salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir banyak mendapatkan bantuan berbagai pihak, sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan berkah dan rahmat-Nya selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
2. Ibu Mahendrawati ER, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Sistem Informasi ITS Surabaya.
3. Ibu Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak pengetahuan dan pemahaman baru bagi penulis.
4. Ibu Renny Pradina Kusumawardani S.T., M.T selaku dosen wali penulis yang sejak awal penulis berstatus mahasiswa telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan bagi penulis dan membantu penulis dalam hal memberikan motivasi sehingga penulis memiliki determinasi tinggi selama mengerjakan Tugas Akhir.
5. Kedua Orang Tua tercinta, Bapak Efylyk Gariato dan Ibu Nurmeini serta Emak Djasmani yang telah mengajarkan banyak sekali ilmu, memberikan pengertian dan motivasi tambahan serta menjadi motivasi penulis untuk selalu memberikan yang terbaik dalam Tugas Akhir ini.

6. Saudara dan kerabat tercinta yang senantiasa mendoakan kelancaran serta kesuksesan penulis.
7. Rekan – rekan residen dan asisten laboratorium penelitian Sistem Enterprise (SE) yang, meskipun memiliki beban Tugas Akhir yang sama, tetap berjasa besar membantu proses administrasi Tugas Akhir
8. Teman – teman Lannister yang telah memberikan dukungan kepada penulis dan memberikan berbagai macam kenangan menyenangkan yang tak akan dilupakan penulis
9. Seluruh *civitas akademika* Departemen Sistem Informasi ITS lainnya, dan seluruh pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dan telah memberikan dukungan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
10. Dyah yang selalu memberikan motivasi dan menenangkan dalam pengerjaan Tugas Akhir
11. Kawan-kawan ngeriwuki, koncokenthel, expanding brain, perusahaan pahlawan yang selalu menghibur saat susah
12. Ilham Cahya Suherman
13. Mr. Larry Page dan Mr. Sergey Brin

Diharapkan tulisan ini dapat membawa kebermanfaatan bagi orang yang membaca, lingkungan sekitar serta penelitian dan pengembangan ilmu di masa depan. Laporan ini masih jauh dari kesempurnaan karena kesempurnaan sejatinya hanya milik Allah SWT. Saran dan kritik yang konstruktif dari semua pihak sangat diharapkan demi perbaikan selanjutnya

Surabaya, 1 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Permasalahan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Relevansi.....	4
1.7 Target Luaran.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	7
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Kemacetan Lalu Lintas.....	9
2.2.2 Biaya Operasional.....	10
2.2.3 Waktu Tempuh.....	11
2.2.4 Efektivitas Sistem Transportasi.....	12
2.2.5 Simulasi.....	13
2.2.6 Model Simulasi.....	14
2.2.7 Model Sistem Dinamik.....	15
BAB III METODOLOGI.....	17
3.1 Diagram Metodologi.....	17
3.2 Uraian Metodologi Penelitian.....	18
3.2.1 Identifikasi Masalah.....	18
3.2.2 Studi Literatur.....	18
3.2.3 Mengumpulkan Data dan Informasi.....	18
3.2.4 Pengolahan Data.....	19
3.2.5 Membuat Model Dinamik.....	19

3.2.6 Melakukan Validasi Model	23
3.2.7 Penyusunan Laporan Tugas Akhir	24
BAB IV PERANCANGAN	27
4.1 Pengambilan dan Pengolahan Data	27
4.1.1 Data Investasi Infrastruktur Kota Surabaya	27
4.1.2 Data demand Lalu Lintas	29
4.1.3 Data Korban Kecelakaan.....	30
4.2 Struktur Sistem.....	31
4.2.1 Boundary Adequacy.....	32
4.2.2 Structure Verification.....	32
4.3 Feedback Loop.....	33
4.3.1 Loop B1.....	33
4.4 Submodel	33
4.4.1 Transportation Supply	33
4.4.2 Economy	33
4.4.3 Population	34
4.4.4 Transportation Demand.....	34
4.4.5 Number of Vehicle.....	36
4.4.6 Congestion	36
4.4.7 Mobility.....	36
4.4.8 Safety	37
4.4.9 Economic Performance	37
4.5 Analisis Kondisi Saat Ini (Base Model).....	38
4.5.1 PDRB	38
4.5.2 Penduduk.....	39
4.5.3 Panjang Jalan.....	39
4.5.4 Jumlah Mobil	40
4.5.5 Jumlah Korban Kecelakaan.....	40
4.5.6 Biaya Operasional	41
4.5.7 Congestion Cost	42
4.5.8 Congestion Index	42
4.6 Uji Validasi Behavioral.....	43
4.6.1 PDRB	43
4.6.2 Penduduk.....	44
4.6.3 Panjang Jalan.....	45
4.6.4 Jumlah Mobil	46
4.6.5 Jumlah Korban Kecelakaan.....	46

BAB V PEMBENTUKAN SKENARIO DAN ANALISIS HASIL.....	49
5.1 Pengembangan Skenario.....	49
5.1.1 Skenario Batas Maksimum Kecepatan	51
5.1.2 Skenario Certificate of Entitlement.....	53
5.1.3 Skenario Transit Oriented Development.....	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	63
6.1 Kesimpulan	63
6.2 Saran	64
6.2.1 Saran Bagi Akademisi.....	65
6.2.2 Saran Bagi Pemerintah Kota.....	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN A. DATA ANALISIS MODEL KONDISI SAAT INI.....	73
LAMPIRAN B. DATA UJI VALIDASI.....	77
BIODATA PENULIS	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema dalam mempelajari sistem	15
Gambar 2.2 Contoh Causal Loop Diagram	16
Gambar 3.1 Diagram metodologi.....	17
Gambar 3.2 langkah membuat model dinamik	19
Gambar 3.3 Diagram <i>Causal Loop</i> Umum	21
Gambar 4.1 Diagram <i>Causal Loop</i> Umum	31
Gambar 4.2 Diagram Flow sistem transportasi	35
Gambar 4.3 Grafik Hasil Simulasi PDRB Surabaya	38
Gambar 4.4 Grafik Simulasi Populasi Surabaya.....	39
Gambar 4.5 Grafik Simulasi Panjang Jalan Surabaya.....	39
Gambar 4.6 Grafik Simulasi Jumlah Mobil Surabaya	40
Gambar 4.7 Grafik Simulasi Jumlah Korban Kecelakaan	41
Gambar 4.8 Biaya Operasional	41
Gambar 4.9 Penghematan Biaya Akibat ATCS	42
Gambar 4.11 Tingkat Kemacetan Surabaya.....	43
Gambar 4.12 Validasi PDRB	44
Gambar 4.13 Validasi Populasi	44
Gambar 4.14 Validasi Panjang Jalan.....	45
Gambar 4.15 Validasi Jumlah Mobil	46
Gambar 4.16 Validasi Korban Kecelakaan	47
Gambar 5.1 Skenario Batas Kecepatan	49
Gambar 5.2 Skenario Certificate of Entitlement	50
Gambar 5.3 Skenario Transit Oriented Development	51
Gambar 5.4 Skenario Batas Maksimum Kecepatan	52
Gambar 5.5 Skenario Jumlah Kendaraan	54
Gambar 5.6 Skenario <i>Road Length</i> Kota Surabaya.....	56
Gambar 5.7 Skenario Congestion Index Surabaya.....	57
Gambar 5.8 Skenario Biaya Operasional per Tahun	59
Gambar 5.9 Skenario Biaya Kemacetan	61

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Literature Review Paper 1	7
Tabel 2.2 Literature Review Paper 2	8
Tabel 2.3 Literature Review Paper 3	8
Tabel 2.4 KPI Efektivitas Sistem Transportasi	13
Tabel 4.1 PDRB Kota Surabaya.....	27
Tabel 4.2 Investasi Infrastruktur Kota Surabaya.....	28
Tabel 4.3 Panjang Jalan Kota Surabaya	28
Tabel 4.4 Jumlah Kendaraan Roda 4	29
Tabel 4.5 Lalu Lintas Harian Rata Rata Kota Surabaya	29
Tabel 4.6 Populasi Kota Surabaya	30
Tabel 4.7 Korban Kecelakaan Surabaya	30
Tabel 4.13 <i>Boundary</i> Model Sistem Transportasi.....	32
Tabel 4.14 Struktur Yang diadopsi	32
Struktur.....	32
Tabel 4.8 Validasi PDRB	44
Tabel 4.9 Validasi Populasi.....	45
Tabel 4.10 Validasi Panjang Jalan	45
Tabel 4.11 Validasi Jumlah Mobil	46
Tabel 4.12 Validasi Korban Kecelakaan.....	47
Tabel 5.1 Perbandingan Hasil Skenario Batas Maksimum Kecepatan.....	52
Tabel 5.2 Perbandingan Hasil Skenario Jumlah kendaraan ...	54
Tabel 5.3 Perbandingan Hasil Skenario <i>Traffic Flow</i>	56
Tabel 5.4 Perbandingan Hasil Skenario Congestion Index	58
Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Skenario Biaya Operasional per Tahun.....	59
Tabel 5.6 Perbandingan Hasil Skenario Biaya Kemacetan per Tahun.....	61
Tabel A.1 Data PDRB	73
Tabel A.2 Data Penduduk	73
Tabel A.3 Data Panjang Jalan	73
Tabel A.4 Jumlah Mobil.....	74
Tabel A.5 Jumlah Korban Kecelakaan.....	74
Tabel A.5 Biaya Kemacetan.....	75
Tabel B.1 Data Validasi PDRB	77
Tabel B.2 Data Validasi Penduduk	77

Tabel B.3 Data Validasi Panjang Jalan	77
Tabel B.4 Data Validasi Jumlah Mobil	78
Tabel B.5 Data Validasi Jumlah Korban Kecelakaan	78

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah dan tujuan penelitian yang mendasari penelitian tugas akhir. Berdasarkan uraian pada bab ini, harapannya gambaran umum permasalahan dan pemecahan tugas akhir dapat dipahami.

1.1 Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas dapat didefinisikan sebagai penundaan pada kondisi lalu lintas yang diakibatkan oleh jumlah kendaraan yang akan menggunakan jalan melebihi kapasitas yang telah didesain untuk jaringan lalu lintas yang ada [1]. Selama beberapa tahun terakhir, kemacetan lalu lintas menjadi masalah serius di kota-kota besar di Indonesia, khususnya di Surabaya. Kemacetan lalu lintas seringkali dikaitkan dengan Padatnya transportasi di jalan raya akibat bertambahnya jumlah kendaraan bermotor [2], dan akibat bertambahnya jumlah populasi. Sayangnya infrastruktur yang ada tidak mampu untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Selain jumlah kendaraan bermotor, menurut Bando dan Hasebe, kemacetan dapat juga disebabkan oleh faktor lain. Faktor yang dimaksud ini adalah gangguan gangguan kecil yang tidak berasal dari penyebab yang spesifik seperti kecelakaan lalu lintas ataupun lampu lalu lintas pada persimpangan jalan [3]. Berdasarkan dishub Surabaya, sebelas lokasi rawan kemacetan di kota Surabaya. Lokasi tersebut yakni jl. Margomulyo, jl. Demak, jl. Dupak, jl. Diponegoro, jl. Menganti/Wiyung, jl. Kedung Cowek, jl. Panglima Sudirman, jl. Urip Sumoharjo, jl. Wonokromo, jl. Ahmad Yani, dan bundaran Waru [4]. Tiap *peak time* pada hari kerja biasa pada lokasi-lokasi tersebut, waktu tempuh kendaraan roda empat dapat bertambah satu hingga dua jam dibandingkan pada waktu normal dengan kecepatan rata-rata 28.96 km/jam [2]. Menurut lembaga statistik inrix, Surabaya termasuk 8 besar kota di Indonesia dengan waktu yang dihabiskan di kemacetan saat *peak time* bisa lebih tinggi 22 persen dari waktu normal dan sebesar 16 persen tiap hari jika di rata-rata. Sementara itu, rata-

rata lama waktu yang dihabiskan pengendara di kemacetan mencapai 37 jam setahun [5]. Berarti warga Surabaya menghabiskan tiga jam per bulan dalam kondisi kemacetan lalu lintas.

Kemacetan lalu lintas mengakibatkan waktu tempuh yang bertambah, biaya operasional yang bertambah akibat kecepatan kendaraan tidak mencapai kecepatan desain perencanaan [6]. Faktor yang terpengaruh seperti biaya bahan bakar, emisi gas buang akibat antrian di ruas jalan dan di persimpangan, dan stres bagi pengguna jalan terutama ketika volume kendaraan telah melebihi kapasitas ruas jalan. Kemacetan juga berdampak pada biaya keseluruhan dan produktivitas pelaku usaha bisnis dalam hal biaya pengiriman [1]. Selain itu, dampak buruk lain juga terkait dengan dampak kesehatan yang memburuk bagi publik sehingga meningkatkan risiko kematian dini sebagai akibat dari polusi partikel halus sebagai emisi dari gas buang kendaraan bermotor [7]. Dinas perhubungan Kota Surabaya telah melakukan instalasi ATCS (Adaptive Traffic Control System) sejak tahun 2012. Hingga tahun 2014, platform ATCS yang terhubung dengan server di control room sudah terpasang di 35 simpang jalan [8]. ATCS yang baru saja diterapkan dalam sistem tata ruang terintegrasi dalam struktur jaringan infrastruktur jalan dan komunikasi, berperan untuk mengurangi waktu tempuh dalam kota Surabaya, meningkatkan keselamatan lalu lintas, serta menjaga kelestarian lingkungan dengan mengurangi polusi kendaraan akibat antrian kendaraan [9]. ATCS (Adaptive Traffic Control System) mengurangi akibat dari faktor-faktor yang telah disebutkan sebelumnya dengan mengimplementasikan sistem cerdas untuk melakukan pengaturan nyala lampu lalu lintas secara real time berdasarkan kondisi lalu lintas saat itu, termasuk akibat kebutuhan khusus dan optimasi arus lalu-lintas secara total. ATCS memiliki prioritas untuk melakukan layanan manajemen lalu-lintas, manajemen informasi lalu-lintas, dan pemanfaatannya pada transportasi massal. Layanan manajemen lalu-lintas yang dimaksud adalah kendali lalu-lintas yang dapat beradaptasi

secara real-time, sinkronisasi dan kendali, pengawasan lalu-lintas baik secara visual maupun kendali lintasan secara manual.

Perlu dipahami bahwa Menurut data yang dilansir dari Badan Pusat Statistik Kota Surabaya pada tahun 2011, Jumlah kendaraan roda empat pada tahun 2010 adalah 275.930 unit. Hingga tahun 2015 kendaraan roda empat telah mengalami peningkatan hingga berjumlah 351.051 unit. Bertambahnya jumlah kendaraan berpotensi akan memicu peningkatan jumlah kejadian kecelakaan karena terjadi peningkatan kepadatan lalu lintas. Angka kecelakaan lalu lintas pada tahun 2007 hingga 2011, mengalami peningkatan dengan pertumbuhan rata-rata 15.3% per tahun dengan jumlah kejadian pada tahun 2011 berjumlah 1119 [10]. Namun berdasarkan data yang dilansir dari Informasi Data Pokok Surabaya 2014, jumlah pelanggaran kecelakaan turun menjadi 716 kejadian.

Penurunan angka kecelakaan tentu dipicu oleh berbagai macam faktor, namun sesuai dengan peran ATCS untuk meningkatkan keselamatan lalu-lintas, perlu dilakukan kajian terkait dampak ATCS terhadap peningkatan keselamatan lalu-lintas di kota Surabaya, termasuk juga terhadap tingkat mobilitas dalam kota. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan. Pada penelitian ini, peneliti mengembangkan model simulasi sistem dinamik untuk menganalisis dampak implementasi Adaptive Traffic Control System yang diterapkan oleh dinas perhubungan kota Surabaya terhadap lalu lintas dalam kota Surabaya. Metode simulasi model dinamik digunakan karena simulasi model dinamik mampu digunakan untuk menemukan dan merepresentasikan proses umpan balik yang kompleks yang, apabila digabungkan beserta struktur stok dan alirannya, waktu tunda, dan hal-hal nonlinier lain, dapat menentukan dinamika sistem tersebut [11]. Simulasi model dinamik juga dapat digunakan untuk memasukkan hubungan sebab akibat melalui diagram loop causal dengan mempertimbangkan faktor eksternal dan internal dengan dinamis. Model yang telah dibuat kemudian akan dilakukan analisis membandingkannya dengan indikator-indikator penting yang sudah ditentukan untuk mengukur

efektivitas sistem transportasi untuk mengetahui kinerja dari sistem transportasi dengan ATCS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah Bagaimana pengaruh implementasi ATCS (Adaptive Traffic Control System) dalam efektivitas sistem transportasi dalam kota

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan skenario model untuk menganalisis pengaruh implementasi ATCS (Adaptive Traffic Control System) dalam meningkatkan efektivitas sistem transportasi dalam kota Surabaya.

1.4 Batasan Permasalahan

Batasan permasalahan dari penelitian ini adalah lalu lintas dalam kota Surabaya

1.5 Manfaat

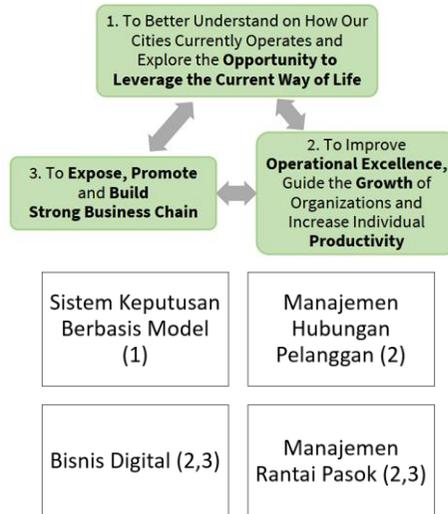
Manfaat yang diharapkan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah pihak berwajib, khususnya Dinas Perhubungan Kota Surabaya mendapatkan rekomendasi kajian dari peneliti mengenai pengaruh penerapan ATCS (Adaptive Traffic Control System) terhadap efektivitas sistem transportasi dan kecelakaan lalu lintas. Manfaat bagi akademisi yaitu:

- a. Mengenalkan model simulasi dinamik untuk mendukung pengambilan keputusan.
- b. Menjadi acuan dalam penelitian berikutnya mengenai simulasi sistem dinamik, maupun manajemen transportasi.
- c. Menjadi skenario acuan dalam pembahasan efektivitas sistem transportasi dalam kota Surabaya dengan kaitannya terhadap Adaptive Traffic Control System

1.6 Relevansi

Tugas Tugas Hasil dari tugas akhir diharapkan dapat digunakan untuk masukan bagi Dinas Perhubungan Kota Surabaya, sebagai masukan peneliti. Tugas akhir juga dapat digunakan

sebagai sumber pustaka untuk penelitian serupa selanjutnya mengenai ATCS (Adaptive Traffic Control System) dengan teknik model sistem dinamis, maupun teknik lain yang mungkin digunakan. Tugas akhir ini juga diharapkan mampu membantu Pemerintah Kota Surabaya dalam pengembangan ATCS (Adaptive Traffic Control System). Dengan tugas akhir ini, diharapkan implementasi ATCS di Surabaya semakin tertata dan analisis dampaknya makin menguatkan manfaat maupun kekurangannya apabila ATCS diimplementasikan. Topik tugas akhir ini terkait dengan mata kuliah yang ada di Departemen Sistem Informasi, yaitu Sistem Keputusan Berbasis Model. Topik tugas akhir juga sesuai dengan bidang ilmu yang terdapat di laboratorium Sistem Enterprise (SE) yaitu Infrastructure.



Gambar 1.1 Kerangka kerja riset laboratorium sistem enterprise

1.7 Target Luaran

Target luaran dari penelitian Tugas Akhir ini adalah skenario model efektivitas sistem transportasi dalam kota Surabaya, Buku Tugas Akhir ITS, dan Jurnal Sistem Informasi (SISFO).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Berikut adalah dasar teori dan studi pustaka lain yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir.

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang terkait dengan Tugas Akhir ini dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Literature Review Paper 1

Judul Penelitian	Faktor-faktor Yang Menyebabkan Kemacetan Lalu Lintas di Jalan Utama Kota Surabaya [2]
Penulis; Tahun	Rozari, Aloisius de Wibowo, Yudi Hari ; 2015
Deskripsi Umum Penelitian	Artikel ini meneliti faktor-faktor penyebab kemacetan lalu lintas di kota Surabaya, khususnya di ruas jalan A.Yani dan Raya Darmo. Menurut literatur ini, kemacetan disebabkan oleh transportasi umum yang belum memenuhi standar, volume kendaraan yang tidak seimbang dengan kapasitas jalan, dan masyarakat yang tidak tertib lalu lintas
Keterkaitan Penelitian	Keterkaitan paper ini adalah studi kasusnya yang bertempat di Surabaya dan masalah yang dianalisis, yaitu kemacetan lalu-lintas

Tabel 2.2 Literature Review Paper 2

Judul Penelitian	Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Yogyakarta [6]
Penulis; Tahun	Basuki, Imam Siswadi ; 2008
Deskripsi Umum Penelitian	Artikel ini meneliti dampak ekonomi yang ditimbulkan sebagai akibat dari dari kemacetan. Kerugian yang dimaksud hanya mencakup masalah pemborosan nilai operasi kendaraan. Menurut artikel ini, pemborosan yang terjadi pada satu ruas jalan padat selama satu jam dapat mencapai Rp. 11.282.482. dengan biaya kendaraan roda empat per km adalah 1.589,22 Rupiah
Keterkaitan Penelitian	Keterkaitan paper ini adalah pembahasan mengenai dampak ekonomi dan masalah yang dianalisis, yaitu kemacetan lalu-lintas

Tabel 2.3 Literature Review Paper 3

Judul Penelitian	Penerapan Sistem Dinamik Dalam Sistem Transportasi Cerdas Untuk mengurangi Kemacetan, Polusi dan meningkatkan Keselamatan Berlalu-Lintas[8]
Penulis; Tahun	Pamudi; 2005
Deskripsi Umum Penelitian	Artikel ini meneliti mengenai penggunaan model simulasi dinamik untuk memecahkan masalah sistem transportasi cerdas dengan studi kasus di

	Surabaya. Artikel ini mengembangkan model skenario yang mampu mengurangi kemacetan lalu lintas di Surabaya.
Keterkaitan Penelitian	Pada pengerjaan tugas akhir ini, digunakan metode simulasi model dinamik. Artikel ini juga menggunakan model dinamik untuk menyelesaikan masalahnya. Artikel ini juga menggunakan studi kasus Intelligent Transport System di Surabaya, sama dengan yang dibahas oleh tugas akhir ini.

2.2 Dasar Teori

Bab ini menjelaskan landasan teori yang digunakan oleh penulis pada penelitian tugas akhir.

2.2.1 Kemacetan Lalu Lintas

Kemacetan berasal dari kata macet. Menurut KBBI, macet berarti terhenti; tidak lancar [12]. Sedangkan kemacetan sendiri merupakan hal (keadaan) macet. Weisbrod mendefinisikan Kemacetan lalu lintas sebagai kondisi lalu-lintas yang tertunda, contohnya adalah ketika aliran lalu-lintas menjadi lambat dibawah kecepatan umumnya, karena jumlah kendaraan melebihi kapasitas desain dari jaringan lalu-lintas yang ada. Hoeve dalam ensiklopedia geografi juga mengatakan bahwa “Kemacetan merupakan masalah yang timbul akibat pertumbuhan dan kepadatan penduduk” [13]. Hal ini menyebabkan melambatnya arus kendaraan yang bergerak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kota dengan kepadatan

penduduk yang tinggi seperti Surabaya akan mengalami masalah kemacetan.

Kecelakaan lalu-lintas, persimpangan dan kondisi berkendara pada saat peak-time tentu juga akan menyebabkan kemacetan, namun kemacetan juga bisa terjadi tanpa ada faktor-faktor tersebut. seperti yang sudah dijelaskan oleh Bando dan Hasebe, kemacetan juga dapat disebabkan oleh gangguan kecil yang tidak terkait dengan penyebab yang spesifik seperti faktor yang telah disebutkan sebelumnya.

2.2.2 Biaya Operasional

Biaya merupakan suatu istilah yang sering digunakan oleh ahli ekonomi untuk melambangkan suatu masalah. Ketika suatu masalah tersebut dapat dilambangkan dengan biaya, maka hampir tentu bahwa masalah tersebut dapat dibuat model matematisnya dan dihitung untuk menyelesaikan masalah tersebut. Menurut Litman, biaya merujuk kepada pertukaran untung-rugi antar penggunaan suatu sumber daya [14]. Lebih lanjut Litman menjelaskan bahwa biaya dapat berupa uang, waktu, tanah, atau kehilangan kesempatan untuk mendapatkan keuntungan atau menghindari kerugian. Biaya dapat dibagi menjadi bermacam jenis yaitu:

2.2.2.1 Biaya internal, eksternal dan sosial

Biaya internal merupakan biaya yang ditanggung oleh pengguna, sedangkan biaya sosial adalah biaya total yang ditanggung oleh masyarakat, termasuk juga dampak internal dan eksternal

2.2.2.2 Biaya variabel dan tetap

Biaya variabel merupakan biaya tambahan yang terjadi karena perubahan tambahan pada cara konsumsi. Biaya tetap merupakan biaya yang tidak akan terpengaruh oleh tingkat konsumsi.

2.2.2.3 Biaya pasar dan non pasar

Biaya pasar meliputi barang yang diperjual-belikan di pasar yang kompetitif, contohnya adalah kendaraan dan tanah. Biaya non-pasar adalah biaya yang meliputi barang yang tidak

diperjual-belikan secara umum di pasar. Contohnya adalah udara bersih dan ketenangan.

2.2.2.4 Biaya yang dirasakan dan biaya sesungguhnya

Terkadang terdapat perbedaan antara biaya yang dirasakan dengan biaya sesungguhnya. Terkadang pengguna kurang menyadari biaya-biaya yang jarang dikeluarkan seperti biaya pemeliharaan kendaraan, perbaikan, dan penyusutan. Pengguna biasanya lebih sadar akan biaya-biaya yang langsung keluar seperti biaya bensin dan waktu perjalanan

2.2.2.5 Biaya langsung dan tidak langsung

Terdapat dampak yang terjadi secara tidak langsung dan menimbulkan biaya. Biaya dari dampak disebut yang disebut dengan biaya tidak langsung. Biaya tidak langsung memiliki beberapa langkah antar aktivitas dan luaran akhirnya.

2.2.2.6 Transfer ekonomi, biaya sumber daya, dan pajak

Transfer ekonomi meliputi perpindahan biaya atau keuntungan yang tidak mengubah jumlah total dari sumber daya yang tersedia. Transfer ekonomi dapat melibatkan biaya non-pasar. Misalnya kendaraan besar yang meningkatkan keamanan bagi penumpangnya namun meningkatkan risiko keamanan bagi pengguna jalan lain. Pajak harus diperhitungkan dengan khusus pada analisis biaya. Hal ini disebabkan terjadi transfer ekonomi antara pengguna dengan pemerintah. Biaya yang timbul akibat aktifitas transfer ekonomi seperti pada contoh diatas adalah biaya yang kemudian disebut dengan biaya sumber daya.

2.2.3 Waktu Tempuh

Waktu tempuh adalah waktu yang dihabiskan oleh pengendara dalam jaringan lalu-lintas untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat lain. Terdapat dua metodologi yang dapat digunakan untuk mengukur waktu tempuh, yakni pengukuran langsung dan perkiraan tidak langsung [15]. Pengukuran langsung didasarkan pada pengukuran waktu yang dibutuhkan oleh suatu kendaraan untuk berpindah dari suatu titik ke titik lain. Teknik yang dapat digunakan untuk mengumpulkan data ini adalah Automated Vehicle Identification, pelacakan dari telepon seluler, atau

pencocokan plat nomor. Perkiraan tidak langsung dilakukan dengan memperkirakan waktu tempuh berdasarkan karakteristik aliran lalu-lintas seperti kecepatan, aliran, dan kepadatan. Untuk mendapatkan data ini diperlukan algoritma khusus.

2.2.4 Efektivitas Sistem Transportasi

Performa dari suatu sistem dapat dibedakan menjadi efisiensi dan efektivitas. Definisi dari efektif sendiri adalah sesuatu yang menimbulkan dampak yang diharapkan. Efektivitas dapat dibedakan menjadi dua, yakni efektivitas operasional dan efektivitas layanan [16]. Pembuatan Key Performance Indicator (KPI) dapat digunakan untuk mengukur efektivitas sistem transportasi. Sulit untuk bisa menilai efektivitas suatu sistem transportasi secara global karena seringkali pembuatan KPI bersifat sangat subjektif terhadap kota yang membuatnya. Seringkali tiap kota memiliki KPI yang berbeda beda untuk memfasilitasi kebutuhannya masing-masing. Akibatnya KPI tersebut tidak dapat memberikan kesimpulan objektif mengenai suatu kebijakan atau teknologi tertentu yang memiliki dampak pada suatu kota, bisa memberikan dampak serupa pada kota lain [17]. Menurut Jeon, Guensler dan Amekudzi, untuk membangun sebuah sistem transportasi yang berkelanjutan, terdapat tujuan keberlanjutan dan dan pengukur kinerja yang dipilih. Salah satunya yakni dimensi efektivitas sistem transportasi. Efektivitas sistem transportasi kemudian dijabarkan menjadi dua tujuan. Tujuan tersebut adalah peningkatan mobilitas dan peningkatan performa sistem [18]. Sedangkan bagi departemen transportasi pemerintah negara australia, untuk mengukur efektivitas sistem transportasi yang telah dibuat, terdapat tiga tujuan. Tujuan tersebut adalah [19]:

- a. Sistem transportasi terintegrasi yang dapat memfasilitasi pertumbuhan ekonomi
- b. Standar kendaraan dan pengendara yang memenuhi kriteria minimum untuk mengantarkan pengendara dan kendaraan yang aman
- c. Sistem transportasi yang aman dan mudah untuk di akses

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yousaf M. Shah, indikator performa untuk mengukur kebijakan dan perencanaan transportasi dibagi menjadi delapan kategori. Kategorinya adalah sebagai berikut [20]:

- a. Keterjangkauan dan aksesibilitas
- b. Mobilitas
- c. Performa ekonomi
- d. Kualitas kehidupan
- e. Konservasi sumber daya dan lingkungan
- f. Keamanan, efisiensi operasional
- g. Performa dan kondisi infrastruktur

Apabila hendak disimpulkan dari ketiga penelitian yang telah disebutkan sebelumnya, maka dari semua indikator yang telah disebutkan terdapat indikator yang beririsan sehingga indikator yang tepat untuk mengukur suatu sistem transportasi adalah:

Tabel 2.4 KPI Efektivitas Sistem Transportasi

Variabel Efektivitas	Indikator Performa
Mobilitas	Congestion Time
Keamanan	Jumlah korban kecelakaan
Aksesibilitas	Rata-rata waktu perjalanan Rata-rata biaya yang dikeluarkan untuk transportasi
Performa Ekonomi	Biaya operasional yang timbul akibat kemacetan

2.2.5 Simulasi

Simulasi adalah proses mendesain model dari sebuah sistem yang nyata dan melakukan eksperimen dengan model tersebut demi memahami perilaku sistem, ataupun mengevaluasi berbagai macam strategi berdasarkan batasan yang telah ditentukan, untuk operasi dari sistem tersebut [21]. Simulasi dibangun pada tahap awal, yakni pada fase desain, dan akan diperbarui ketika terdapat perubahan pada sistem [22]. Hal ini menyebabkan model simulasi yang dapat digunakan untuk

analisis pada waktu yang singkat dan perubahan terhadap model simulasi mudah dilakukan. Model simulasi diklasifikasikan menjadi tiga tingkatan berdasarkan abstraksinya, yakni model dengan abstraksi tinggi, model dengan abstraksi sedang, dan model dengan abstraksi rendah [23]. Simulasi sendiri memiliki manfaat diantaranya untuk membantu membuat keputusan dan menciptakan sistem dengan kinerja tertentu. Simulasi juga memiliki beberapa kelebihan yakni unggul dibandingkan model matematis, dapat dilakukan eksperimen tanpa ada risiko nyata bagi sistem, dan dapat juga digunakan untuk studi karena variasi masukan yang beragam.

2.2.6 Model Simulasi

Model simulasi dapat dibagi menjadi tiga [22] yaitu:

2.2.6.1 Statistik dan dinamik

Model statistik tidak terpengaruh waktu, sedangkan model dinamik terpengaruh oleh perubahan waktu.

2.2.6.2 Kontinyu dan diskrit

Dalam model kontinyu, status sistem dapat berubah secara terus-menerus setiap saat. Contoh sederhana merupakan tingkat penyimpanan air ketika aliran air mengalir masuk dan keluar, dan juga ketika terjadi penguapan dan penyerapan air. Pada model diskrit, perubahan hanya terjadi pada titik waktu tertentu. Contohnya adalah mesin yang hidup dan mati pada interval waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Elemen kontinyu dan diskrit dapat digabungkan yang kemudian disebut dengan *mixed continuous-discrete models*. Contoh model ini adalah kilang minyak yang tekanan dalam bejananya terus menerus berubah dan mati secara diskrit.

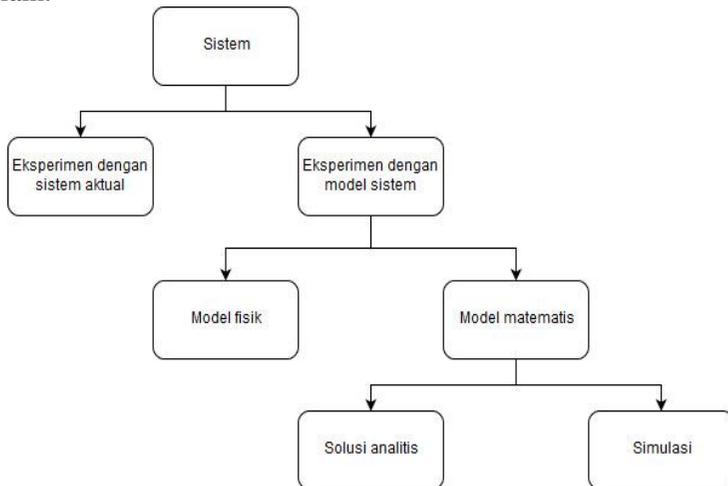
2.2.6.3 Deterministik dan stokastik

Model yang masukannya tidak acak disebut dengan model deterministik. Contohnya adalah penunjukan jam jaga kantor pos dengan waktu jaga yang telah ditentukan. Model stokastik beroperasi dengan beberapa masukan yang sifatnya acak. Contohnya adalah bank yang jumlah dan waktu kedatangan

pelanggannya terjadi secara acak dengan waktu pelayanan yang berbeda-beda.

2.2.7 Model Sistem Dinamik

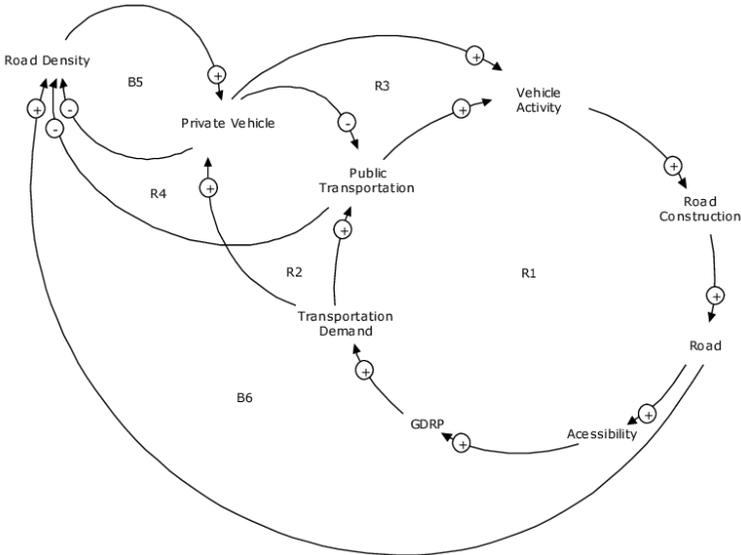
Pemodelan dapat diartikan sebagai suatu perwakilan atau abstraksi dari sebuah obyek atau situasi aktual. Maka dapat disimpulkan bahwa model tidak harus sama dengan benda aslinya, namun minimal memiliki kesamaan/keserupaan. Dalam membuat model harus dilakukan analisis terlebih dahulu. Model Sistem Dinamik adalah sebuah metode pemodelan sistem yang dikembangkan oleh Jay W. Forrester. Prinsip utama model ini adalah umpan balik yang berupa pengiriman dan pengembalian informasi [24]. Sebuah model dinamik merefleksikan perubahan melalui sebuah hubungan sebab-akibat dan berdasarkan waktu real dan interaksi dengan berbagai variabel lain.



Gambar 2.1 Skema dalam mempelajari sistem

Pada sistem dinamik, sebuah sistem atau problem, dapat dilambangkan dengan causal loop diagram. Causal loop diagram adalah diagram yang dapat digunakan untuk menggambarkan sebuah sistem dalam metode sistem dinamik. Ketika sebuah elemen sistem secara tidak langsung

memengaruhi dirinya sendiri seperti pada gambar 2.2 sistem yang terlibat itu disebut dengan causal loop diagram.



Gambar 2.2 Contoh Causal Loop Diagram

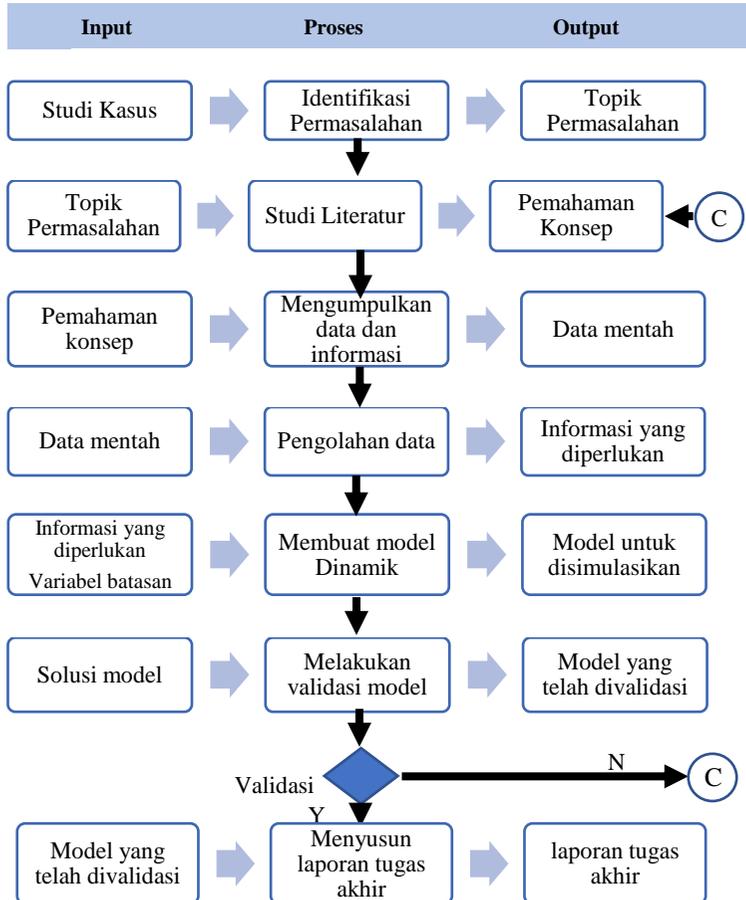
Pengembangan model dilakukan dengan membuat beberapa sub-model yang berkaitan erat dengan tujuan pembuatan model [24]. Variabel model sistem dinamik adalah Level, akumulasi aliran dari waktu yang terus berjalan, kemudian Rate yang melambangkan laju aliran, dan Auxilliary sebagai variabel bantu. Terdapat prinsip-prinsip untuk membuat model dinamik [11]. Yakni:

- Keadaan sebenarnya harus dibedakan dengan keadaan ideal
- Struktur stock and flow yang ada pada kenyataan harus dilibatkan dan dapat direpresentasikan dalam model.
- Membedakan aliran yang berbeda pada model
- Gunakan informasi yang memang sudah tersedia, kurangi asumsi dalam pemodelan keputusan
- Struktur pembuatan keputusan harus sesuai dengan kondisi praktis
- Model harus cukup kuat sehingga bisa beradaptasi pada kondisi-kondisi ekstrim

BAB III METODOLOGI

Bagian ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir dalam bentuk diagram beserta penjelasannya setiap langkah.

3.1 Diagram Metodologi



Gambar 3.1 Diagram metodologi

3.2 Uraian Metodologi Penelitian

Berdasarkan tahapan metodologi pada Gambar 3.1 penjelasan setiap tahap adalah sebagai berikut:

3.2.1 Identifikasi Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, yang pertama di lakukan adalah mengidentifikasi masalah yang terjadi. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya di latar belakang, salah satu permasalahan yang ada di Kota Surabaya saat ini adalah Kemacetan Lalu Lintas. Dinas Perhubungan Kota Surabaya telah mulai menginisiasi penggunaan ATCS untuk mengatur lalu lintas di Surabaya. Selanjutnya dampak implementasi ATCS ini yang akan diukur terhadap aksesibilitas, kemandirian lalu lintas, biaya dan mobilitas.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah kegiatan mengumpulkan pengetahuan dari berbagai referensi seperti buku pustaka, jurnal terkait, penelitian, dan data-data dari website yang terpercaya. Mengumpulkan pengetahuan dari sumber tertulis lain dilakukan untuk menunjang pengerjaan penelitian ini. Studi literatur tentunya menggunakan topik yang dipilih, yakni model simulasi tertentu untuk menganalisis lalu lintas di dalam kota Surabaya, dan sistem transportasi berbasis Intelligent Transport System.

Metode yang direkomendasikan untuk analisis topik tersebut adalah model simulasi dinamik, hal ini karena model dinamik cocok untuk kondisi dengan berbagai variabel tidak tetap.

3.2.3 Mengumpulkan Data dan Informasi

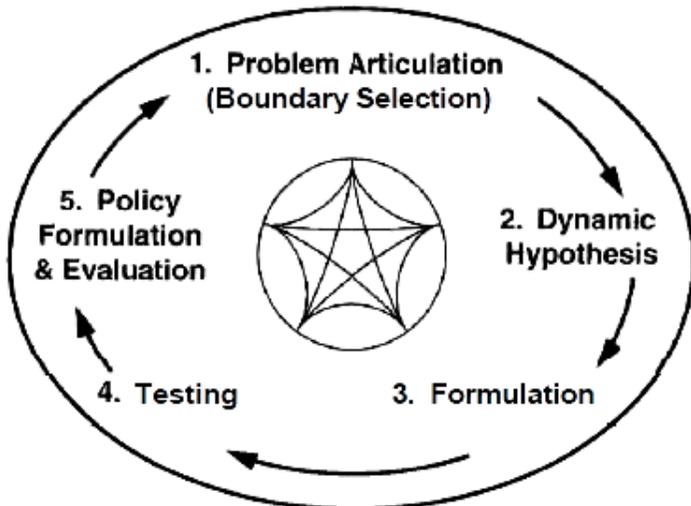
Pada Tahap ini, Data yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah dan berperan penting dalam pembuatan model dikumpulkan. Data dikumpulkan melalui berbagai cara: 1. Referensi, 2. Sumber resmi, 3. Penelitian sebelumnya.

3.2.4 Pengolahan Data

Data yang sudah dikumpulkan selanjutnya diolah dengan menggunakan *software spreadsheet* agar data tersebut dapat memenuhi kebutuhan dalam penentuan nilai parameter model, persamaan model, validasi model.

3.2.5 Membuat Model Dinamik

Pada bagan metodologi penelitian, untuk membuat Model Dinamik mengacu pada Sterman [11]:



Gambar 3.2 langkah membuat model dinamik

- a. Penjabaran masalah dan batasan masalah
 Proses ini meliputi identifikasi permasalahan, apa masalah yang akan dibahas dan mengapa masalah tersebut penting untuk dibahas. Setelah melakukan identifikasi permasalahan, dilakukan identifikasi variabel pokok yang harus dipertimbangkan, termasuk juga konsep-konsep penting yang akan digunakan. Setelah melakukan identifikasi variabel pokok, langkah berikutnya adalah menentukan batasan waktu untuk dan melakukan tinjauan masa lalu dari akar masalah yang dibahas dan perilaku sistem di masa depan. Pada penelitian ini, tema masalah adalah efektivitas sistem transportasi pasca implementasi ATCS.

Hal ini penting untuk dibahas karena pasca implementasi ATCS pada tahun 2012, Surabaya masih menjadi kota termacet ke-delapan di Indonesia [5]. Model simulasi dinamik digunakan untuk memodelkan sistem transportasi dalam kota Surabaya yang sudah disimplifikasi, dengan investasi ATCS untuk memahami dampak implementasi ATCS dibandingkan dengan indikator yang telah ditentukan pada bab sebelumnya. Model dasar akan menggunakan jangka waktu mulai tahun 2000-2018, sedangkan skenario model akan menggunakan jangka waktu yang lebih lama yakni 2000-2045.

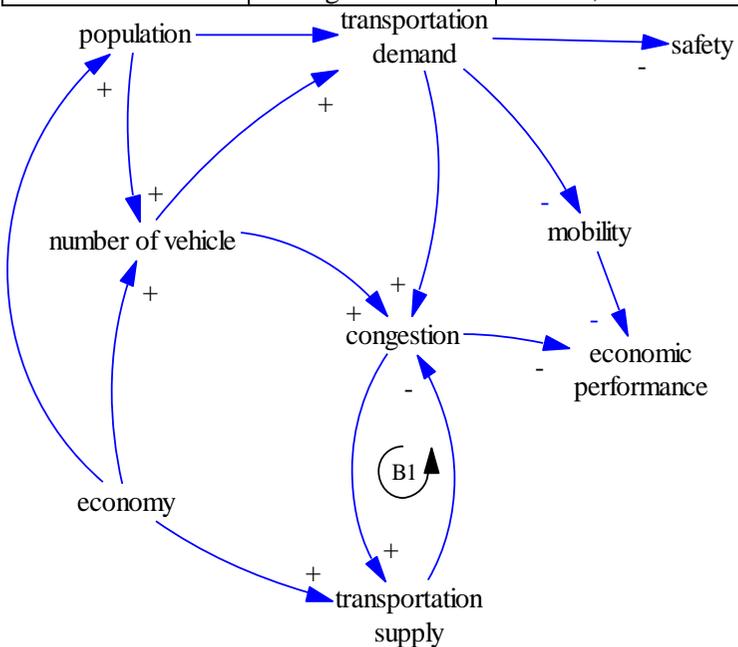
b. Perumusan Hipotesis Dinamis

Hipotesis dinamis merupakan teori awal mengapa masalah yang dimodelkan bisa muncul. Sehingga pada saat pembuatan model bisa fokus ke masalah yang ingin diselesaikan. Proses ini meliputi pembuatan hipotesis awal, kemudian merumuskan hipotesis dinamik yang menjelaskan dinamika sistem sebagai suatu konsekuensi internal dari struktur umpan balik. Setelahnya dilakukan pemetaan struktur kausal menggunakan alat yang ada, berdasarkan hipotesis awal yang telah ditentukan, variabel penting, dan data-data lain. Alat yang dimaksud seperti causal loop diagram dan stock flow diagram. Untuk memahami lebih jauh mengenai masalah yang akan diselesaikan, maka untuk menjelaskannya dapat menggunakan penjelasan secara endogen. Teori endogen menjelaskan dinamika suatu sistem melalui interaksi antar variabel yang ada di dalam sistem. Untuk memudahkan dibuat model boundary chart. Model boundary chart adalah tabel berisi variabel kunci endogen, eksogen, dan variabel yang tidak diikutsertakan pada model. Tabel ini berfungsi juga untuk menentukan scope model.

Tabel 3.1 Model Boundary Chart

Variabel	Tipe	Referensi
Kemacetan lalu-lintas	Endogen	Chao Wang, 2010 [25]. Chang et.al [26]. Louf &

Variabel	Tipe	Referensi
		Berthelemy, 2014.[27]
Populasi	Endogen	Chao Wang, 2010 [25]. Chang et.al [26]. Louf & Berthelemy, 2014.[27]
Biaya operasional	Endogen	Basuki, 2008. Louf & Berthelemy, 2014
Keamanan	Endogen	Chao Wang, 2010
Mobilitas	Endogen	Yousaf, 2013
Jumlah kendaraan	Endogen	Chao Wang, 2010
Performa ekonomi	Endogen	Basuki, 2008



Gambar 3.3 Diagram *Causal Loop* Umum

c. Perumusan Model Simulasi

Pada tahap ini dilakukan spesifikasi struktur dan aturan model, perkiraan parameter, behavioral relationship, dan initial conditions. Kemudian percobaan dilakukan terhadap model untuk mengetahui konsistensi model dengan batasan dan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

d. Pengujian Model

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap model yang dibuat. Pengujian dilakukan untuk menentukan validitas dari model yang telah dibuat. Meskipun validitas model sendiri masih menjadi bahan perdebatan panjang para peneliti, namun model tetap perlu diuji validitasnya karena model harus bisa diterima untuk penggunaan yang diinginkan (model sudah sesuai dengan dunia nyata) dan seberapa dapat dipercayakah kesimpulan dari model tersebut bisa merepresentasikan dunia nyata [28]. Pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan banyak teknik. Teknik yang akan digunakan untuk menguji model yang akan dibuat adalah teknik mean comparison dan comparison of amplitude variations [29]. Selain itu *structural validity* juga dilakukan.

e. Desain Dan Evaluasi Kebijakan

Pada tahap ini dilakukan spesifikasi skenario yang telah dibuat. Kemudian meninjau kembali desain kebijakan yang diterapkan; strategi yang digunakan, struktur yang mungkin diterapkan pada kehidupan nyata dan bagaimana cara merepresentasikannya dalam model. Setelah itu, dilakukan peninjauan dampak apabila model diterapkan dalam kehidupan nyata. Kemudian melakukan analisis sensitivitas dan terakhir meninjau interaksi yang mungkin dilakukan antar kebijakan yang mungkin diterapkan sebagai respon atas penerapan model dalam kehidupan nyata.

Model dinamik yang nantinya sudah dibuat kemudian akan digunakan untuk mengukur dampak implementasi ATCS, dibandingkan dengan menggunakan indikator performa yang sudah ditentukan sebelumnya, yakni terkait mobilitas, keamanan, keterjangkauan, dan performa ekonomi.

3.2.6 Melakukan Validasi Model

Validasi model dilakukan saat pengembangan model simulasi dengan tujuan untuk membuat model yang akurat dan dapat dipercaya, sehingga terdapat keyakinan bahwa model dibuat sudah mendekati keadaan nyata. Pada penelitian ini, digunakan teknik validasi model multistage validation yang dikemukakan oleh Naylor dan Finger. Naylor dan Finger, menggabungkan tiga metode yang kemudian menjadi multistage validation. metode yang dimaksud adalah rasionalisme, empirisme, dan ekonomi positif [30]. Metode ini kemudian menjadi tiga langkah validasi yang secara umum digunakan yakni membangun model dengan face validity yang tinggi, mengembangkan asumsi berdasarkan teori, observasi dan pengetahuan umum. melakukan validasi terhadap asumsi dari model yang telah dibuat ketika memungkinkan dengan cara dites secara empiris, kemudian membandingkan perubahan masukan-luaran dengan yang ada pada dunia nyata [31].

Membangun model dengan face validity yang tinggi berarti membangun model yang masuk akal dalam penilaian ahli. Output dari model yang telah dibuat kemudian harus masuk akal dan bereaksi sesuai dengan harapan. Dalam melakukan validasi terhadap asumsi yang dibuat, dilakukan dua buah proses untuk melakukan validasi yang dilakukan secara berulang: structural validity-behavior validity-structural validity.

Prosedur structural validity yang dilakukan, akan menunjukkan apakah model yang telah dibuat telah sesuai secara struktur dan merepresentasikan masalah yang sesungguhnya. Prosedur yang akan digunakan untuk melakukan tes ini mengacu pada Quadrat-Ullah [32] adalah sebagai berikut

- a. *Boundary Adequacy*
Memeriksa apakah konsep penting dan struktur yang digunakan untuk menyelesaikan masalah sistem, memang memengaruhi internal sistem
- b. *Structure Verification*

Memeriksa apakah struktur model sudah konsisten dengan sistem yang dimodelkan. Dibandingkan dengan pengetahuan relevan yang ada

Prosedur behavioral validity menilai bagaimana performa model bila dibandingkan dengan sistem yang ada di dunia nyata. Untuk itu dapat dilakukan perbandingan antar data yang dihasilkan oleh model dengan data historis dari sistem nyata, atau data dari waktu yang disimulasikan [28]. Untuk melakukan behavioral validation akan menggunakan tes sebagai berikut [33]:

a. Membandingkan Trend

Memberikan data yang relatif sesuai dengan cara memerkirakan trend dari dunia nyata yang diacu dari data model.

b. *Mean Comparison*

Membandingkan persen eror pada data rata-rata dengan menggunakan rumus

$$E_1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right|$$

\bar{S} : Nilai rata-rata hasil simulasi

\bar{A} : Nilai rata-rata Data

Model dianggap valid jika $E_1 \leq 5\%$

c. *Comparison of Amplitude Variations*

Membandingkan variasi luaran dari simulasi dengan menghitung persentase eror pada variasi (E_2) dengan rumus:

$$E_2 = \left| \frac{\bar{S}_s - \bar{S}_a}{\bar{S}_a} \right|$$

\bar{S}_s : standar deviasi hasil simulasi

\bar{S}_a : standar deviasi data

Model dianggap valid jika $E_2 \leq 30$

3.2.7 Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahap terakhir penelitian berupa pembuatan laporan tugas akhir sebagai bentuk dokumentasi bahwa tugas akhir telah terlaksana dengan baik. Laporan mencakup hal-hal sebagai berikut:

a. Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat pengerjaan tugas akhir.

b. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan penelitian-penelitian serupa yang telah dilakukan berikut juga teori – teori yang dapat menunjang permasalahan pada tugas akhir ini.

c. Bab III Metodologi

Bab ini menjelaskan tahapan – tahapan apa saja yang harus dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir.

d. Bab IV Perancangan

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian, bagaimana penelitian dilakukan, pemilihan objek penelitian, dan sebagainya.

e. Bab V Implementasi

Bab ini menjelaskan proses penelitian, langkah-langkah yang dilakukan, dan hal lain yang berkaitan dengan implementasi penelitian.

f. Bab VI Analisis dan Pembahasan

Bab ini membahas penyelesaian masalah yang dibahas pada penelitian tugas akhir ini.

g. Bab VII Kesimpulan dan Saran

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari penelitian dan juga rekomendasi yang ditujukan untuk penyempurnaan tugas akhir

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV PERANCANGAN

Pada bab ini tahap-tahap yang dilakukan dalam merancang sistem. Tahap-tahap tersebut adalah mengumpulkan data, membuat Causal Loop Diagram, membuat Stock Flow Diagram, melakukan validasi model, dan skenariosasi. Tiap tahap akan dikerjakan secara berurutan karena semuanya adalah bagian dari langkah proses yang saling berhubungan.

4.1 Pengambilan dan Pengolahan Data

Data yang dikumpulkan adalah data-data yang diperlukan oleh model untuk bisa menggambarkan keadaan sistem transportasi dalam kota secara keseluruhan. Data yang dikumpulkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

4.1.1 Data Investasi Infrastruktur Kota Surabaya

Mengetahui PDRB Kota Surabaya penting untuk dapat membandingkan PDRB historis dengan investasi infrastruktur yang dilakukan oleh Pemerintah Kota, sehingga model dapat menentukan jumlah investasi yang diperlukan untuk pengembangan infrastruktur per tahunnya. PDRB Kota Surabaya didapatkan dari BPS Kota Surabaya. Tabel 4.1 menunjukkan nilai PDRB Kota Surabaya tiap tahunnya. Tabel 4.2 menunjukkan investasi infrastruktur per tahun, sedangkan Tabel 4.3 menunjukkan panjang jalan per tahun Kota Surabaya.

Tabel 4.1 PDRB Kota Surabaya

Tahun	Nilai
2006	Rp. 141.867.507.100.000
2007	Rp. 160.291.829.874.340
2008	Rp. 181.108.918.136.937
2009	Rp. 204.629.520.134.903
2010	Rp. 231.204.741.000.000
2011	Rp. 261.772.342.400.000
2012	Rp. 293.180.803.800.000
2013	Rp. 327.802.039.600.000
2014	Rp. 365.350.944.400.000
2015	Rp. 406.223.500.000.000

Tahun	Nilai
2016	Rp. 451.383.240.000.000
2017	Rp. 495.043.300.000.000
2018	Rp. 551.945.520.134.903

Tabel 4.2 Investasi Infrastruktur Kota Surabaya

Tahun	Nilai
2007	Rp. 322.228.835.732
2008	Rp. 329.768.164.260
2009	Rp. 337.514.049.735
2010	Rp. 53.188.413.590
2011	Rp. 102.454.759.850
2012	Rp. 211.703.906.887
2013	Rp. 464.140.371.615
2014	Rp. 516.795.444.056
2015	Rp. 682.877.162.677
2016	Rp. 629.706.519.468
2017	Rp. 109.991.573.736
2018	Rp. 456.407.356.650

Tabel 4.3 Panjang Jalan Kota Surabaya

Tahun	Nilai (km)
2006	1325.19
2007	1356.39
2008	1388.32
2009	1421.00
2010	1426.15
2011	1426.65
2012	1427.76
2013	1677.98
2014	1679.31
2015	1678.31
2016	1679.64
2017	1689.29
2018	1733.50

4.1.2 Data *demand* Lalu Lintas

Untuk mengukur kebutuhan transportasi menggunakan model, beberapa tipe data diperlukan. Data-data tersebut adalah data jumlah kendaraan roda empat di Surabaya yang didapatkan dari publikasi Badan Litbang Jawa Timur. Data berikutnya yang diperlukan untuk mengukur kebutuhan transportasi adalah Lalu Lintas Harian rata-rata, bisa didapatkan dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya. Populasi Kota Surabaya bisa didapatkan dari website resmi dispendukcapil Kota Surabaya.

Tabel 4.4 Jumlah Kendaraan Roda 4

Tahun	Nilai
2006	327748
2007	344845
2008	362834
2009	381762
2010	401676
2011	422630
2012	444676
2013	467873
2014	492279
2015	517959
2016	546911
2017	570571
2018	598859

Tabel 4.5 Lalu Lintas Harian Rata Rata Kota Surabaya

Tahun	Nilai
2006	2023556
2007	2168006
2008	2322767
2009	2488575
2010	2666220
2011	2856546
2012	3060458
2013	3264370
2014	3468282
2015	3699366
2016	3945848
2017	4208751

Tahun	Nilai
2018	4489172

Tabel 4.6 Populasi Kota Surabaya

Tahun	Nilai
2006	2623844
2007	2694252
2008	2766549
2009	2840786
2010	2917015
2011	2995290
2012	3124890
2013	3234180
2014	3319044
2015	3388642
2016	3457374
2017	3527646
2018	3587154

4.1.3 Data Korban Kecelakaan

Salah satu tolak ukur efektivitas sistem transportasi adalah tingkat *safety* yang diukur dengan jumlah korban kecelakaan per tahun. Angka ini tentu juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti jumlah populasi dan kebutuhan transportasi per tahunnya. Berikut adalah data korban kecelakaan Kota Surabaya mulai tahun 2006 hingga 2018

Tabel 4.7 Korban Kecelakaan Surabaya

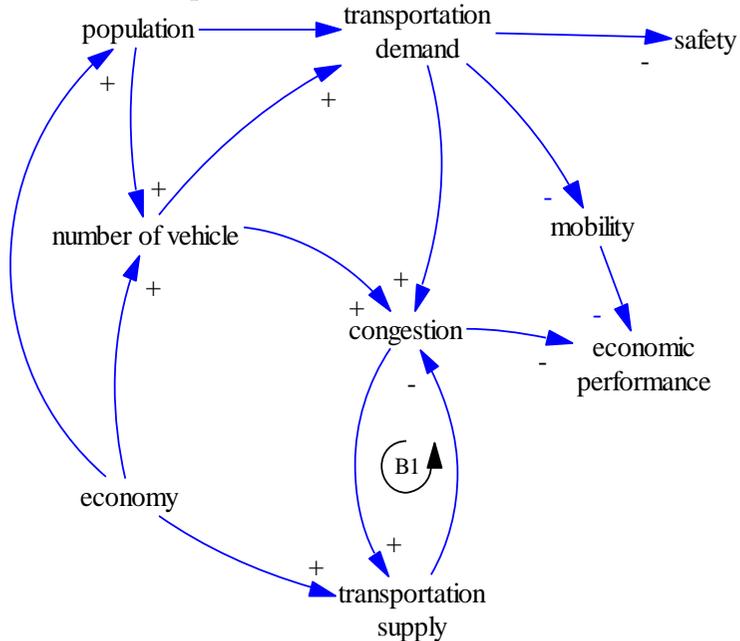
Tahun	Nilai
2006	900
2007	964
2008	854
2009	1094
2010	941
2011	1621
2012	1621
2013	1505
2014	1003
2015	1193

Tahun	Nilai
2016	1273
2017	1358
2018	1448

4.2 Struktur Sistem

Sistem transportasi adalah sistem yang sangat kompleks dan dipengaruhi oleh bermacam hal seperti populasi, ekonomi, dan faktor transportasi. Pada struktur model ini terdapat sembilan submodel. Gambar 4.1 menjelaskan hubungan yang dimiliki antar submodel.

Submodel populasi, ekonomi, dan jumlah kendaraan merupakan submodel yang secara kuantitatif paling berpengaruh terhadap model secara keseluruhan dan berpengaruh besar pada kebutuhan transportasi, dan kemacetan lalu-lintas.



Gambar 4.1 Diagram *Causal Loop* Umum

4.2.1 *Boundary Adequacy*

Validasi ini memeriksa apakah konsep penting dan struktur yang digunakan untuk menyelesaikan masalah sistem, memang memengaruhi internal sistem untuk melakukannya. Variabel-variabel penting sudah di tentukan pada tabel 4.13

Tabel 4.13 *Boundary Model Sistem Transportasi*

Variabel	Tipe	Referensi
Kemacetan lalu-lintas	Endogen	Chao Wang, 2010 [25]. Chang et.al [26]. Louf & Berthelemy, 2014.[27]
Populasi	Endogen	Chao Wang, 2010 [25]. Chang et.al [26]. Louf & Berthelemy, 2014.[27]
Biaya operasional	Endogen	Basuki, 2008. Louf & Berthelemy, 2014
Keamanan	Endogen	Chao Wang, 2010
Mobilitas	Endogen	Yousaf, 2013
Jumlah kendaraan	Endogen	Chao Wang, 2010
Performa ekonomi	Endogen	Basuki, 2008

4.2.2 *Structure Verification*

Validasi ini memeriksa apakah struktur model sudah relevan dengan pengetahuan yang ada dan konsisten dengan sistem yang dimodelkan. Data yang digunakan adalah data studi kasus yakni data publikasi resmi dari Kota Surabaya. Sub model yang digunakan juga merupakan sub model dari referensi dengan topik serupa seperti yang dijelaskan pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Struktur Yang diadopsi

Struktur	Penjelasan
<i>Urban Transportation System</i> [25]	Mengadopsi struktur submodel PDRB dan kebutuhan transportasi

<i>Road Safety Dynamic Simulation Models</i> [34]	Mengadopsi struktur submodel untuk safety
---	---

4.3 Feedback Loop

Causal loop utama yang terdapat pada model dijelaskan sebagai berikut:

4.3.1 Loop B1

Congestion → (+) transportation supply → (-) congestion

Kemacetan akan mendorong pemerintah untuk menambah stok transportasi dalam bentuk infrastruktur transportasi. Semakin banyak infrastruktur transportasi akan mengurangi kemacetan.

4.4 Submodel

Pada bagian ini, variabel dan parameter yang relevan terhadap studi kasus ditentukan, dan diagram flow dibuat.

4.4.1 Transportation Supply

Stok transportasi melambangkan tingkat pembangunan infrastruktur transportasi yang dinamis mengikuti berbagai faktor yang memengaruhinya. Total panjang jalan menggunakan variabel jenis level dengan rate IRL (*increment of road length*). Variabel lain adalah *rate of investment from GDP*, *Transportation investment*, IPK (*investment per kilometer*), VKTC (*VKT Capacity*).

$$TI = \text{Rate of investment} * GDP$$

$$IRL = TI/IPK$$

$$VKTC = VKTPL * \text{panjang jalan}$$

VKTPL (VKT per lajur) didapatkan dari departemen transportasi Amerika Serikat.

4.4.2 Economy

Faktor ekonomi adalah salah satu faktor yang sangat memengaruhi perkembangan transportasi. Tingkat pertumbuhan ekonomi suatu daerah juga merupakan salah satu pemicu perkembangan infrastruktur yang dimiliki oleh daerah

tersebut. GPD menggunakan variabel level. Variabel lain yaitu GDP IR (*GDP Increase Rate*), *increment of GDP* dan GDPPC.

$$\text{GDP} = \text{GDP} + \text{I GDP}$$

$$\text{I GDP} = \text{GDP} * \text{GDP IR}$$

$$\text{GDPPC} = \text{GDP} / \text{Population}$$

Variabel GDP IR dikalkulasi dari data nyata studi kasus Kota Surabaya

4.4.3 *Population*

Populasi merupakan faktor pendorong utama pertumbuhan sebuah kota. Total kebutuhan transportasi dan pertumbuhan ekonomi kota sangat tergantung kepada nilai populasi sebuah kota. Nilai total populasi menggunakan tipe variabel level dengan variabel lain yaitu *birth rate*, *death rate*, *births*, *deaths*.

$$\text{Population} = \text{Births} - \text{Deaths}$$

$$\text{Births} = \text{Population} * \text{Birth rate}$$

$$\text{Deaths} = \text{Population} * \text{Death rate}$$

Licensed Driver dikalkulasi berdasarkan data nyata mengenai lalu-lintas dalam kota surabaya.

4.4.4 *Transportation Demand*

Faktor kebutuhan transportasi sangat tergantung kepada jumlah populasi. Variabel yang digunakan adalah *Average Annual Daily Traffic* (AADT), *AADT by Car*, *Population-AADT Rate*, VKT per tahun dan *Average Daily Trip* (ADT).

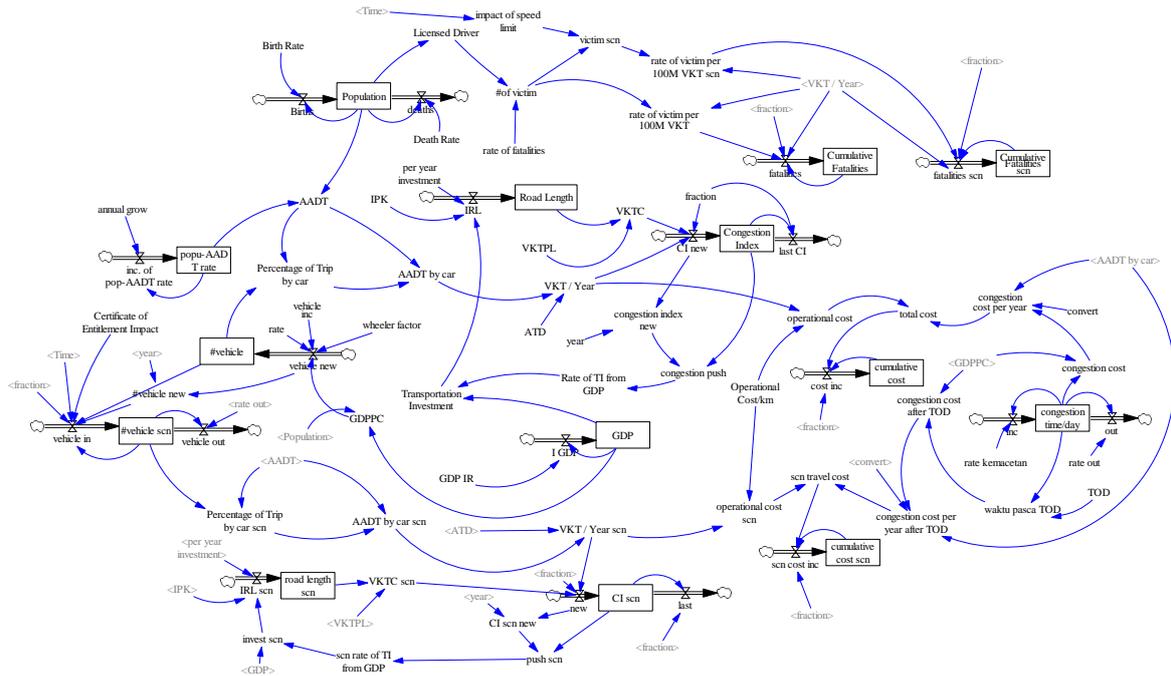
$$\text{PAADT Rate} = \text{PAADT Rate} + \text{inc. of PAADT Rate}$$

$$\text{inc. of PAADT Rate} = \text{PAADT Rate} * \text{annual growth}$$

$$\text{AADT by Car} = \text{percentage trip by car} * \text{AADT}$$

$$\text{VKT per year} = \text{AADT} * 365 * \text{ADT}$$

Annual growth dikalkulasi berdasarkan kondisi nyata studi kasus Kota Surabaya. Di Kota Surabaya AADT naik tiap tahun dan perbandingannya dengan jumlah populasi juga ikut naik. Menunjukkan kebutuhan transportasi yang meningkat tiap tahunnya. ADT dengan nilai 60 km didapatkan dari referensi [6]



Gambar 4.2 Diagram Flow sistem transportasi

4.4.5 *Number of Vehicle*

Jumlah kendaraan melambangkan kebutuhan transportasi dan juga melambangkan tingkat perkembangan sebuah kota. Namun bila pertumbuhan kendaraan tidak dikontrol maka hal ini akan menyebabkan tingkat kemacetan yang makin parah dan biaya operasional keseluruhan yang meningkat. Untuk mengukur jumlah kendaraan, pada model digunakan variabel level. Variabel rate nya adalah vehicle new. Variabel rate didapatkan dari analisis data GDPPC dengan pertumbuhan jumlah kendaraan.

#vehicle = vehicle new

Rate = random normal(0.000172, 0.000245 , 0.000207 , 2.6e-005, 100)

Vehicle new = gdppc*rate

4.4.6 *Congestion*

Kemacetan timbul akibat interaksi antar variabel jumlah kendaraan, *demand* dan populasi. Untuk mengukur tingkat kemacetan menggunakan variabel congestion index untuk menunjukkan tingkat kemacetan, dengan rate masuk CI new dan rate keluar Last CI.

Congestion index = CI new-last CI

Last CI = Congestion index

CI new = "VKT / Year"/365/VKTC

4.4.7 *Mobility*

Mobilitas dalam Kota Surabaya juga dapat digunakan untuk mengukur efektivitas sistem transportasi. Mobilitas dapat diukur dengan waktu perjalanan yang terjadi di dalam kota. Untuk mengukurnya digunakan variabel *congestion time/day*. Congestion time/day adalah waktu yang dihabiskan dalam kemacetan dengan satuan waktu “jam”. Rate masuknya inc

dengan rate keluar out. Rate penambahan waktu kemacetan adalah 1.14551.

congestion time/day = inc-out, 0.0227467

rate kemacetan = 1.14551

out = "congestion time/day"

inc = "congestion time/day"*rate kemacetan

4.4.8 *Safety*

Untuk mengukur efektifitas sistem transportasi, tingkat keamanan merupakan salah satu tolak ukur penting. Dalam mengukur tingkat keamanan suatu sistem transportasi dapat diukur dengan jumlah korban kecelakaan per tahun nya. Variabel yang digunakan adalah *number of victim*, *rate of victim per 100M VKT*, *rate victim/licensed driver* yang dikalkulasi dari data nyata Kota Surabaya.

Number of victim = licensed driver * rate victim/licensed driver
 RoV per 100M VKT = number of victim * 100000000/VKT per year

4.4.9 *Economic Performance*

Aksesibilitas moda transportasi dapat diukur dengan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perjalanan. Variabel yang digunakan untuk mengukurnya adalah biaya operasional per tahun dan biaya operasional yang berhasil dihemat sebagai akibat implementasi SCATS. Variabel yang digunakan adalah *operational cost*, *operational cost/km* sebesar 1589.22 rupiah didapatkan dari referensi [6]. Operational cost kemudian digabung dengan biaya kemacetan yang diwakilkan variabel *congestion cost per year* sehingga didapatkan variabel *total*

cost. Congestion cost per year didapatkan dari 25% penghasilan penduduk [35]

Operational Cost = "VKT / Year" * "Operational Cost/km"

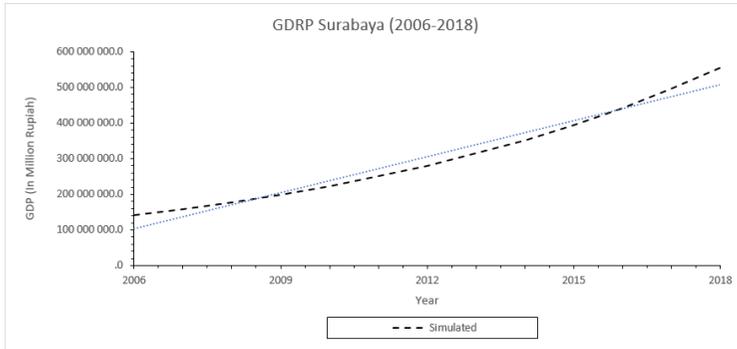
Congestion cost = total operational cost + annual cost

Total cost = total km wasted * operational cost per km

4.5 Analisis Kondisi Saat Ini (*Base Model*)

Pada sub bab ini, akan dilakukan analisis hasil dari model awal yang telah dibuat sebelum skenario. Analisis dilakukan untuk menjelaskan hasil yang didapatkan dari masing-masing submodel awal.

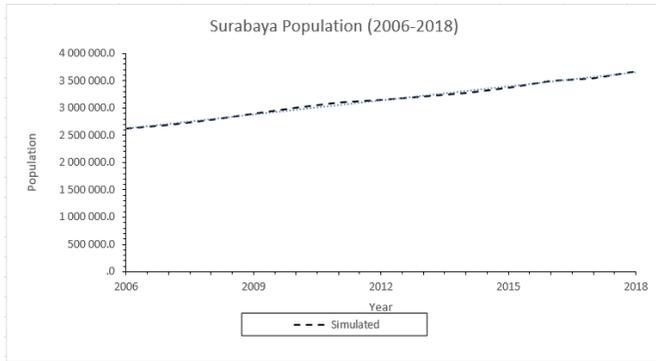
4.5.1 PDRB



Gambar 4.3 Grafik Hasil Simulasi PDRB Surabaya

PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) Surabaya ditampilkan oleh gambar 4.3 yang menunjukkan PDRB berada dalam tren yang terus meningkat. Hasil simulasi Pada tahun 2018 nilai PDRB Kota Surabaya mencapai Rp. 554.911.000.000.000,- dengan kenaikan rata-rata 12 persen tiap tahun.

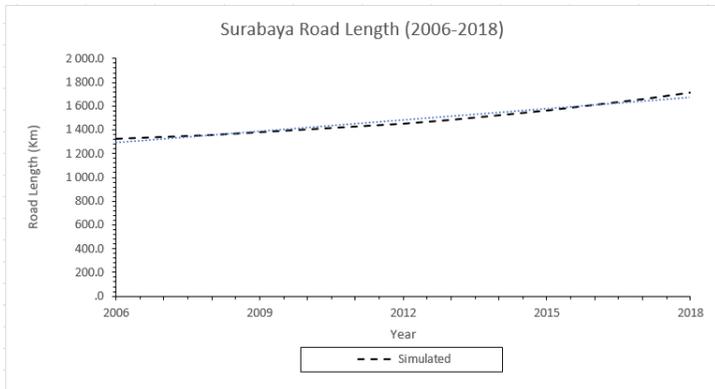
4.5.2 Penduduk



Gambar 4.4 Grafik Simulasi Populasi Surabaya

Jumlah penduduk Kota Surabaya memiliki trend yang seperti PDRB, meningkat tiap tahunnya. Pada tahun 2018 jumlah penduduk Kota Surabaya adalah 3.670.440 jiwa dengan kenaikan rata-rata sejak per tahun sebesar 2,84 persen.

4.5.3 Panjang Jalan



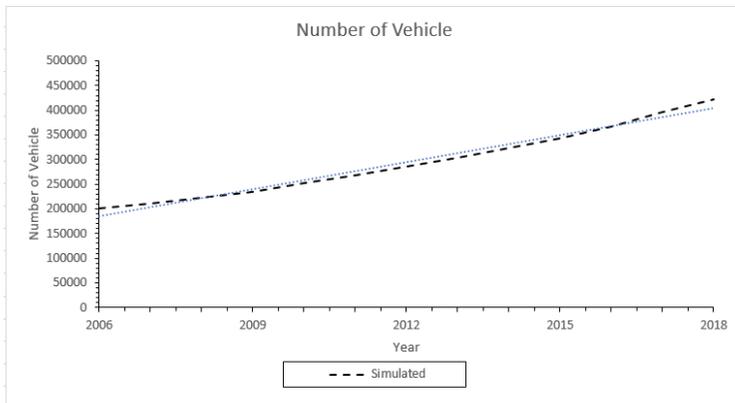
Gambar 4.5 Grafik Simulasi Panjang Jalan Surabaya

Panjang jalan normalnya akan bertambah hanya pada tahun tertentu namun data yang dihimpun dari publikasi resmi Pemerintah Kota Surabaya menunjukkan kenaikan tiap tahun. Simulasi mengikuti data yang ada sehingga hasilnya Kota Surabaya memiliki trend panjang jalan yang terus bertambah

tiap tahun. Karena nilai PDRB juga naik setiap tahun, akhirnya nilai investasi infrastruktur juga meningkat tiap tahunnya. Pada tahun 2018, panjang jalan di Kota Surabaya mencapai 1.713,9 km dengan pertumbuhan rata-rata dua persen.

4.5.4 Jumlah Mobil

Jumlah Kendaraan di Kota Surabaya memiliki trend untuk meningkat seiring peningkatan jumlah penduduk yang membuat kebutuhan transportasi semakin tinggi. Pada model simulasi, jumlah mobil mengalami trend meningkat hingga pada tahun 2018 jumlah mobil di Kota Surabaya sebanyak 423.146 unit dengan rasio pertumbuhan sebesar 6,43 persen.

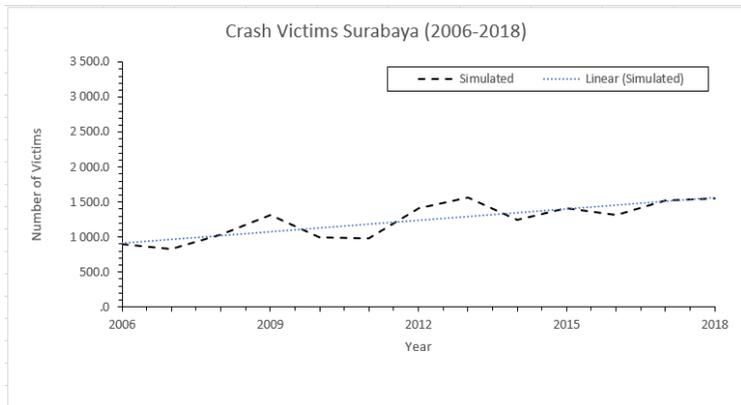


Gambar 4.6 Grafik Simulasi Jumlah Mobil Surabaya

4.5.5 Jumlah Korban Kecelakaan

Jumlah korban kecelakaan berkaitan erat dengan jumlah populasi dan kebutuhan transportasi Kota Surabaya. Jumlah korban kecelakaan fluktuatif namun memiliki trend yang terus meningkat. Jumlah tertinggi ada pada tahun 2013 dengan jumlah korban 1570 jiwa. Sedangkan jumlah korban terendah ada pada tahun 2007 sebesar 835 jiwa. Sesuai dengan trend yang

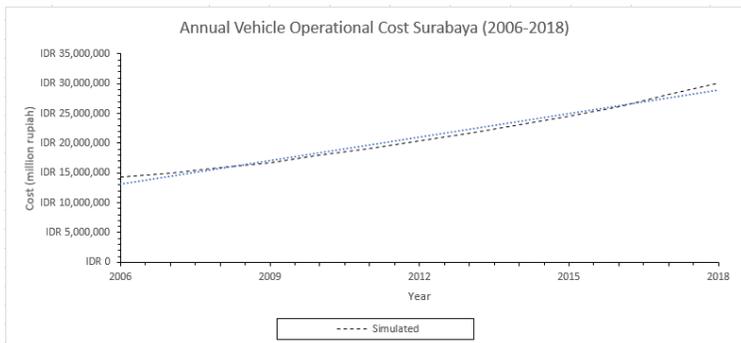
meningkat, penambahan korban kecelakaan memiliki rasio sebesar 6,4 persen.



Gambar 4.7 Grafik Simulasi Jumlah Korban Kecelakaan

4.5.6 Biaya Operasional

Biaya operasional adalah biaya per tahun yang dikeluarkan oleh penduduk Surabaya untuk melakukan kegiatan transportasi. Asumsi rata-rata jarak tempuh per hari 60 km didapatkan dari referensi [6]. Hasil simulasi menunjukkan hasil biaya operasional per tahun digambarkan dengan gambar 4.8



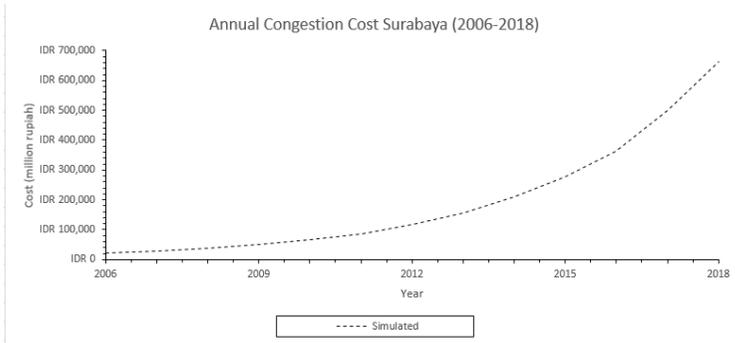
Gambar 4.8 Biaya Operasional

Gambar 4.8 menunjukkan tren biaya operasional yang meningkat dan cenderung mengalami peningkatan sebagai akibat dari pertumbuhan jumlah penduduk dan kebutuhan

transportasi yang ikut mendorong jumlah kendaraan meningkat. Total biaya tertinggi yang dikeluarkan oleh penduduk Kota Surabaya untuk melakukan kegiatan transportasi adalah Rp. 30.131.700.000.000,00 pada tahun 2018.

4.5.7 Congestion Cost

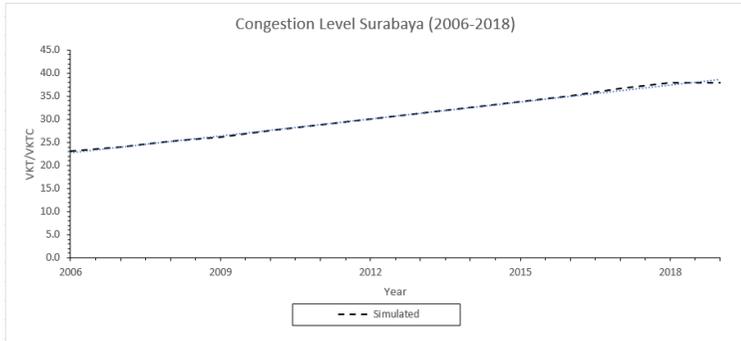
Biaya kemacetan adalah nilai biaya dari waktu yang dihabiskan oleh pengendara pada kondisi macet. Nilai biaya per jam didapatkan dari 25% GDPPC [35]. Waktu kemacetan didapatkan dari data yang disadur dari inrix. Biaya kemacetan terbesar adalah Rp. 661.877.000.000,00 pada tahun 2018. Apabila dibandingkan dengan biaya operasional per tahun, maka biaya kemacetan adalah dua persen.



Gambar 4.9 Penghematan Biaya Akibat ATCS

4.5.8 Congestion Index

Congestion index menunjukkan jarak perjalanan yang dilakukan oleh penduduk dibandingkan dengan kapasitas yang dimiliki oleh Kota Surabaya. Semakin kecil nilainya maka semakin baik tingkat kemacetannya. Gambar 4.11 menunjukkan hasil simulasi untuk *congestion index*.



Gambar 4.11 Tingkat Kemacetan Surabaya

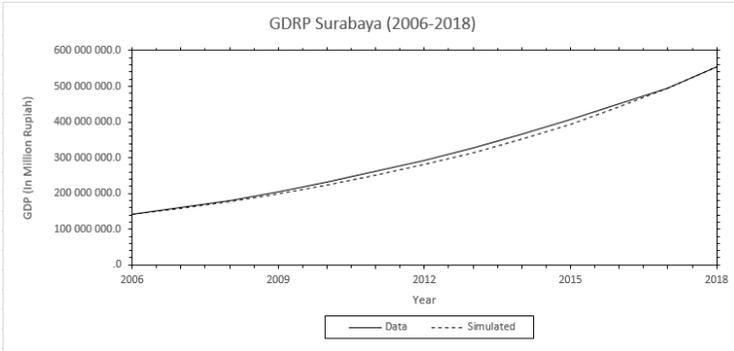
Trend kemacetan terus meningkat dengan angka tertinggi pada tahun 2018 adalah 37,9 dengan rata-rata peningkatan sebesar 4,175% per tahun.

4.6 Uji Validasi Behavioral

Proses ini menentukan apakah model simulasi yang telah dibuat sudah sesuai dan dapat merepresentasikan kondisi-kondisi dunia nyata dengan akurat. Validasi menggunakan *behavioral* dan *structural test*. Hasil simulasi yang diuji adalah PDRB, jumlah Penduduk, panjang jalan, jumlah korban kecelakaan, dan jumlah mobil.

4.6.1 PDRB

Gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan antara data PDRB dengan hasil simulasi. Grafik menunjukkan tidak ada perbedaan tren yang signifikan. Selain itu, hasil simulasi valid karena memiliki *mean comparison* dan *error variance* sesuai batas.



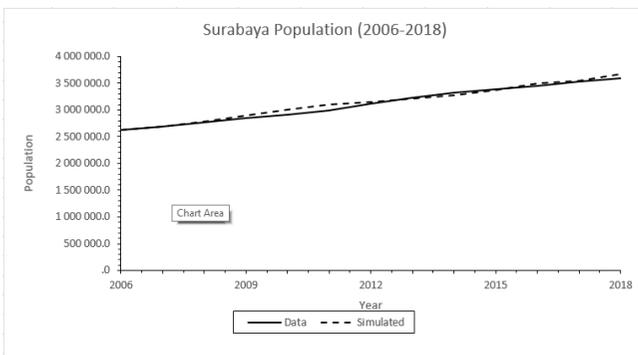
Gambar 4.12 Validasi PDRB

Tabel 4.8 Validasi PDRB

Mean Comparison	Error Variance
$\left \frac{306.641.500,5 - 313.422.356,3}{313.422.356,3} \right $	$\left \frac{133.471.837,4 - 133.277.990,4}{133.277.990,4} \right $
=2,16 %	=0,15 %

4.6.2 Penduduk

Gambar 4.13 menunjukkan grafik perbandingan antara data penduduk dengan hasil simulasi. Grafik tidak menunjukkan perbedaan trend yang signifikan. Hasil simulasi valid karena memiliki *mean comparison* dan *error variance* sesuai batas.



Gambar 4.13 Validasi Populasi

Tabel 4.9 Validasi Populasi

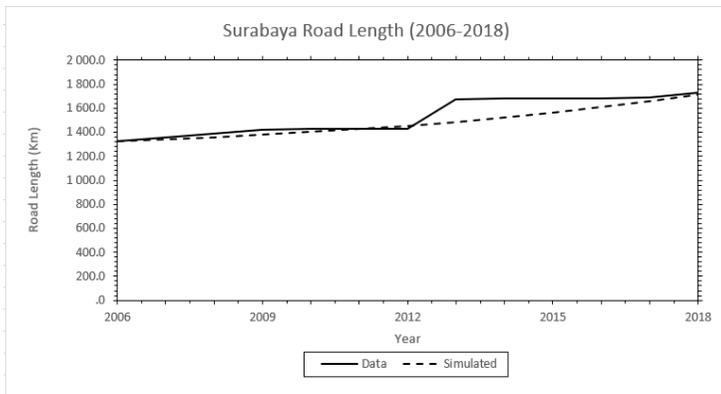
<i>Mean Comparison</i>	<i>Error Variance</i>
$\frac{ 314.910 - 311.590 }{311.590}$	$\frac{ 334.896,434 - 330.355,791 }{330.355,791}$
=0,91 %	=1,37 %

4.6.3 Panjang Jalan

Gambar 4.10 menunjukkan grafik perbandingan antara panjang jalan pada data dengan hasil simulasi. Hasil simulasi valid karena memiliki *mean comparison* dan *error variance* sesuai batas.

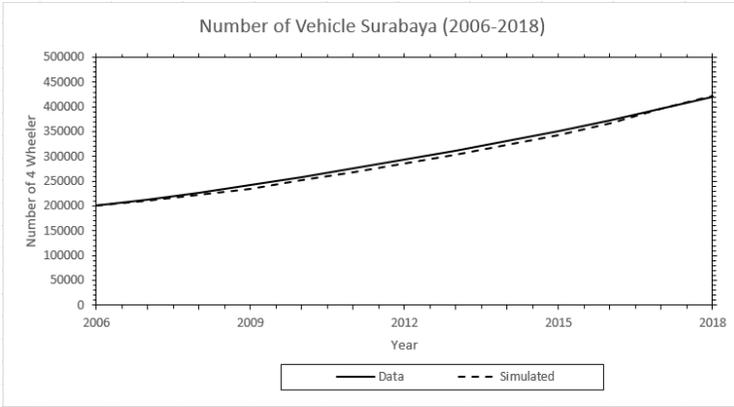
Tabel 4.10 Validasi Panjang Jalan

<i>Mean Comparison</i>	<i>Error Variance</i>
$\frac{ 1480,27 - 1531,13 }{1531,13}$	$\frac{ 125,43 - 155,29 }{155,29}$
=3,32 %	=19,23 %

**Gambar 4.14 Validasi Panjang Jalan**

Meskipun grafik menunjukkan ada perbedaan cukup besar pada tahun 2012 hingga tahun 2015 namun karena data asli menunjukkan peningkatan per tahun, dan hasil *Error Variance* masih berada dibawah angka 30% maka model tetap valid

4.6.4 Jumlah Mobil



Gambar 4.15 Validasi Jumlah Mobil

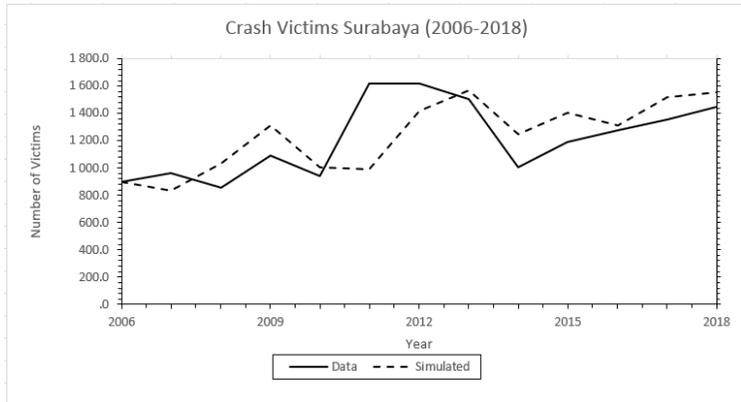
Gambar 4.11 menunjukkan grafik perbandingan antara jumlah mobil pada data dengan hasil simulasi. Hasil simulasi valid karena memiliki *mean comparison* dan *error variance* sesuai dengan batas.

Tabel 4.11 Validasi Jumlah Mobil

<i>Mean Comparison</i>	<i>Error Variance</i>
$\left \frac{294924 - 299839}{299839} \right $	$\left \frac{72.303,51 - 71.323,16}{71.323,16} \right $
=1,64 %	=1,37 %

4.6.5 Jumlah Korban Kecelakaan

Gambar 4.12 menunjukkan grafik perbandingan antara jumlah korban kecelakaan pada data dengan hasil simulasi. Hasil simulasi valid karena memiliki *mean comparison* dan *error variance* sesuai dengan batas.



Gambar 4.16 Validasi Korban Kecelakaan

Tabel 4.12 Validasi Korban Kecelakaan

<i>Mean Comparison</i>	<i>Error Variance</i>
$\frac{ 1239 - 1213 }{1213}$	$\frac{ 257,965 - 276,840 }{276,840}$
=2,11 %	=6,82 %

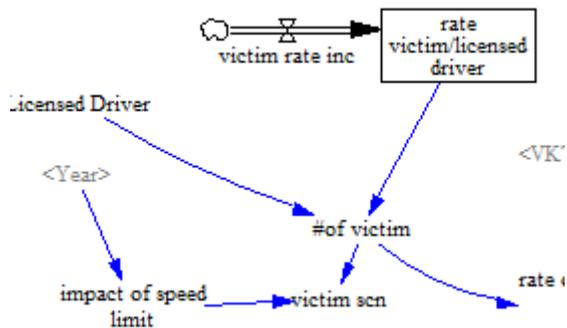
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PEMBENTUKAN SKENARIO DAN ANALISIS HASIL

Pada bab ini dijelaskan proses yang melatarbelakangi pembuatan skenario dan analisis hasil dari skenario yang diterapkan. Skenario dibuat dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja sistem.

5.1 Pengembangan Skenario

Tujuan dari pembuatan skenario adalah untuk memperbaiki kinerja sistem. Apabila skenario diterapkan, maka beberapa aspek pada sistem pasti akan terkena dampak dari skenario tersebut. Skenario dibuat dengan tujuan untuk mengurangi jumlah korban kecelakaan, menghemat biaya operasional, dan menekan angka kemacetan. Skenario mulai diterapkan pada tahun 2019. Skenario yang akan digunakan untuk menekan angka korban kecelakaan adalah penerbitan regulasi batas kecepatan maksimum yang juga ditegakkan regulasinya dengan bantuan speed camera dan pihak berwajib [36].



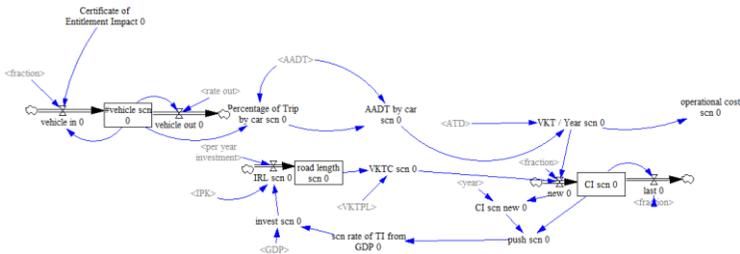
Gambar 5.1 Skenario Batas Kecepatan

Gambar 5.1 adalah skenario tambahan yang dilakukan untuk menekan angka korban kecelakaan. Karena laporan yang dibuat referensi sudah menunjukkan penurunan angka korban, maka dibuat variabel “impact of speed limit”. Variabel ini melambangkan dampak dari implementasi batas maksimum kecepatan. Kemudian didapatkan victim scn yang merupakan

jumlah korban kecelakaan jika menggunakan skenario. Variabel didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Victim scn} = \# \text{of victim} * \text{impact of speed limit} + \# \text{of victim}$$

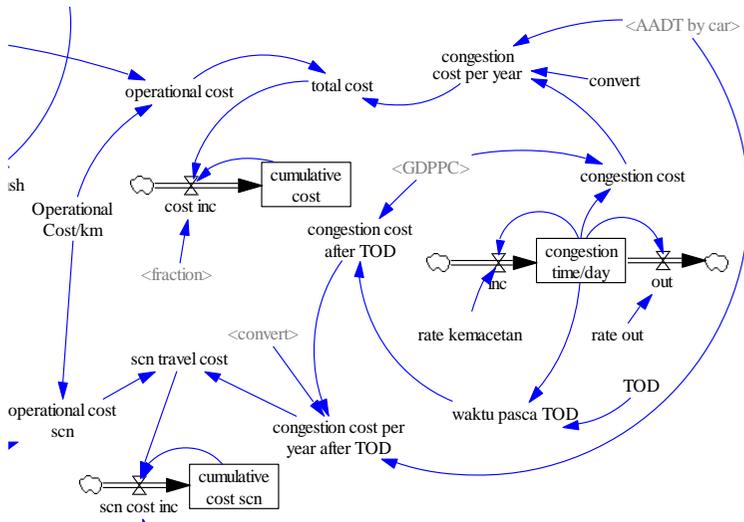
Untuk menekan angka kemacetan, dan menghemat biaya, skenario yang dilakukan adalah kebijakan pemerintah Singapura mempersulit kepemilikan kendaraan dengan menggunakan *Certificate of Entitlement* untuk menekan pertumbuhan kendaraan hingga 0.25% [37]. *Certificate of Entitlement* adalah sertifikat kepemilikan kendaraan baru yang diterbitkan oleh pemerintah dan diterbitkan secara terbatas tiap tahunnya sehingga pemerintah dapat mengontrol jumlah pertumbuhan kendaraan per tahunnya. Dengan demikian pemerintah memiliki kendali penuh atas jumlah kendaraan yang ada.



Gambar 5.2 Skenario Certificate of Entitlement

Pada skenario ini, terdapat variabel tambahan *Certificate of Entitlement Impact*. Variabel ini melambangkan perlambatan pertumbuhan jumlah kendaraan per tahunnya. Variabel diatur dengan nilai 0.0025 untuk melambangkan perubahan *annual growth* menjadi 0.25% per tahun.

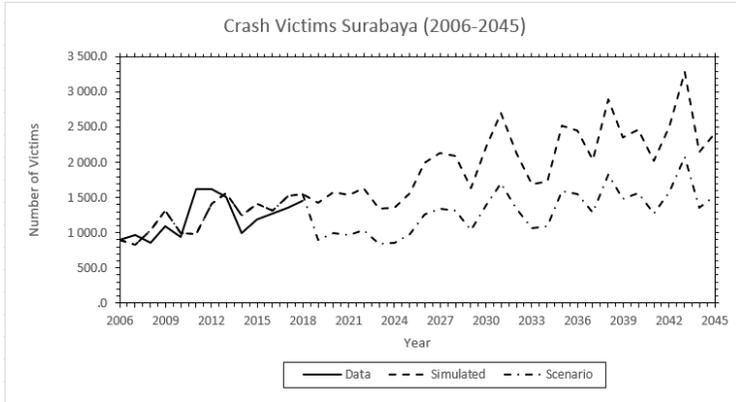
Untuk menekan biaya kemacetan, digunakan skenario pengembangan moda transportasi berbasis transit (*Transit Oriented Development*). Pengembangan transportasi berbasis transit seperti MRT dan BRT diklaim dapat mengurangi waktu kemacetan hingga 47% [38]. Waktu kemacetan yang berkurang menyebabkan biaya kemacetan yang juga ikut berkurang.



Gambar 5.3 Skenario Transit Oriented Development

5.1.1 Skenario Batas Maksimum Kecepatan

Skenario ini diterapkan dengan tujuan untuk mengurangi jumlah korban kecelakaan per tahunnya. Berdasarkan laporan dari tim peneliti Monash University [36], penerapan regulasi dan penegakannya berhasil secara signifikan mengurangi jumlah korban kecelakaan sebanyak 37% dari yang seharusnya. Penerapan regulasi batas maksimum kecepatan harus dibarengi dengan penegakan dengan cara pemasangan *speed camera* di titik titik penting dan peran dari pihak berwajib supaya dampak regulasi signifikan. Gambar 5.1 menunjukkan perbandingan antara jumlah korban kecelakaan pada data, hasil simulasi, dan hasil skenario. Simulasi skenario dilakukan mulai tahun 2019 hingga tahun 2045. Jumlah korban kecelakaan tetap pada trend naik karena jumlah populasi yang bertambah mengakibatkan kebutuhan transportasi yang juga bertambah. Namun dampak dari penerapan regulasi tampak bahwa angka korban kecelakaan lebih rendah daripada hasil simulasi.



Gambar 5.4 Skenario Batas Maksimum Kecepatan

Tabel 5.1 Perbandingan Hasil Skenario Batas Maksimum Kecepatan

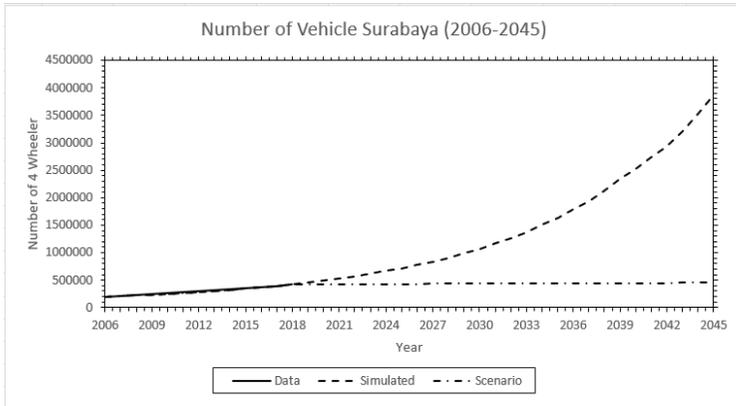
Tahun	Data	#of victim	Victim scn
2006	900	900	900
2007	964	835	835
2008	854	1.037	1.037
2009	1.094	1.314	1.314
2010	941	1.003	1.003
2011	1.621	989	989
2012	1.621	1.418	1.418
2013	1.505	1.570	1.570
2014	1.003	1.246	1.246
2015	1.193	1.406	1.406
2016	1.273	1.310	1.310
2017	1.358	1.522	1.522
2018	1.448	1.557	1.557
2019	-	1.420	895
2020	-	1.579	995
2021	-	1.537	968
2022	-	1.641	1.034
2023	-	1.338	843
2024	-	1.364	859
2025	-	1.570	989
2026	-	1.991	1.254
2027	-	2.130	1.342
2028	-	2.087	1.315

Tahun	Data	#of victim	Victim scn
2029	-	1.641	1.034
2030	-	2.228	1.403
2031	-	2.703	1.703
2032	-	2.134	1.344
2033	-	1.687	1.063
2034	-	1.736	1.094
2035	-	2.520	1.588
2036	-	2.454	1.546
2037	-	2.036	1.283
2038	-	2.902	1.829
2039	-	2.358	1.486
2040	-	2.474	1.559
2041	-	2.018	1.271
2042	-	2.505	1.578
2043	-	3.293	2.075
2044	-	2.153	1.356
2045	-	2.411	1.519

5.1.2 Skenario *Certificate of Entitlement*

Skenario *Certificate of Entitlement* diterapkan dengan tujuan untuk mengurangi jumlah kendaraan, yang pada akhirnya akan memberikan dampak terhadap tingkat kemacetan dan biaya operasional keseluruhan. Penerapan kebijakan ini dilakukan oleh pemerintah Singapura untuk menekan pertumbuhan kepemilikan kendaraan hingga 0,25% per tahunnya. *Certificate of Entitlement* adalah kebijakan yang membuat orang yang hendak memiliki mobil harus bersaing untuk mendapatkan sertifikat yang jumlahnya terbatas tersebut pada sebuah sistem lelang. Sertifikat tersebut bisa jadi memiliki harga yang lebih mahal dari harga kendaraan apabila *demand* sedang meningkat. Jumlah kendaraan memiliki trend yang naik tiap tahunnya. Jumlah kendaraan yang naik tiap tahun sejalan dengan jumlah populasi yang terus meningkat dan kebutuhan transportasi yang meningkat pula. Meskipun hasil skenario juga meningkat tiap tahun, namun perbandingannya dengan hasil simulasi sangat signifikan. Hasil tertinggi simulasi tanpa skenario menunjukkan jumlah kendaraan pada angka 3.875.880 unit. Sedangkan hasil

simulasi dengan skenario memiliki angka tertinggi 452.656 unit.



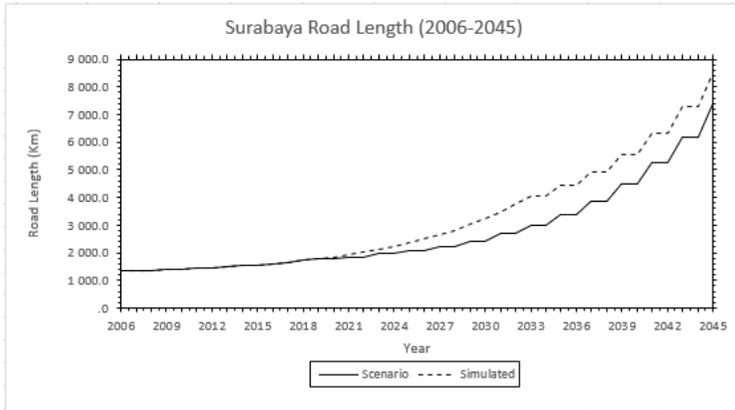
Gambar 5.5 Skenario Jumlah Kendaraan

Tabel 5.2 Perbandingan Hasil Skenario Jumlah kendaraan

Tahun	Data	#of car	#of car scn
2006	200.300	200.300	200.300
2007	213.552	210.050	210.050
2008	227.682	223.610	223.610
2009	242.746	235.341	235.341
2010	258.807	251.952	251.952
2011	275.930	268.067	268.067
2012	294.780	285.916	285.916
2013	311.582	303.991	303.991
2014	332.120	324.225	324.225
2015	351.051	343.945	343.945
2016	372.836	366.997	366.997
2017	395.973	396.473	396.473
2018	420.546	423.146	423.146
2019	-	455.634	424.204
2020	-	485.844	425.264
2021	-	525.319	426.328
2022	-	572.247	427.393
2023	-	616.687	428.462
2024	-	663.921	429.533
2025	-	710.037	430.607

Tahun	Data	#of car	#of car scn
2026	-	771.436	431.683
2027	-	827.471	432.763
2028	-	900.870	433.844
2029	-	984.288	434.929
2030	-	1.064.460	436.016
2031	-	1.170.180	437.106
2032	-	1.265.960	438.199
2033	-	1.366.390	439.295
2034	-	1.502.570	440.393
2035	-	1.635.080	441.494
2036	-	1.786.990	442.598
2037	-	1.940.330	443.704
2038	-	2.131.220	444.813
2039	-	2.337.810	445.925
2040	-	2.516.670	447.040
2041	-	2.738.520	448.158
2042	-	2.937.540	449.278
2043	-	3.216.850	450.401
2044	-	3.532.030	451.527
2045	-	3.875.880	452.656

Skenario yang telah diterapkan ini memberikan dampak secara tidak langsung terhadap panjang jalan Kota Surabaya yang dilambangkan dengan variabel *road length*. Panjang jalan terdampak karena sebagai akibat dari kemacetan yang mulai berkurang, maka insentif untuk melakukan pembangunan jalan berkurang menyebabkan pertumbuhan panjang jalan lebih kecil dari hasil simulasi tanpa skenario. Hasil tanpa skenario menunjukkan nilai tertinggi panjang jalan 8.484 km sedangkan hasil tertinggi skenario simulasi tertekan 12,72% di angka 7.405 km.



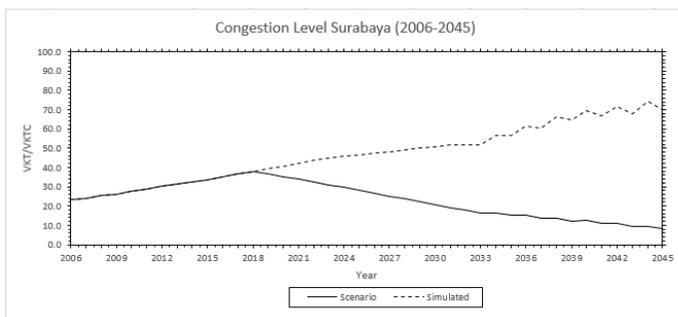
Gambar 5.6 Skenario *Road Length* Kota Surabaya

Tabel 5.3 Perbandingan Hasil Skenario *Traffic Flow*

Tahun	Road length	Road length scn
2006	1.325,2	1.325,2
2007	1.341,3	1.341,3
2008	1.359,3	1.359,3
2009	1.379,4	1.379,4
2010	1.402,0	1.402,0
2011	1.427,4	1.427,4
2012	1.455,7	1.455,7
2013	1.487,5	1.487,5
2014	1.523,1	1.523,1
2015	1.563,0	1.563,0
2016	1.607,7	1.607,7
2017	1.657,8	1.657,8
2018	1.713,9	1.713,9
2019	1.776,8	1.776,8
2020	1.776,8	1.847,2
2021	1.855,7	1.926,1
2022	1.855,7	2.014,5
2023	1.954,8	2.113,6
2024	1.954,8	2.224,6
2025	2079,1	2.348,9
2026	2.079,1	2.488,2
2027	2.235,1	2.644,2
2028	2.235,1	2.819,1

Tahun	Road length	Road length scn
2029	2.431,0	3.015,0
2030	2.431,0	3.234,5
2031	2.676,9	3.480,4
2032	2.676,9	3.755,8
2033	2.985,6	4.064,5
2034	2.985,6	4.064,5
2035	3.373,0	4.451,9
2036	3.373,0	4.451,9
2037	3.859,3	4.938,2
2038	3.859,3	4.938,2
2039	4.469,8	5.548,7
2040	4.469,8	5.548,7
2041	5.236,0	6.314,9
2042	5.236,0	6.314,9
2043	6.197,8	7.276,7
2044	6.197,8	7.276,7
2045	7.405,0	8.484,0

Dampak skenario terhadap tingkat kemacetan juga cukup signifikan. tingkat kemacetan skenario berhasil turun 34% dari hasil simulasi tanpa skenario. Hasil tertinggi simulasi tanpa skenario adalah 74,5 VKT/VKTC. Hasil tertinggi simulasi dengan skenario adalah 37.9 VKT/VKTC.



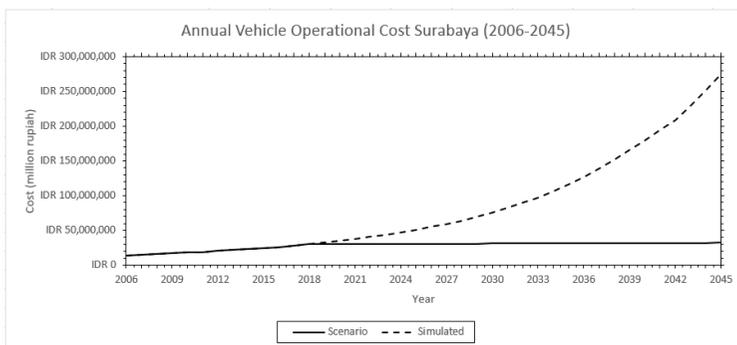
Gambar 5.7 Skenario Congestion Index Surabaya

Tabel 5.4 Perbandingan Hasil Skenario Congestion Index

Tahun	Congestion index	Congestion index scn
2006	23.2	23.2
2007	24.0	24.0
2008	25.2	25.2
2009	26.2	26.2
2010	27.6	27.6
2011	28.8	28.8
2012	30.1	30.1
2013	31.4	31.4
2014	32.7	32.7
2015	33.8	33.8
2016	35.0	35.0
2017	36.7	36.7
2018	37.9	37.9
2019	39.4	36.6
2020	40.4	35.3
2021	41.9	34.0
2022	43.6	32.6
2023	44.8	31.1
2024	45.8	29.6
2025	46.4	28.1
2026	47.6	26.6
2027	48.0	25.1
2028	49.0	23.6
2029	50.1	22.1
2030	50.5	20.7
2031	51.6	19.3
2032	51.7	17.9
2033	51.6	16.5
2034	56.7	16.6
2035	56.4	15.2
2036	61.6	15.3
2037	60.3	13.8
2038	66.2	13.8
2039	64.7	12.3
2040	69.6	12.4
2041	66.5	10.9
2042	71.4	10.9

Tahun	Congestion index	Congestion index scn
2043	67.8	9.5
2044	74.5	9.5
2045	70.1	8.2

Skenario untuk mengurangi pertumbuhan kendaraan juga memiliki dampak terhadap variabel biaya operasional. Variabel biaya operasional skenario berkurang rata-rata 58,9% dengan Rp. 32.233.100.000.000,- sebagai nilai tertinggi hasil skenario. Sedangkan Rp. 275.997.000.000.000,- adalah nilai tertinggi simulasi tanpa skenario.



Gambar 5.8 Skenario Biaya Operasional per Tahun

Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Skenario Biaya Operasional per Tahun

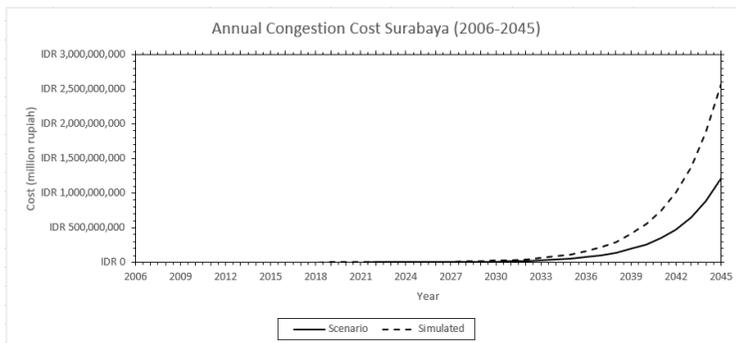
Tahun	Annual Cost (Juta)	Annual Cost scn (Juta)
2006	IDR 14,263,100	IDR 14,263,100
2007	IDR 14,957,400	IDR 14,957,400
2008	IDR 15,923,000	IDR 15,923,000
2009	IDR 16,758,300	IDR 16,758,300
2010	IDR 17,941,200	IDR 17,941,200
2011	IDR 19,088,700	IDR 19,088,700
2012	IDR 20,359,700	IDR 20,359,700
2013	IDR 21,646,900	IDR 21,646,900
2014	IDR 23,087,700	IDR 23,087,700
2015	IDR 24,491,900	IDR 24,491,900
2016	IDR 26,133,400	IDR 26,133,400
2017	IDR 28,232,400	IDR 28,232,400
2018	IDR 30,131,700	IDR 30,131,700

Tahun	Annual Cost (Juta)	Annual Cost scn (Juta)
2019	IDR 30,207,100	IDR 32,445,100
2020	IDR 30,282,600	IDR 34,596,400
2021	IDR 30,358,300	IDR 37,407,300
2022	IDR 30,434,200	IDR 40,749,000
2023	IDR 30,510,300	IDR 43,913,500
2024	IDR 30,586,500	IDR 47,277,000
2025	IDR 30,663,000	IDR 50,560,900
2026	IDR 30,739,700	IDR 54,933,100
2027	IDR 30,816,500	IDR 58,923,200
2028	IDR 30,893,500	IDR 64,149,900
2029	IDR 30,970,800	IDR 70,089,900
2030	IDR 31,048,200	IDR 75,798,700
2031	IDR 31,125,800	IDR 83,327,100
2032	IDR 31,203,600	IDR 90,147,700
2033	IDR 31,281,700	IDR 97,298,800
2034	IDR 31,359,900	IDR 106,996,000
2035	IDR 31,438,300	IDR 116,432,000
2036	IDR 31,516,900	IDR 127,249,000
2037	IDR 31,595,600	IDR 138,168,000
2038	IDR 31,674,600	IDR 151,762,000
2039	IDR 31,753,800	IDR 166,472,000
2040	IDR 31,833,200	IDR 179,209,000
2041	IDR 31,912,800	IDR 195,007,000
2042	IDR 31,992,600	IDR 209,178,000
2043	IDR 32,072,600	IDR 229,068,000
2044	IDR 32,152,700	IDR 251,512,000
2045	IDR 32,233,100	IDR 275,997,000

5.1.3 Skenario *Transit Oriented Development*

Skenario ini diterapkan dengan tujuan meningkatkan aksesibilitas warga terhadap layanan transportasi publik berbasis transit sehingga mengurangi perjalanan dengan kendaraan pribadi. Dampak yang diharapkan adalah berkurangnya waktu tunggu akibat kemacetan. Sesuai dengan referensi, *Transit Oriented Development* menyebabkan waktu tunggu akibat kemacetan berkurang hampir separuhnya. Hal ini

memiliki dampak terhadap biaya kemacetan dan biaya total (biaya operasional ditambah dengan biaya kemacetan). Biaya kemacetan berhasil dihemat sebesar 47%.



Gambar 5.9 Skenario Biaya Kemacetan

Tabel 5.6 Perbandingan Hasil Skenario Biaya Kemacetan per Tahun

Tahun	Congestion Cost per year (Juta)	Congestion Cost per year after TOD (Juta)
2006	IDR 22,112	IDR 22,112
2007	IDR 29,200	IDR 29,200
2008	IDR 38,100	IDR 38,100
2009	IDR 50,126	IDR 50,126
2010	IDR 65,703	IDR 65,703
2011	IDR 86,686	IDR 86,686
2012	IDR 116,436	IDR 116,436
2013	IDR 156,262	IDR 156,262
2014	IDR 210,171	IDR 210,171
2015	IDR 277,915	IDR 277,915
2016	IDR 364,751	IDR 364,751
2017	IDR 498,908	IDR 498,908
2018	IDR 661,877	IDR 661,877
2019	IDR 892,952	IDR 419,687
2020	IDR 1,184,220	IDR 556,583
2021	IDR 1,616,370	IDR 759,695
2022	IDR 2,201,390	IDR 1,034,650
2023	IDR 2,960,040	IDR 1,391,220
2024	IDR 4,032,160	IDR 1,895,110
2025	IDR 5,387,000	IDR 2,531,890

Tahun	Congestion Cost per year (Juta)	Congestion Cost per year after TOD (Juta)
2026	IDR 7,349,710	IDR 3,454,360
2027	IDR 9,864,160	IDR 4,636,150
2028	IDR 13,444,400	IDR 6,318,860
2029	IDR 18,457,100	IDR 8,674,820
2030	IDR 24,961,100	IDR 11,731,700
2031	IDR 34,228,500	IDR 16,087,400
2032	IDR 46,361,900	IDR 21,790,100
2033	IDR 61,947,900	IDR 29,115,500
2034	IDR 86,025,100	IDR 40,431,800
2035	IDR 116,688,000	IDR 54,843,300
2036	IDR 160,174,000	IDR 75,281,800
2037	IDR 217,713,000	IDR 102,325,137
2038	IDR 297,905,000	IDR 140,015,387
2039	IDR 408,603,000	IDR 192,043,461
2040	IDR 549,538,000	IDR 258,282,929
2041	IDR 743,368,000	IDR 349,383,053
2042	IDR 1,004,860,000	IDR 472,284,325
2043	IDR 1,370,560,000	IDR 644,163,371
2044	IDR 1,891,680,000	IDR 889,089,836
2045	IDR 2,593,160,000	IDR 1,218,785,524

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, kesimpulan dari seluruh proses penelitian yang telah dilakukan akan dijelaskan. Pertanyaan penelitian dan tujuan penelitian akan dijawab pada bab ini. Kesimpulan dapat diambil dari Pengembangan model sistem transportasi dan skenario, mengenai analisis dampak implementasi ATCS dalam meningkatkan efektifitas sistem transportasi Kota Surabaya.

6.1 Kesimpulan

Berikut adalah beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan:

1. Pembuatan model simulasi dinamik sistem transportasi bertujuan untuk meninjau dampak implementasi ATCS terhadap efektifitas sistem transportasi Kota Surabaya. Oleh karenanya pada pembuatan model, aspek yang perlu ada dalam model adalah aspek Keamanan, performa ekonomi, mobilitas, kemacetan, jumlah kendaraan, kebutuhan transportasi, populasi, ekonomi dan stok transportasi.
2. Model dinamik dibuat dengan melakukan penjabaran masalah terlebih dahulu. Masalah yang dibahas pada studi kasus adalah efektivitas sistem transportasi setelah implementasi ATCS. Hal ini penting untuk dibahas karena meskipun telah mengimplementasi ATCS, Kota Surabaya masih menjadi kota termacet ke-delapan di Indonesia. Setelah itu hipotesis dinamik dibuat dengan cara menentukan variabel-variabel penting pada model. Variabel yang penting adalah mengenai efektivitas sistem transportasi, populasi, dan faktor ekonomi kota. Setelah menentukan variabel penting, dapat dirumuskan model dinamik yang akan digunakan. Model tersebut kemudian diuji validitasnya. Model pada penelitian ini sudah valid karena telah melewati tahap uji validasi *Behavioral* dan *Structural*.
 - a. Uji *Behavioral* sudah terbukti dengan nilai *means comparison* kurang dari 5% dan *Amplitude Variance Comparison* kurang dari 30%

- b. Uji *Structural* sudah terbukti karena sudah berhasil melalui tahap *Boundary Adequacy* dan *Structure Verification*.

Model kemudian dibuatkan skenario yang bisa memperbaiki performa sistem. Dalam penelitian ini dilakukan dua skenario.

3. Untuk memperbaiki sistem maka dilakukan skenariosasi untuk meningkatkan efektifitas sistem transportasi Kota Surabaya. Tolak ukurnya adalah biaya operasional, jumlah kendaraan, level kemacetan, *travel delay*, *congestion cost* dan jumlah korban kecelakaan. Skenario yang dilakukan untuk menurunkan jumlah korban kecelakaan adalah penerapan regulasi batas kecepatan maksimum dan penegakan regulasi menggunakan speed camera dan kontribusi dari pihak berwajib. Skenario lain adalah penerapan regulasi *Certificate of Entitlement* yang dapat digunakan untuk menekan laju pertumbuhan kendaraan sesuai dengan kebutuhan pembuat kebijakan terkait. Skenario terakhir adalah peningkatan aksesibilitas terhadap layanan transportasi publik berbasis transit
4. Hasil simulasi menunjukkan dampak implementasi ATCS terhadap efektivitas sistem transportasi Kota Surabaya. Hasil simulasi sistem masih dapat ditingkatkan dengan implementasi kedua skenario pada bab 5. Hasil skenario menunjukkan perubahan signifikan terhadap nilai variabel yang menjadi tolak ukur efektivitas sistem transportasi. Kedua skenario apabila diterapkan dapat meningkatkan efektifitas sistem transportasi Kota Surabaya dengan signifikan. Sehingga skenario dapat diberikan kepada pihak berwajib sebagai rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas sistem transportasi dalam Kota Surabaya

6.2 Saran

Berikut adalah saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya dan untuk mengembangkan topik permasalahan penelitian:

6.2.1 Saran Bagi Akademisi

- a. Pengembangan model dapat ditingkatkan lagi dengan cara memasukkan sub model lain yang juga bisa berpengaruh terhadap efektifitas sistem transportasi, contohnya faktor lingkungan
- b. Variabel dan parameter submodel dapat ditingkatkan lagi kualitasnya dengan cara dijabarkan lebih mendetail dan lebih akurat.
- c. Diperlukan pemahaman yang lebih mendalam mengenai teknik model sisten dinamik supaya model yang dibuat dapat memiliki performa yang lebih baik lagi dalam merepresentasikan kondisi dunia nyata.

6.2.2 Saran Bagi Pemerintah Kota

- a. Konsep sistem transportasi yang digunakan pada model ini dapat diimplementasikan pada studi kasus yang lebih besar bila dilakukan adaptasi seperlunya. Studi kasus lebih besar yang dimaksud adalah studi kasus provinsi atau negara, karena konsep yang sama digunakan.
- b. Pihak pemerintah kota dapat meningkatkan manajemen data dan pengetahuan kota supaya penelitian serupa dapat dilakukan dengan data yang lebih akurat
- c. Menggunakan skenario pada penelitian sebagai bahan pertimbangan untuk membuat kebijakan dalam meningkatkan efektifitas sistem transportasi dengan dilengkapi oleh penelitian lain yang serupa

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Weisbrod, D. Vary, and G. Treyz, “Measuring Economic Costs of Urban Traffic Congestion to Business,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1839, pp. 98–106, 2003.
- [2] A. de Rozari and Y. H. Wibowo, “Faktor-faktor Yang Menyebabkan Kemacetan Lalu Lintas di Jalan Utama Kota Surabaya,” *J. Penelit. Adm. Publik*, vol. 1, no. 1, pp. 42–57, 2015.
- [3] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata, and Y. Sugiyama, “Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation,” *Phys. Rev. E*, vol. 51, no. 2, pp. 1035–1042, Feb. 1995.
- [4] Dinas Perhubungan Kota Surabaya, “Lokasi Rawan Kemacetan di Kota Surabaya,” 2014. [Online]. Available: <http://www.surabaya.go.id/info/penting/6380-lokasi-rawan-kemacetan-di-kota-surabaya->. [Accessed: 29-May-2018].
- [5] Inrix, “Surabaya Traffic Scorecard,” 2017. [Online]. Available: <http://inrix.com/scorecard-city/?city=Surabaya&index=259>. [Accessed: 29-May-2018].
- [6] I. Basuki and Siswadi, “Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Yogyakarta,” *J. Tek. Sipil Univ. Atma Jaya Yogyakarta*, vol. 9, no. 1, pp. 71–80, 2008.
- [7] J. I. Levy, J. J. Buonocore, and K. von Stackelberg, “Evaluation of the public health impacts of traffic congestion: a health risk assessment,” *Environ. Heal.*, vol. 9, no. 1, p. 65, 2010.
- [8] Pamudi, “Penerapan Sistem Dinamik Dalam Sistem Transportasi Cerdas Untuk mengurangi Kemacetan, Polusi dan meningkatkan Keselamatan Berlalu-Lintas,”

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.

- [9] Dinas Perhubungan Kota Surabaya, “Tentang SITS,” 2018. [Online]. Available: <http://sits.dishub.surabaya.go.id/ver2/tentang-sits>. [Accessed: 25-Jun-2018].
- [10] M. Machsus and L. Djakfar, “Kajian Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Surabaya,” in *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*, 2014, pp. 133–140.
- [11] J. Sterman, *Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World*. New York City: McGraw-Hill Education, 2000.
- [12] KBBI, “KBBI Daring - Macet,” 2019. [Online]. Available: <https://kbbi.web.id/macet>. [Accessed: 29-May-2018].
- [13] I. B. Van Hoeve, “Kemacetan,” *Ensiklopedi Indonesia, seri geografi*. 1990.
- [14] T. Litman, “Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications,” 2009.
- [15] F. Soriguera, D. Monjas, L. Thorson Bofarull, and F. Robuste, “Highway Travel Time Data Fusion,” 2008.
- [16] G. Georgiadis, I. Politis, and P. Papaioannou, “Measuring and improving the efficiency and effectiveness of bus public transport systems,” *Res. Transp. Econ.*, vol. 48, pp. 84–91, 2014.
- [17] I. Kaparias, M. G. . Bell, and M. Tomassini, “Key Performance Indicators for traffic management and Intelligent Transport Systems,” *Isis*, vol. 14, no. 6, 2011.
- [18] C. Jeon, A. A. Amekudzi, and R. Guensler, “Sustainability assessment at the transportation planning level: Performance measures and indexes,” *Transp. Policy*, vol. 25, pp. 10–21, 2013.

- [19] Australia Department of Transport, “DoT’s outcome structure and links to the overall Government Goals,” 2018. [Online]. Available: <https://www.transport.wa.gov.au/annualreport/kpi-overview.asp>. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [20] Y. Shah, K. Manaugh, M. Badami, and A. El-Geneidy, “Diagnosing Transportation: Developing Key Performance Indicators to Assess Urban Transportation Systems,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2357, pp. 1–12, 2013.
- [21] R. E. Shannon, “Introduction to The Art and Science of Simulation,” in *1998 Winter Simulation Conference*, 1998, pp. 7–14.
- [22] W. D. Kelton, R. P. Sadowski, and N. B. Zupick, *Simulation with Arena*, vol. 6. 2015.
- [23] A. Borshchev and A. Filippov, “From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools,” in *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, 2004.
- [24] E. Suryani, “Model Simulasi Sistem Dinamik Dalam Sistem Produksi dan Pertumbuhan Pasar,” *J. Ilm. Teknol. Inf.*, vol. 4, pp. 112–117, 2005.
- [25] C. Wang, “The Relationship Between Traffic Congestion and Road Accidents: An Econometric Approach Using GIS,” 2010.
- [26] Y. S. Chang, Y. J. Lee, and S. S. B. Choi, “Is there more traffic congestion in larger cities? -Scaling analysis of the 101 largest U.S. urban centers-,” *Transp. Policy*, vol. 59, pp. 54–63, 2017.
- [27] R. Louf and M. Barthelemy, “How congestion shapes cities: From mobility patterns to scaling,” *Sci. Rep.*, vol. 4, pp. 1–9, 2014.
- [28] H. Qudrat-Ullah, “On the validation of system dynamics

- type simulation models,” *Telecommun. Syst.*, vol. 51, no. 2–3, pp. 159–166, 2012.
- [29] S. H. Suryawan and E. Suryani, “Investigating the Future of Paratransit as Public Transportation in Surabaya Using System Dynamics Framework,” 2018.
- [30] T. H. Naylor and J. M. Finger, “Verification of Computer Simulation Models,” *Manage. Sci.*, vol. 14, no. 2, p. B-92-B-101, 1967.
- [31] R. Sargent, “Verification and validation of simulation models,” in *Engineering Management Review, IEEE*, 2011, vol. 37, pp. 166–183.
- [32] H. Qudrat-Ullah and B. S. Seong, “How to do structural validity of a system dynamics type simulation model: The case of an energy policy model,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 5, pp. 2216–2224, 2010.
- [33] Y. Barlas, “Multiple Tests for Validation of System Dynamics Type of Simulation Models,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 42, pp. 59–87, 1989.
- [34] O. Tatari, N. Onat, M. Abdel-Aty, M. Alirezaei, O. University of Central Florida, and C. Safety Research Using Simulation University Transportation, “Dynamic Simulation Models for Road Safety and Its Sustainability Implications,” Florida, 2015.
- [35] T. Litman, “Congestion Costing Critique - Critical Evaluation of the ‘Urban Mobility Report,’” 2014.
- [36] A. D’Elia, S. Newstead, and M. Cameron, “Overall Impact During 2001-2004 of Victorian Speed-Related Package,” Clayton, 2007.
- [37] Ministry of Transport, “Vehicle Ownership Controls,” 2016. [Online]. Available: <https://www.mot.gov.sg/about-mot/land-transport/motoring/vehicle-ownership>. [Accessed: 01-Jun-2019].

- [38] T. Litman, “Smart Congestion Relief - Comprehensive Evaluation Of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Strategies,” no. January 2006, p. 76, 2016.

halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A. DATA ANALISIS MODEL KONDISI SAAT INI

Tabel A.1 Data PDRB

Tahun	Nilai (Juta)
2006	IDR 141,867,507
2007	IDR 158,944,000
2008	IDR 178,076,000
2009	IDR 199,511,000
2010	IDR 223,526,000
2011	IDR 250,432,000
2012	IDR 280,577,000
2013	IDR 314,351,000
2014	IDR 352,189,000
2015	IDR 394,583,000
2016	IDR 442,079,000
2017	IDR 495,293,000
2018	IDR 554,911,000

Tabel A.2 Data Penduduk

Tahun	Nilai
2006	2.623.844
2007	2.688.630
2008	2.784.020
2009	2.893.760
2010	3.001.530
2011	3.094.660
2012	3.154.030
2013	3.217.710
2014	3.280.870
2015	3.378.960
2016	3.503.150
2017	3.553.220
2018	3.670.440

Tabel A.3 Data Panjang Jalan

Tahun	Nilai
2006	1325.19
2007	1341.26
2008	1359.27

Tahun	Nilai
2009	1379.44
2010	1402.04
2011	1427.37
2012	1455.74
2013	1487.52
2014	1523.13
2015	1563.03
2016	1607.73
2017	1657.81
2018	1713.92

Tabel A.4 Jumlah Mobil

Tahun	Nilai
2006	200.300
2007	207.966
2008	220.580
2009	236.423
2010	254.368
2011	273.102
2012	291.459
2013	307.478
2014	324.695
2015	342.690
2016	365.323
2017	392.044
2018	411.605

Tabel A.5 Jumlah Korban Kecelakaan

Tahun	Nilai
2006	900
2007	835
2008	1.037
2009	1.314
2010	1.003
2011	989
2012	1.418
2013	1.570
2014	1.246
2015	1.406

Tahun	Nilai
2016	1.310
2017	1.522
2018	1.557

Tabel A.5 Biaya Kemacetan

Tahun	Nilai (juta)
2006	IDR 22,112
2007	IDR 29,200
2008	IDR 38,100
2009	IDR 50,126
2010	IDR 65,703
2011	IDR 86,686
2012	IDR 116,436
2013	IDR 156,262
2014	IDR 210,171
2015	IDR 277,915
2016	IDR 364,751
2017	IDR 498,908
2018	IDR 661,877

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B. DATA UJI VALIDASI

Tabel B.1 Data Validasi PDRB

Tahun	Data	Simulasi
2006	IDR 141,867,507	IDR 141,867,507
2007	IDR 160,291,830	IDR 158,944,000
2008	IDR 181,108,918	IDR 178,076,000
2009	IDR 204,629,520	IDR 199,511,000
2010	IDR 231,204,741	IDR 223,526,000
2011	IDR 261,772,342	IDR 250,432,000
2012	IDR 293,180,804	IDR 280,577,000
2013	IDR 327,802,040	IDR 314,351,000
2014	IDR 365,350,944	IDR 352,189,000
2015	IDR 406,223,500	IDR 394,583,000
2016	IDR 451,383,240	IDR 442,079,000
2017	IDR 495,043,300	IDR 495,293,000
2018	IDR 554,631,945	IDR 554,911,000

Tabel B.2 Data Validasi Penduduk

Tahun	Data	Simulasi
2006	2 623 843.8	2623844
2007	2 694 251.7	2688630
2008	2 766 548.8	2784020
2009	2 840 786.0	2893760
2010	2 917 015.2	3001530
2011	2 995 290.0	3094660
2012	3 124 890.0	3154030
2013	3 234 180.0	3217710
2014	3 319 044.0	3280870
2015	3 388 642.0	3378960
2016	3 457 374.0	3503150
2017	3 527 646.0	3553220
2018	3 587 154.0	3670440

Tabel B.3 Data Validasi Panjang Jalan

Tahun	Data	Validasi
2006	1325.19	1.325.19
2007	1356.39	1.341.26
2008	1388.32	1.359.27

Tahun	Data	Validasi
2009	1421.00	1.379.44
2010	1426.15	1.402.04
2011	1426.65	1.427.37
2012	1427.76	1.455.74
2013	1677.98	1.487.52
2014	1679.31	1.523.13
2015	1678.31	1.563.03
2016	1679.64	1.607.73
2017	1689.29	1.657.81
2018	1728.72	1.713.92

Tabel B.4 Data Validasi Jumlah Mobil

Tahun	Nilai	Nilai
2006	200.300	200.300
2007	213.552	207.966
2008	227.682	220.580
2009	242.746	236.423
2010	258.807	254.368
2011	275.930	273.102
2012	294.780	291.459
2013	311.582	307.478
2014	332.120	324.695
2015	351.051	342.690
2016	372.836	365.323
2017	395.973	392.044
2018	420.546	411.605

Tabel B.5 Data Validasi Jumlah Korban Kecelakaan

Tahun	Nilai	Nilai
2006	900	900
2007	964	835
2008	854	1037
2009	1094	1314
2010	941	1003
2011	1621	989
2012	1621	1418
2013	1505	1570
2014	1003	1246
2015	1193	1406

Tahun	Nilai	Nilai
2016	1273	1310
2017	1358	1522
2018	1448	1557

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 12 Agustus 1997, Merupakan anak pertama dari dua bersaudara buah cinta Bapak Efyluk Gariato dan Ibu Nurmeini. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu: SD Widya Merti, Surabaya lulus pada tahun 2009, SMPN 6 Surabaya lulus pada tahun 2012, dan SMAN 2 Surabaya yang lulus pada tahun 2015 dan meneruskan pendidikan di Departemen Sistem Informasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun yang sama dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 052115400103. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dan selalu tertarik mengikuti organisasi kemahasiswaan dibuktikan dengan pernah menjadi Staff Organization Social Responsibility BEM FTif 2017/2018, Ketua Departemen Organization Social Responsibility BEM FTif 2018/2019, dan beberapa *event* departemen dan fakultas.

Pada tahun ke-empat perkuliahan, penulis melakukan magang mandiri dan kerja paruh waktu di PT. Riliv Psikologi Indonesia, Surabaya untuk belajar dan memahami bagaimana kehidupan di dunia kerja sesungguhnya. Penulis dapat dihubungi melalui email faiz.amukti@gmail.com.