

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

Rully Agus Hendrawan, S. Kom., M.Eng.

Muhammad Andika Satrugna Mahardhika, S.Kom., M.Kom.

Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom.



Pengembangan 

Mode Transportasi *Light Rail Transit*

Berbasis Sistem Dinamik



**Pengembangan Mode
Transportasi *Light Rail Transit*
Berbasis Sistem Dinamik**

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Pengembangan Mode Transportasi *Light Rail Transit* Berbasis Sistem Dinamik

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

Rully Agus Hendrawan, S. Kom., M.Eng.

Muhammad Andika Satrugna Mahardhika, S.Kom., M.Kom.

Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom.



Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.

**PENGEMBANGAN MODE TRANSPORTASI LIGHT RAIL TRANSIT
BERBASIS SISTEM DINAMIK**

Erma Suryani ... [et al]

Desain Cover :
Ali Hasan Zein

Sumber :
www.freepik.com

Tata Letak :
Werdiantoro

Proofreader :
Avinda Yuda Wati

Ukuran :
xiv, 100 hlm, Uk: 15.5x23 cm

ISBN :
978-623-02-5054-5

Cetakan Pertama :
Juli 2022

Hak Cipta 2022, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2022 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: www.deepublish.co.id

www.penerbitdeepublish.com

E-mail: cs@deepublish.co.id

RINGKASAN

Moda transit adalah moda transportasi umum yang memiliki jalur tersendiri untuk beroperasi. Sistem transportasi massal memiliki beberapa jenis moda transit salah satunya *light rail* atau *light rail transit* (LRT). Permasalahan transportasi yang terjadi di daerah perkotaan di Indonesia adalah bagaimana memenuhi permintaan jumlah perjalanan yang semakin meningkat akibat peningkatan jumlah penduduk. Surabaya merupakan kota metropolitan kedua terbesar setelah kota Jakarta dengan jumlah penduduk mencapai 3 juta jiwa pada tahun 2020. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk dapat mendorong masyarakat agar dapat menggunakan transportasi umum, khususnya moda transit sehingga akan dapat menekan tingkat kemacetan. Konsep *Transit-Oriented Development* (TOD) ini diterapkan dengan tujuan untuk memusatkan pembangunan kota di sekitar stasiun transit. Langkah yang dilakukan adalah menambahkan dua variabel *Mixed Land Use* yang diambil dari karakteristik *diversity* pada konsep TOD dan juga variabel *resident density* dari karakteristik *density*. Pemecahan permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan simulasi model sistem dinamik.

Sistem dapat diartikan sebagai sekumpulan entitas yang saling berinteraksi satu sama lain untuk mencapai beberapa tujuan. Model merupakan sebuah representasi dari sistem nyata. Simulasi sendiri merupakan proses pembuatan sebuah model berdasarkan dari suatu sistem nyata. Sedangkan sistem dinamik dapat digunakan untuk memodelkan perilaku yang non-linier serta interaksi dinamis (umpan-balik) antar faktor yang saling berhubungan. Simulasi model sistem dinamik terdiri dari lima tahapan, yakni *problem articulation*, *formulating a dynamics hypothesis* dengan membuat *causal loop diagram*, *formulating a simulation model* dengan membuat *stock and flow diagram*, *testing* dengan menggunakan pengujian *structural* dan pengujian *behavioral*, serta *policy design and evaluation* dengan membuat beberapa skenario.

Vensim (Ventana Simulation) adalah alat pemodelan visual yang mempermudah untuk membuat konsep, mendokumentasikan,

menyimulasikan, menganalisis, dan mengoptimalkan model sistem dinamik. Vensim menyediakan cara yang mudah dan sederhana untuk dapat membangun model simulasi, baik itu *causal loop diagram* (CLD) atau *stock and flow diagram* (SFD). Setelah pembuatan model dan melakukan validasi model dan model dinyatakan valid, berikutnya dapat dilakukan pengembangan skenario. Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara menambahkan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada. Dalam buku ini skenario TOD dengan moda LRT akan diimplementasikan di area Surabaya Pusat di sekitar daerah Gubeng-Tambaksari sampai ke area Surabaya Timur di sekitar daerah Mulyorejo-Sukolilo. Dengan adanya LRT dengan menggunakan skenario TOD-LRT maka hal ini akan mempengaruhi peningkatan jumlah pemenuhan kendaraan umum setiap tahunnya. Skenario TOD-LRT juga mempunyai dampak untuk meningkatkan jumlah pejalan kaki dan pengguna sepeda. Hal tersebut masuk dalam karakteristik *design* pada konsep TOD. Karakteristik ini berfokus untuk memperbanyak jumlah *non-motorized transportation* (NMT) atau transportasi nonmotor, salah satunya adalah pejalan kaki dan pengguna sepeda.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan penulisan buku dengan judul *Pengembangan Mode Transportasi Light Rail Transit Berbasis Sistem Dinamik*. Tujuan dari penulisan buku ini adalah untuk membantu menunjang pembelajaran/pengetahuan mengenai sistem dinamik bagi para pembaca seperti mahasiswa, praktisi dalam dunia bisnis (pelaku bisnis), peneliti, maupun akademisi.

Buku ini memberikan informasi secara lengkap mengenai materi pengembangan model simulasi dan skenario dengan menggunakan sistem dinamik dalam bidang transportasi. Buku ini juga dilengkapi dengan evaluasi pada setiap bab untuk mengukur pemahaman pembaca. Referensi yang digunakan pada buku ini berasal dari berbagai sumber terpercaya yang berguna sebagai tambahan wawasan bagi para pembaca.

Buku ini bermanfaat dalam menunjang perkuliahan pemodelan dan simulasi, serta dapat memberikan wawasan bagi para mahasiswa, praktisi, peneliti, dan akademisi dalam membuat model simulasi sistem dinamik. Tak ada gading yang tak retak, kami menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih jauh dari sempurna. Besar harapan kami untuk memperoleh masukan dari para pembaca mengenai kebutuhan pengetahuan di bidang model dan simulasi sistem dinamik, sehingga dapat menjadi acuan perbaikan bagi kami dalam mengembangkan isi buku ini di masa yang akan datang.

Penulis

KATA PENGANTAR PENERBIT

Assalamu'alaikum, Wr. Wb

Membaca adalah sarana ekspresi diri dalam berkomunitas serta untuk terus maju menuju pencerdasan dan pencerahan. Ini menjadi sebuah motivasi dan dorongan bagi kami di Penerbit Deepublish untuk ikut berikhtiar dalam mencerdaskan dan memuliakan umat manusia, serta memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menciptakan industri *processing* berbasis sumber daya alam (SDA) Indonesia. Berdasarkan pandangan, sikap dasar, tujuan itu, maka buku yang berjudul Pengembangan Mode Transportasi Light Rail Transit Berbasis Sistem Dinamik karya Erma Suryani, dkk ini diterbitkan.

Kami sadar masih terdapat berbagai kekurangan dalam buku ini. Namun, kami mencoba untuk terus mengembangkan diri, dan mencoba memperkecil kesalahan-kesalahan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada penulis buku yang telah memberikan perhatian, kepercayaan, dan kontribusi demi kesempurnaan buku ini. Dan kepada pihak-pihak lainnya yang terus menjadi inspirasi dan memberikan semangat dalam menerbitkan buku yang berkualitas dan bermanfaat.

Dengan dukungan dari pembaca, kami dapat terus memberikan kontribusi bagi upaya mencerdaskan dan memuliakan umat manusia, serta memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi. Semoga buku ini dapat memperkaya khazanah dan memberi manfaat bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum, Wr. Wb

Hormat Kami,

Penerbit Deepublish

DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	v
KATA PENGANTAR	vii
KATA PENGANTAR PENERBIT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I MODE TRANSPORTASI <i>LIGHT RAIL TRANSIT</i>	1
1.1 Moda Transit	1
1.2 Permasalahan dalam Sistem Transportasi.....	1
1.3 Kemacetan Lalu Lintas.....	2
1.4 Transit-Oriented Development	3
1.4.1 Density	3
1.4.2 Diversity	4
1.4.3 Design.....	4
1.4.4 Destination Accessibility.....	5
1.5 Evaluasi.....	5
BAB II PENGANTAR SISTEM.....	6
2.1 Pengertian Sistem	6
2.2 Klasifikasi Sistem.....	6
2.3 Karakteristik Sistem.....	7
2.4 Evaluasi.....	8
BAB III TAHAPAN PENGEMBANGAN MODEL	9
3.1 Problem Articulation	9
3.2 Formulating a Dynamics Hypothesis	10
3.3 Formulating a Simulation Model	11
3.4 Testing.....	13
3.5 Policy Design and Evaluation	14
3.6 Evaluasi.....	14
BAB IV MODEL SIMULASI.....	15
4.1 Pengertian Model	15

4.2	Karakteristik Model.....	15
4.3	Pengertian Simulasi.....	16
4.4	Keuntungan dan Kekurangan Penggunaan Simulasi	18
4.5	Evaluasi.....	18
BAB V	SISTEM DINAMIK.....	19
5.1	Pengertian Sistem Dinamik.....	19
5.2	Karakteristik Sistem Dinamik.....	20
5.3	Implementasi Sistem Dinamik.....	20
5.4	Kelebihan Model Sistem Dinamik	21
5.5	Evaluasi.....	21
BAB VI	VENTANA SIMULATION SEBAGAI SARANA PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK	22
6.1	Pengantar Ventana Simulation (Vensim)	22
6.2	Fasilitas-Fasilitas di dalam Vensim.....	23
6.2.1	Title Bar	24
6.2.2	Menu	24
6.2.3	Toolbar	25
6.2.4	Sketch Tools	26
6.2.5	Status Bar.....	28
6.2.6	Analysis Tools.....	28
6.3	Fungsi-Fungsi di dalam Vensim	31
6.3.1	IF THEN ELSE.....	32
6.3.2	SMOOTH.....	32
6.3.3	STEP	33
6.3.4	Initial Conditions	34
6.4	Evaluasi.....	35
BAB VII	PENGEMBANGAN MODEL SKENARIO PENERAPAN MODE TRANSPORTASI LIGHT RAIL TRANSIT BERBASIS SISTEM DINAMIK.....	36
7.1	Artikulasi Masalah (<i>Problem Articulation</i>).....	36
7.2	Hipotesis Dinamika (<i>Dynamics Hypothesis</i>).....	38
7.2.1	Subsystem Diagram	39
7.2.2	Boundary Adequacy.....	41
7.2.3	Causal Loop Diagram	45
7.3	Pengolahan Data (<i>Formulasi Model</i>)	48
7.3.1	Submodel Populasi (<i>Urban Population</i>).....	48

7.3.2 Submodel Kendaraan Pribadi (<i>Private Vehicle</i>).....	50
7.3.3 Submodel Transportasi Publik (<i>Public Transportation</i>).....	53
7.3.4 Submodel Kemacetan Lalu-Lintas (<i>Traffic Congestion</i>).....	57
7.4 Validasi dan Pengujian Model (<i>Validation and Model Testing</i>)	59
7.4.1 Validasi Struktural (<i>Structural Validation</i>).....	59
7.4.2 Uji Validitas Perilaku (<i>Behavior Validity Test</i>).....	65
7.5 Perumusan Kebijakan (<i>Policy Formulation</i>)	78
7.6 Evaluasi.....	89
REFERENSI.....	90
PROFIL PENULIS.....	99

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Rasio Umum Penggunaan Lahan.....	4
Tabel 3.1 Simbol <i>Causal Loop Diagram</i>	10
Tabel 3.2 Simbol <i>Stock and Flow</i>	12
Tabel 7.1 Boundary Adequacy Submodel Urban Transportation System.....	43
Tabel 7.2 Boundary Adequacy Submodel Diversity TOD.....	44
Tabel 7.3 Boundary Adequacy Submodel Density TOD.....	44
Tabel 7.4 Boundary Adequacy Submodel Destination Accessibility TOD.....	44
Tabel 7.5 Boundary Adequacy Submodel Design TOD	45
Tabel 7.6 Persamaan Submodel <i>Urban Population</i>	49
Tabel 7.7 Persamaan Submodel <i>Private Cars</i>	51
Tabel 7.8 Persamaan Submodel Public Transportation	54
Tabel 7.9 Persamaan Submodel <i>Traffic Congestion</i>	57
Tabel 7.10 Structural Validation.....	60
Tabel 7.11 Parameter Model, Nilai Parameter, dan Sumber	65
Tabel 7.12 Behavior Validity Test.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Karakteristik TOD.....	3
Gambar 3.1 Tahapan pengembangan model sistem dinamik.....	9
Gambar 3.2 Contoh <i>Causal Loop Diagram</i>	11
Gambar 3.3 Contoh <i>Stock and Flow Diagram</i>	13
Gambar 6.1 Antarmuka Vensim.....	22
Gambar 6.2 Antarmuka Model <i>Setting</i> pada Vensim.....	23
Gambar 6.3 Jendela Utama Vensim.....	24
Gambar 6.4 Analysis Toolset.....	29
Gambar 6.5 Memasukkan Fungsi.....	32
Gambar 6.6 <i>Initial Condition</i> pada <i>Equation Editor</i>	34
Gambar 7.1 Blok Diagram <i>Urban Transportation System</i>	37
Gambar 7.2 Gambaran Umum Sistem Transportasi Perkotaan dengan <i>Transit-Oriented Development</i>	39
Gambar 7.3 Causal Loop Diagram.....	46
Gambar 7.4 Submodel Urban Population.....	49
Gambar 7.5 Grafik Hasil Simulasi <i>Urban Population (People)</i>	50
Gambar 7.6 Submodel Private Vehicle.....	51
Gambar 7.7 Grafik Hasil Simulasi <i>Private Cars</i>	52
Gambar 7.8 Grafik Hasil Simulasi <i>Motorcycle</i>	52
Gambar 7.9 Submodel Public Transportation.....	53
Gambar 7.10 Grafik Hasil Simulasi Bus.....	54
Gambar 7.11 Grafik Hasil Simulasi Lyn.....	55
Gambar 7.12 Grafik Hasil Simulasi <i>Public Transport Supply</i>	55
Gambar 7.13 Grafik Hasil Simulasi <i>Travel Demand</i>	56
Gambar 7.14 Grafik Hasil Simulasi <i>Fulfillment of Public Transport</i>	56
Gambar 7.15 Submodel Traffic Congestion.....	57
Gambar 7.16 Grafik Hasil Simulasi <i>Daily Traffic</i>	58
Gambar 7.17 Grafik Hasil Simulasi <i>Traffic Congestion</i>	58
Gambar 7.18 Hasil <i>Check Model</i>	63
Gambar 7.19 Hasil <i>Check Units</i>	64
Gambar 7.20 Grafik Validasi Submodel <i>Population</i>	67

Gambar 7.21 Grafik Validasi Submodel <i>Private Cars</i>	68
Gambar 7.22 Grafik Validasi Submodel <i>Private Motorcycle</i>	70
Gambar 7.23 Grafik Validasi Submodel Bus	71
Gambar 7.24 Grafik Validasi Submodel lyn	72
Gambar 7.25 Grafik Validasi Submodel <i>Daily Traffic</i>	74
Gambar 7.26 Grafik Hasil Extreme Policy Test 1.....	75
Gambar 7.27 Grafik Hasil <i>Extreme Policy Test 2</i>	76
Gambar 7.28 Grafik Hasil <i>Behavior Sensitivity Test</i> terhadap <i>Private Cars</i>	77
Gambar 7.29 Grafik Hasil Behavior Sensitivity Test Terhadap <i>Private Motorcycle</i>	78
Gambar 7.30 <i>Diversity & Density</i> (Skenario TOD-LRT).....	80
Gambar 7.31 <i>Destination Accessibility & Distance</i> (Skenario TOD-LRT).....	81
Gambar 7.32 <i>Private Vehicle</i> (Skenario TOD-LRT)	82
Gambar 7.33 Grafik Perbandingan Jumlah <i>Private Cars</i> (Unit) (Skenario TOD-LRT)	82
Gambar 7.34 Grafik Perbandingan Jumlah <i>Motorcycle</i> (Unit) (Skenario TOD-LRT)	83
Gambar 7.35 <i>Fulfillment of Public Transportation</i> (Skenario TOD-LRT)	85
Gambar 7.36 Grafik Perbandingan <i>Fulfillment of Public Transportation (%)</i> (Skenario TOD-LRT).....	85
Gambar 7.37 <i>Traffic Congestion</i> (Skenario TOD-LRT).....	86
Gambar 7.38 Grafik Perbandingan <i>Traffic Congestion (%)</i> (Skenario TOD-LRT)	87
Gambar 7.39 <i>Design Non-Motorize Transportation</i> (Skenario TOD-LRT)	88
Gambar 7.40 Grafik Jumlah Pedestrian (<i>People</i>) (Skenario TOD-LRT)	88
Gambar 7.41 Grafik Jumlah <i>Bicycle User (People)</i> (Skenario TOD-LRT).....	89

BAB I

MODE TRANSPORTASI *LIGHT RAIL TRANSIT*

Pada bab ini akan dibahas mengenai moda transit, permasalahan dalam sistem transportasi, kemacetan lalu lintas, serta *Transit-Oriented Development*.

1.1 Moda Transit

Sistem transportasi massal atau sistem transit massal merujuk kepada berbagai layanan transportasi yang menyediakan mobilitas untuk masyarakat yang besar kapasitasnya angkutnya, cepat lajunya, tinggi frekuensinya, dan memiliki layanan operasi yang eksklusif (Deng & Nelson, 2011). Moda transit adalah moda transportasi umum yang memiliki jalur tersendiri untuk beroperasi, jalur eksklusif ini memungkinkan moda transit untuk bergerak secara leluasa tanpa terganggu situasi lalu lintas di sekitarnya agar dapat memenuhi kebutuhan transportasi yang aman, nyaman, dan berkualitas (ITDP, 2009). Sistem transit mempunyai peran penting dalam penyediaan layanan transportasi perkotaan yang efisien dan terjangkau untuk aktivitas perjalanan masyarakat (Litman, 2015). Sistem transportasi massal memiliki beberapa jenis moda transit yang secara umum dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu *heavy rail* atau yang biasa disebut dengan *mass rapid transit* (MRT) dan *metro rail*, *light rail* atau *light rail transit* (LRT) dan tram, dan *bus rapid transit* (BRT) atau *busway* (Ambarwati, et al., 2016).

1.2 Permasalahan dalam Sistem Transportasi

Permasalahan transportasi yang terjadi di daerah perkotaan di Indonesia adalah bagaimana memenuhi permintaan jumlah perjalanan yang semakin meningkat akibat peningkatan jumlah penduduk (Susantoro & Parikesit, 2004). Permasalahan tersebut diperparah dengan jumlah

kendaraan bermotor yang terus meningkat melebihi kapasitas pertumbuhan jalan yang ada. Kondisi tersebut akan menyebabkan penurunan laju kendaraan dan memperkecil kebebasan dalam berkendara sehingga menimbulkan kemacetan (Rozari & Wibowo, 2015). Selain itu, perilaku masyarakat yang sering mengabaikan peraturan berlalu lintas di jalan raya juga menjadi salah satu faktor yang memperburuk situasi sistem transportasi.

1.3 Kemacetan Lalu Lintas

Kemacetan adalah kondisi di mana arus lalu lintas yang lewat pada ruas jalan melebihi kapasitas rencana jalan tersebut, yang mengakibatkan kecepatan kendaraan pada ruas jalan tersebut mendekati 0 km/jam sehingga menyebabkan terjadinya antrean kendaraan. Pada saat terjadinya kemacetan, nilai derajat kejenuhan pada ruas jalan akan ditinjau untuk melihat tingkat kemacetannya. Kemacetan akan terjadi bila nilai derajat kejenuhan mencapai 8,5 atau 85% (David Hale, 2002). Kemacetan akan semakin meningkat apabila arus kendaraan yang masuk semakin banyak dan tidak tertampung oleh kapasitas jalan, sehingga kendaraan yang ada akan saling berdekatan satu sama lain dan menyebabkan kecepatan berkendaranya berkurang. Kemacetan total terjadi apabila kendaraan harus bergerak sangat lambat atau bahkan tidak bergerak sama sekali (Rahman, 2010). Berikut ini merupakan formulasi dari kemacetan kendaraan dengan menggunakan Persamaan:

$$DS = \frac{Pv}{Rc}$$

Di mana:

DS = Tingkat kejenuhan

Pv = Volume kendaraan (smp/jam)

Rc = Kapasitas jalan (smp/jam)

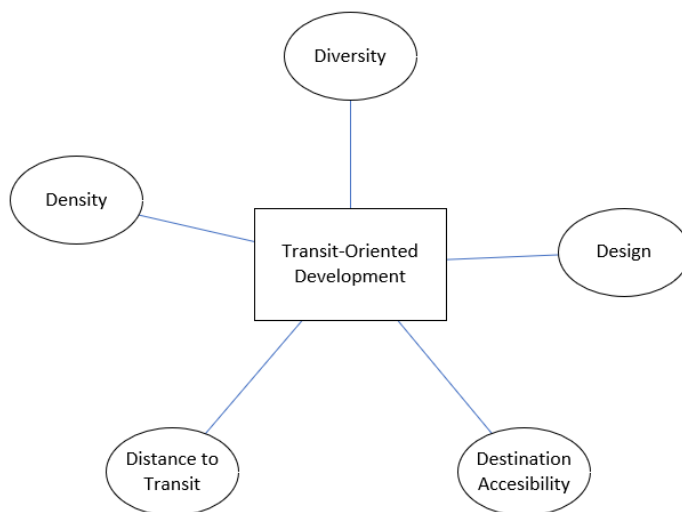
Model dikatakan valid jika nilai $E2 \leq 30\%$

Kerugian yang diderita akibat dari masalah kemacetan ini apabila dikuantifikasikan dalam satuan moneter sangatlah besar, yaitu kerugian karena waktu perjalanan menjadi panjang dan makin lama, biaya operasi kendaraan menjadi lebih besar dan polusi kendaraan yang dihasilkan makin bertambah. Pada kondisi macet, kendaraan bergerak dengan

kecepatan yang sangat rendah, pemakaian bbm menjadi sangat boros dan emisi buangan kendaraan yang dihasilkan lebih tinggi (Soehodho, 2017).

1.4 Transit-Oriented Development

Konsep *Transit-Oriented Development* (TOD) ini ditujukan untuk memusatkan pembangunan kota di sekitar stasiun transit. Pembangunan area nya pun harus memiliki keberagaman jenis penggunaan lahan, seperti lahan untuk perumahan, perkantoran, pertokoan, dan pusat kegiatan. Tujuannya adalah untuk menciptakan pola penggunaan lahan yang dapat memfasilitasi pilihan moda transportasi yang beragam, terutama untuk mendukung penggunaan transportasi umum dan penggunaan transportasi tidak bermotor (Curtis, 2012). Terdapat lima karakteristik khusus yang mencirikan *Transit-Oriented Development* (TOD) seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Karakteristik TOD

1.4.1 Density

Density menunjukkan tentang kepadatan pemukiman (*residential density*), komersial (*commercial density*) dan pekerjaan (*employment density*) yang nantinya akan berpotensi terhadap perilaku bepergian (*commuting*) di area TOD. Menurut (Vos, et al., 2014) Secara umum *density* dibagi menjadi dua, yaitu *low density* (kurang dari 60 orang) dan *high density* (lebih dari 60 orang). Pada area TOD sendiri pun disarankan untuk dibuat dengan densitas tinggi agar bisa menstimulasi pertumbuhan

penumpang transit (*transit ridership*) pada area TOD itu sendiri (Curtis, 2012). Menurut (Ratner & Goetz, 2013) karakteristik *density* yang rendah akan mengakibatkan tingginya ketergantungan untuk menggunakan kendaraan pribadi yang akan berdampak pada tingginya angka kemacetan dan berkurangnya aksesibilitas. Sedangkan karakteristik *density* yang tinggi (*high density*) memungkinkan untuk meningkatkan investasi terhadap moda transit, yang berdampak pada meningkatnya aksesibilitas dan penggunaan transportasi publik. Karakteristik *density* yang tinggi juga akan mendorong pertumbuhan ekonomi (Teklemariam & Shen, 2020).

1.4.2 Diversity

Diversity menunjukkan keberagaman jenis penggunaan lahan pada suatu area TOD. Keberagaman penggunaan lahan tersebut penting karena merupakan salah satu faktor untuk mendorong berkembangnya area TOD itu sendiri. Menurut (Kamruzzaman, et al., 2015) ada beberapa jenis area atau fasilitas yang harus ada pada area TOD, antara lain yaitu: area hunian atau pemukiman, area komersial atau perkantoran, area retail atau pertokoan, dan area komunitas atau fasilitas umum. Penempatan setiap area tersebut juga menjadi factor penting untuk mendukung tingkat *diversity* (Singh, et al., 2015). *Diversity* dibagi menjadi beberapa kategori menurut jenis area TOD yang dikembangkan seperti pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Rasio Umum Penggunaan Lahan

Tipe Area TOD	Rasio Penggunaan Lahan
Pusat Kota	Area Pemukiman 60%-70% Area Komersial & Retail 5%-10% Fasilitas Publik 10%-20% Area Terbuka 2%-5%
Pusat Bisnis & Pertokoan	Area Pemukiman 60%-70% Area Komersial & Retail 20%-25% Fasilitas Publik 10%-15% Area Terbuka 2%-5%
Daerah Pemukiman	Area Pemukiman 80%-90% Area Komersial & Retail 5%-10% Fasilitas Publik 5%-10% Area Terbuka 5%-10%

1.4.3 Design

Design di sini dikhususkan untuk keadaan lingkungan buatan yang

terkait dengan pejalan kaki dan pesepeda (Huang, et al., 2018). Untuk area TOD sangat dianjurkan untuk memiliki trotoar yang ramah dan aman bagi pejalan kaki. Kondisi lingkungan trotoar pun harus sangat diperhatikan untuk memberikan kenyamanan bagi pejalan kaki (Singh, et al., 2015). Hal-hal tersebut ditujukan untuk mendorong orang yang tinggal di area TOD untuk dapat bepergian tanpa kendaraan pribadi menuju ke tempat kerja ataupun ke tempat-tempat lainnya (Singh, et al., 2014).

1.4.4 Destination Accessibility

Destination Accessibility menunjukkan seberapa mudahnya orang untuk mendapatkan akses dari tempat tinggalnya ke tempat-tempat lain yang ada di sekitarnya maupun tempat-tempat di luar areanya (Budiati, et al., 2018). Karakteristik ini juga terkait dengan jumlah dan moda transportasi apa saja yang ada atau tersedia di suatu area TOD, moda transportasi tersebut terdiri atas moda jarak dekat seperti bus dan *light rail* (LRT), serta moda jarak jauh seperti *heavy rail* (MRT) (Tirachini, et al., 2010; Ambarwati, et al., 2016). Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bagaimana kemudahan akses untuk pertukaran antar jenis moda transportasi yang ada tersebut. Selain itu juga frekuensi operasi dari setiap moda transportasi juga menjadi tolak ukur dari aksesibilitas.

1.5 Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai mode transportasi *light rail transit* pada bab ini.

1. Apa yang dimaksud dengan moda transit?
2. Jelaskan permasalahan dalam sistem transportasi!
3. Faktor apa yang menjadi penyebab kemacetan lalu lintas?
4. Jelaskan apa yang dimaksud *density* dalam konsep *Transit-Oriented Development*!
5. Jelaskan peran *design* dalam *Transit-Oriented Development*!

BAB II

PENGANTAR SISTEM

Pada bab ini akan dibahas terkait dengan pengertian sistem, klasifikasi sistem, serta karakteristik sistem.

2.1 Pengertian Sistem

Sistem dapat diartikan sebagai sekumpulan entitas yang saling berinteraksi satu sama lain untuk mencapai beberapa tujuan (Schmidt & Taylor, 1970). Sistem dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu sistem kontinu dan diskret (Law & Kelton, 1991). Sistem kontinu adalah sebuah sistem yang variabelnya berubah secara dinamis (terus-menerus) dan selalu berhubungan dengan waktu. Sedangkan sistem diskret adalah sistem yang variabelnya berubah secara instan (langsung) pada titik yang terpisah dalam waktu pada suatu sistem, untuk bereksperimen langsung dengan sistem secara fisik dan kemudian membiarkannya beroperasi dalam kondisi baru yang diinginkan sering menimbulkan beberapa masalah.

2.2 Klasifikasi Sistem

Sistem diklasifikasikan menjadi dua, yang dapat dilihat dari sifatnya, yaitu sistem kontinu dan sistem diskret.

- Sistem kontinu adalah sistem yang variabelnya berubah secara terus menerus terhadap waktu. Contohnya saat mobil bergerak di jalanan. Saat berada mobil bergerak, maka kecepatan mobil akan selalu berubah tergantung dengan kondisi jalan. Perubahan kecepatan tersebut akan terjadi sepanjang waktu selama mobil tersebut bergerak.
- Sistem diskret adalah sistem yang variabelnya berubah pada saat-saat atau kejadian-kejadian tertentu, di mana perubahannya bisa dilihat dengan kasat mata. Contohnya sistem antrean, saat *customer* datang maka status awalnya adalah menunggu antrean. Selesai mengantre, maka status *customer* tersebut akan berubah menjadi dilayani. Hal tersebut tentunya mengakibatkan jumlah antrean menjadi berkurang.

2.3 Karakteristik Sistem

Karakteristik sistem terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu tujuan dan sasaran dari sistem, batasan dari sistem, lingkungan sistem, komponen yang ada pada sistem, penghubung atau *interface system*, proses pada sistem, masukan atau input sistem, dan yang terakhir adalah luaran atau *output* sistem. Untuk penjelasan dari masing-masing karakteristik adalah sebagai berikut:

- Sasaran (*Objectives*) atau Tujuan (*Goal*)

Karakteristik sistem yang pertama adalah sasaran atau tujuan. Suatu sistem pasti mempunyai tujuan atau sasaran untuk apa sistem tersebut. Apa bedanya sasaran dan tujuan? Pada sistem, tujuan sering kali dihubungkan dengan ruang lingkup yang lebih luas, sedangkan sasaran dalam ruang lingkup yang lebih sempit.

- Batasan Sistem (*Boundary*)

Karakter kedua adalah batasan sistem. Batasan adalah daerah yang membatasi suatu sistem dengan sistem lainnya, atau sistem dengan lingkungannya. Batasan suatu sistem menunjukkan ruang lingkup atau *scope* dari sistem tersebut, jadi memungkinkan suatu sistem untuk dipandang sebagai satu kesatuan yang terpisah dari sistem lain atau lingkungannya

- Lingkungan Sistem (*Environments*)

Karakteristik sistem yang selanjutnya yaitu lingkungan sistem. Di dalam sistem terdapat lingkungan luar yang dapat diartikan sebagai sesuatu diluar batasan dan kendali dari sistem, namun dapat mempengaruhi kinerja dan operasi sistem. Efek dari lingkungan tersebut dapat bersifat menguntungkan dan dapat juga bersifat merugikan.

- Komponen Sistem (*Components*)

Selanjutnya adalah komponen sistem. Suatu sistem terdiri dari beberapa komponen yang saling berinteraksi satu sama lain, artinya komponen-komponen tersebut akan saling bekerja sama membentuk satu kesatuan. Komponen atau elemen sistem dapat berupa subsistem atau bagian kecil dari sistem. Setiap sistem selalu dibangun dari komponen atau subsistem. Setiap subsistem mempunyai suatu fungsi tertentu dan dapat mempengaruhi proses sistem secara keseluruhan.

- Penghubung Sistem (*Interface*)
Karakteristik sistem selanjutnya adalah penghubung atau antar-muka sistem. Penghubung sistem adalah media yang menghubungkan satu subsistem dengan subsistem yang lainnya. Dengan adanya penghubung ini, memungkinkan agar sumber daya untuk dapat mengalir dari satu subsistem ke subsistem lainnya.
- Masukan (Input) Sistem
Karakteristik selanjutnya adalah masukan atau input sistem. Input merupakan sebuah masukan pada sistem yang pengaruhnya adalah untuk mendapatkan luaran sistem.
- Pengolah (Proses) Sistem
Bagian sistem yang lain adalah proses. Proses dimaksudkan untuk mengolah masukan yang ada untuk dapat menghasilkan hasil atau luaran.
- Luaran (*Output*) Sistem
Luaran adalah hasil atau *output* sistem yang berasal dari masukan sistem yang telah melalui proses pada sistem tersebut. *Output* sistem dapat berupa sesuatu yang berguna atau bisa juga berupa sisa pembuangan.

2.4 Evaluasi

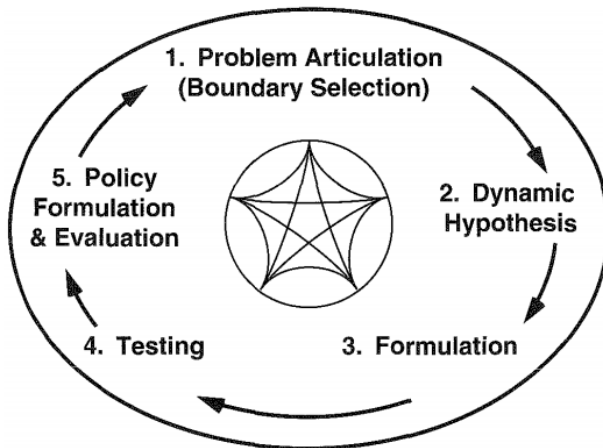
Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai sistem.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem!
2. Jelaskan klasifikasi sistem menurut perubahan status variabel nya!
3. Jelaskan karakteristik sistem dinamik!
4. Apa yang dimaksud dengan batasan sistem?
5. Apa yang dimaksud dengan penghubung sistem?

BAB III

TAHAPAN PENGEMBANGAN MODEL

Pada bagian ini akan dibahas mengenai tahapan pengembangan model. Menurut (Sterman, 2000), terdapat 5 tahapan yang dilakukan dalam proses pengembangan model sistem dinamik, kelima tahapan tersebut seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan pengembangan model sistem dinamik (Sterman, 2000)

Detail dari masing-masing tahapan dalam model sistem dinamik adalah sebagai berikut.

3.1 Problem Articulation



Tahapan pertama adalah dengan melakukan pendefinisian masalah yang akan diselesaikan menggunakan model sistem dinamik. Pada tahapan ini juga dilakukan pendefinisian variabel-variabel yang terkait di dalam masalah tersebut. Pada tahapan ini seorang pembuat model mengembangkan karakterisasi awal masalah melalui diskusi dengan klien,

dilengkapi dengan penelitian arsip, pengumpulan data, wawancara, dan observasi atau partisipasi langsung. Pemilihan tema meliputi masalah apa yang ingin diangkat dan mengapa hal itu menjadi sebuah masalah. Setelah menentukan tema, pada tahapan ini juga dilakukan pendefinisian variabel kunci yang terkait dengan masalah yang diangkat.

3.2 Formulating a Dynamics Hypothesis

Tahapan kedua dimulai dari perumusan hipotesis awal yang berisi teori terkini tentang perilaku dari permasalahan yang sifatnya sementara untuk membentuk proses pemodelan. Fokus endogen merumuskan hipotesis yang menjelaskan dinamika dan konsekuensi endogen dari struktur umpan balik (*feedback*). Pada langkah ini akan dibuat sebuah diagram kausatik/*causal loop diagram* yang akan digunakan untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat antar variabel di dalam sistem. Setelah diagram kausatik dibuat, maka akan dilanjutkan dengan mengubah diagram tersebut menjadi diagram simulasi atau bisa disebut *flow diagram*. Pemetaan struktur sebab-akibat didasarkan pada hipotesis awal, variabel kunci, mode referensi, dan data lain yang tersedia, menggunakan *boundary adequacy* dan *causal loop diagram*. Dengan melakukan simulasi tersebut, hipotesis dinamik akan diambil dengan melihat struktur hubungan antar variabel. Variabel direalisasikan oleh tautan sebab akibat, dan ditunjukkan dengan panah. Setiap tautan sebab-akibat diberi polaritas, baik positif (+) atau negatif (-) untuk menunjukkan bagaimana perubahan variabel dependen, ketika variabel independen berubah. Pada Tabel 3.1 menjelaskan mengenai simbol dalam *causal loop diagram*.

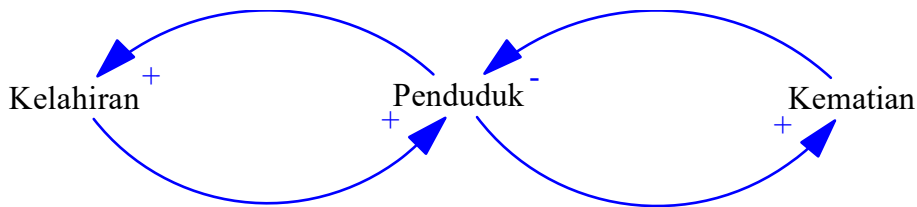
Tabel 3.1 Simbol *Causal Loop Diagram*

No	Simbol	Keterangan
1		Jika A bertambah maka B menurun, atau jika A menurun maka B akan meningkat di atas (di bawah) dalam hal akumulasi A mengurangi B.
2		Jika A bertambah maka B akan naik, atau jika A berkurang maka B juga akan berkurang di atas (di bawah) dalam hal akumulasi A menambah B.

Sumber: (Stermann, 2000)

Contoh *causal loop diagram* dapat dilihat pada Gambar 3.2. Diagram umpan balik tersebut terdiri atas umpan balik positif yaitu hubungan

antara kelahiran dengan penduduk, di mana semakin meningkatnya jumlah kelahiran maka semakin bertambah juga jumlah penduduk, dan sebaliknya semakin banyak jumlah penduduk maka jumlah kelahiran juga semakin meningkat. Di sisi lain, ada lingkaran umpan balik negatif seperti hubungan antara kematian dengan penduduk, di mana semakin banyak jumlah kematian maka jumlah penduduk akan semakin berkurang, dan sebaliknya semakin banyak jumlah penduduk maka jumlah kematian akan semakin banyak.

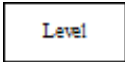
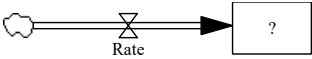



Gambar 3.2 Contoh *Causal Loop Diagram*

3.3 Formulating a Simulation Model

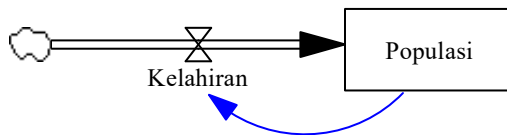
Tahapan yang ketiga adalah menguji *dynamics hypothesis* dari *causal loop diagram* untuk model formal yang ditentukan sepenuhnya, lengkap dengan persamaan, parameter, dan kondisi awal. Pada tahap ini dilakukan konversi variabel di dalam sistem menjadi persamaan, *level*, *rate*, dan *auxiliary*. Pada tahap ini juga akan ditentukan estimasi nilai awal dan nilai parameter. *Stock and flow* digunakan untuk menggambarkan struktur aliran secara rinci sehingga dapat digunakan untuk menyusun model matematis. Pada diagram alir (simulasi) terdapat hubungan antar variabel dan sudah dinyatakan dalam bentuk simbol-simbol. Dalam pemodelan sistem dinamik terdapat besaran-besaran pokok yang terdiri atas variabel-variabel. Variabel yang digunakan adalah variabel “*level*”, variabel “*rate*”, dan variabel “*auxiliary*” (Powersim, 2005). Pada Tabel 3.2 akan menjelaskan terkait simbol dari *stock and flow diagram* pada sistem dinamik.

Tabel 3.2 Simbol *Stock and Flow*

No	Simbol	Keterangan
1		"Level" merupakan variabel yang menyatakan akumulasi dari sejumlah benda (<i>nouns</i>) seperti uang, barang, orang, dan lain-lain, terhadap waktu. "Level" dipengaruhi oleh variabel "rate" dan dinyatakan dengan simbol persegi panjang. Bagian tengah simbol biasanya dirubah untuk menunjukkan nama variabel.
2		"Rate" merupakan suatu aktivitas, pergerakan (<i>movement</i>), atau aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu variabel "level". Variabel "Rate" adalah satu-satunya variabel yang dapat mempengaruhi variabel "level" (Tasrif, 2004). Dalam Powersim simbol variabel ini dinyatakan dengan kombinasi antara "flow" dan "auxiliary". Simbol ini harus terhubung dengan sebuah variabel "level".
3		"Auxiliary" adalah variabel tambahan untuk menyederhanakan hubungan dan informasi antara "level" dan "rate" (Shintasari, 1988). Seperti variabel "level", variabel "auxiliary" juga dapat digunakan untuk menyatakan sejumlah benda (<i>nouns</i>). Simbol "auxiliary" dinyatakan dengan sebuah lingkaran.

Sumber: (Powersim, 2005)

Contoh *stock and flow diagram* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Melalui struktur sistem kelahiran tersebut, dapat diketahui bahwa setiap kelahiran akan berpengaruh pada jumlah populasi penduduk, sehingga apabila jumlah kelahiran meningkat maka jumlah populasi pun juga akan meningkat. Sedangkan apabila jumlah kelahiran menurun maka jumlah populasi pun akan ikut menurun. Populasi sendiri juga dapat mempengaruhi variabel kelahiran. Tanda panah (*information link*) tersebut menunjukkan bahwa populasi mempunyai pengaruh terhadap kelahiran. Artinya, semakin tinggi jumlah populasi maka tidak menutup kemungkinan juga akan mempengaruhi jumlah kelahiran. Hal ini dimungkinkan karena dengan meningkatnya jumlah populasi, maka akan membuka peluang proses perkawinan.



Gambar 3.3 Contoh *Stock and Flow Diagram*

3.4 Testing

Pada tahapan keempat akan dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan setelah persamaan dan parameter pada setiap bagian telah dirasa sesuai dan lengkap. Pengujian bertujuan untuk membandingkan perilaku aktual dari sistem yang sebenarnya dengan perilaku yang disimulasikan pada model yang telah dibuat. Konsistensi dimensi setiap persamaan harus diperiksa, tingkat sensitivitas perilaku model dan rekomendasi kebijakan pun harus dinilai berdasarkan ketidakpastian dalam asumsi maupun *structural*. Langkah ini penting dilakukan untuk melakukan perbandingan antara nilai luaran yang dihasilkan dari simulasi pada model dengan nilai luaran dari sistem nyata. Sebelum melakukan langkah ini, verifikasi dan validasi pada model harus dilakukan terlebih dahulu. Verifikasi adalah proses untuk memastikan bahwa cara atau tahapan yang digunakan dalam membuat sebuah model sudah dilakukan dengan benar. Sementara validasi adalah proses untuk memastikan bahwa model yang dibuat sudah sesuai dan benar. Proses verifikasi dan validasi selanjutnya harus dilakukan pada setiap tahapan pembuatan model.

Menurut (Daalen & W, 2001; Barlas, 1989; Forrester & Senge, 1980; Martis, 2006), validasi dalam pemodelan sistem dinamik dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti uji struktur tingkah laku model (*structure oriented behaviour test*) dengan *me-running* model, uji struktur secara langsung (*direct structure tests*) tanpa *running* model, dan perbandingan perilaku model dengan sistem nyata (*quantitative behaviour pattern comparison*).

Menurut (Barlas, 1989) proses validasi sistem dilakukan dengan dua cara pengujian yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* pada persamaan (3.1) dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada persamaan (3.2).

1. Uji Perbandingan Rata-Rata atau *Mean Comparison*

$$E_1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \% \quad (3.1)$$

Keterangan:

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

\bar{A} = Nilai rata-rata data

Di mana model dianggap valid apabila $E1 \leq 5 \%$

2. Uji Perbandingan Variasi Amplitudo atau *% Error Variance*

$$E_2 = \left| \frac{S_s - S_a}{S_n} \right| \times 100 \% \quad (3.2)$$

Keterangan:

S_s = Standar Deviasi Model

S_a = Standar Deviasi Data

Di mana model dianggap valid apabila $E2 \leq 30 \%$

3.5 Policy Design and Evaluation

Tahap kelima adalah desain kebijakan dan evaluasi. Desain kebijakan bukan hanya mengubah nilai parameter, tetapi juga mencakup pembuatan strategi, struktur, aturan, dan keputusan yang sepenuhnya baru. Dalam struktur umpan balik dari suatu sistem akan menentukan dinamika. Sebagian besar kebijakan akan melibatkan umpan balik yang dominan dengan mendesain ulang struktur stok dan aliran, menghilangkan *delay* terhadap waktu, menyalurkan informasi yang tersedia di titik keputusan utama, atau secara fundamental membuat ulang proses pengambilan keputusan aktor dalam sistem. Pada tahap ini, model yang telah dibuat dapat dijadikan acuan atau referensi untuk membuat dan mengevaluasi kebijakan yang sudah ada terkait sistem yang dimodelkan.

3.6 Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman tahapan pengembangan model pada bab ini.

1. Jelaskan beberapa tahapan dalam pengembangan model!
2. Apa yang dimaksud dengan *problem articulation*?
3. Jelaskan ruang lingkup *dynamics hypothesis*?
4. Mengapa diperlukan *testing* dalam pengembangan model?
5. Bagaimana formulasi kebijakan dapat dilakukan dengan memanfaatkan model?

BAB IV

MODEL SIMULASI

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengertian model, karakteristik model, pengertian simulasi, serta keuntungan dan kekurangan penggunaan simulasi.

4.1 Pengertian Model

Model merupakan sebuah representasi dari sistem nyata. Model dapat dikatakan baik apabila model tersebut sudah memiliki variabel dan juga perilaku (*behaviour*) yang sesuai dengan sistem nyata yang direpresentasikannya.

Untuk membuat sebuah model maka dilakukan proses pemodelan, yaitu alat bantu dalam pengambilan keputusan. Model dapat diartikan sebagai penggambaran dari suatu sistem yang telah dibatasi. Sistem yang dibatasi ini dimaksudkan sebagai sistem yang meliputi semua konsep dan variabel yang saling berhubungan dengan permasalahan dinamik (*dynamic problem*) yang ditentukan (Richardson & A, 1986). Proses pemodelan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa aturan yaitu elaborasi, analogi dan dinamis (Suryani, 2005). Prinsip elaborasi dimulai dari yang proses pengembangan model yang paling sederhana, kemudian secara bertahap dielaborasi menjadi model yang representatif. Penyederhanaan masalah dapat dilakukan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang diperlukan, sesuai dengan tujuan pembuatan model. Analogi adalah melakukan pengembangan model dengan menggunakan beberapa teori yang sudah umum dan dikenal luas. Pengembangan model dengan dinamis bukan suatu proses mekanis dan linier, sehingga dalam prosesnya mungkin saja terjadi pengulangan (Suryani, 2005).

4.2 Karakteristik Model

Model yang dikembangkan dengan sistem dinamik mempunyai karakteristik sebagai berikut (Noorsaman & Wahid, 1998):

1. Sederhana dalam *mathematical nature*.
2. Dapat melibatkan banyak variabel.
3. Istilah atau tata namanya harus sinonim dengan terminologi dunia industri, ekonomi, dan sosial.
4. Menggambarkan hubungan sebab akibat dari sistem.
5. Menghasilkan perubahan yang tidak kontinu jika dalam keputusan memang dibutuhkan.

4.3 Pengertian Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer dan bertujuan untuk mengevaluasi suatu model secara numerik. Evaluasi dilakukan dengan pengumpulan data-data yang relevan untuk memperkirakan karakteristik sebenarnya dari model tersebut (Law & Kelton, 1991). Simulasi sendiri merupakan proses pembuatan sebuah model berdasarkan dari suatu sistem nyata dan melakukan berbagai percobaan dengan model tersebut, dengan tujuan untuk memahami tingkah laku dari sistem atau untuk mengevaluasi berbagai strategi terkait pengoperasian sistem (Tasrif, 2004). Model simulasi sangat efektif digunakan untuk sistem yang relatif kompleks, sebagai alat dalam proses pemecahan analitis dari model tersebut. Penggunaan simulasi akan dapat memberikan gambaran yang lebih luas dalam menyelesaikan suatu masalah (Suryani, 2005). Definisi simulasi menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

Simulasi merupakan suatu model sistem di mana komponennya di presentasikan oleh para profesor aritmetika, dan logikanya dijalankan dengan komputer untuk memperkirakan sifat-sifat dinamis dari sistem tersebut (Emshoff & Simon, 1970).

Simulasi adalah sebuah proses memodelkan dari sistem nyata yang dilanjutkan dengan eksperimen terhadap model untuk mempelajari perilaku dari sistem atau mengevaluasi strategi (Shanon, 1975).

Simulasi adalah tiruan dari sistem nyata yang dikerjakan secara manual oleh komputer dan kemudian dilakukan observasi dan evaluasi untuk mempelajari karakteristik dari sistem tersebut (Banks & Carson, 1990).

Simulasi merupakan sekumpulan metode dan aplikasi untuk meniru atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata, yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu (Law & Kelton, 1991).

Simulasi adalah suatu proses untuk membangun sebuah model dari sistem nyata dan selanjutnya melakukan eksperimen dengan model tersebut untuk menjelaskan perilaku sistem, mempelajari kinerja sistem, atau untuk membangun sistem baru sesuai dengan kinerja yang diinginkan (Khosnevis, 1994).

Menurut (Herrel, et al., 2004) di dalam bukunya yang berjudul *Simulation Using Promodel* simulasi dibagi berdasarkan sifat dan cara kerjanya. Secara umum kategori simulasi dibedakan menjadi tiga yaitu:

1. Simulasi sistem diskret atau simulasi sistem kontinu

Simulasi diskret dapat diartikan sebagai simulasi di mana perubahan status variabelnya terjadi pada titik-titik tertentu pada waktu diskret. Perubahan status tersebut dipicu oleh suatu kejadian yang terjadi pada waktu tertentu. Sedangkan simulasi sistem kontinu adalah simulasi di mana perubahan status variabel terjadi sepanjang waktu. Simulasi sistem kontinu menggunakan persamaan diferensial untuk menentukan tingkat perubahan status variabelnya.

2. Simulasi statis atau simulasi dinamis

Sistem statis merupakan simulasi sistem yang tidak bergantung kepada waktu, namun biasanya simulasi ini melibatkan pengambilan sampel yang acak untuk menyimulasikan *output* statistik yang dapat dianalisis. Simulasi sistem statis menghasilkan *output* melalui bilangan acak atau *random* dan berlaku hanya pada saat bilangan *random* itu dibuat. Simulasi dinamis sangat bergantung terhadap perubahan waktu, sehingga status variabelnya akan selalu berubah-ubah seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu simulasi dinamis cocok digunakan untuk memodelkan sistem yang memiliki pola yang dinamis juga, seperti sistem manufaktur dan jasa.

3. Simulasi stokastik atau simulasi deterministik

Simulasi stokastik dan simulasi deterministik adalah simulasi di mana variabel yang masukannya (*input*) bersifat acak atau *random*. Dalam simulasi stokastik, simulasi harus dijalankan secara berulang atau dengan beberapa replikasi untuk bisa mendapatkan luaran (*output*) yang akurat. Sedangkan pada simulasi deterministik, variabel *input* tidak ada satu pun yang sifatnya acak. Pada simulasi deterministik, *output* yang dihasilkan akan bersifat konstan dan tergantung terhadap variabel inputnya. Simulasi

deterministik hanya perlu dijalankan sebanyak satu kali untuk mendapatkan *output* yang optimal, berbeda dengan simulasi stokastik yang harus dijalankan berulang-ulang.

4.4 Keuntungan dan Kekurangan Penggunaan Simulasi

Keuntungan penggunaan simulasi menurut (Chase & N, 1991) adalah sebagai berikut:

1. Simulasi digunakan untuk mengembangkan model dari sistem nyata, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap sistem nyata tersebut.
2. Model simulasi memberikan replikasi yang lebih realistis terhadap sistem nyata karena asumsi yang diperlukan lebih sedikit.
3. Simulasi jauh lebih umum dibandingkan model matematik dan dapat digunakan pada permasalahan yang tidak dapat diselesaikan menggunakan model analitik matematik.

Sedangkan kekurangan dalam penggunaan simulasi menurut (Siagian, 1987) adalah sebagai berikut:

1. Simulasi tidak menghasilkan sebuah jawaban, tetapi menghasilkan cara untuk menilai jawaban termasuk jawaban optimal. Simulasi bukan sebuah proses yang selalu presisi dan juga bukan sebuah proses optimisasi.
2. Tidak semua situasi dapat dinilai dengan simulasi, kecuali situasi yang memuat ketidakpastian.
3. Model simulasi yang baik dan efektif memerlukan waktu yang lama dan sangat mahal dibandingkan model analitik.

4.5 Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman model simulasi pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan model!
2. Jelaskan beberapa karakteristik model!
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan simulasi!
4. Jelaskan keterkaitan antara model dan simulasi!
5. Jelaskan beberapa keuntungan dengan menggunakan metode simulasi!

BAB V

SISTEM DINAMIK

Bab ini membahas tentang pengertian sistem dinamik, karakteristik sistem dinamik, implementasi sistem dinamik, serta kelebihan sistem dinamik.

5.1 Pengertian Sistem Dinamik

Jay W. Forrester pertama kali mengenalkan konsep sistem dinamik di Massachusetts Institute of Technology (MIT). Forrester mengatakan bahwa sistem dinamik adalah suatu metode pemecahan masalah kompleks, yang timbul karena adanya kecenderungan sebab-akibat dari berbagai macam variabel di dalam sistem (Forrester, 1999). Sistem dinamik digunakan sebagai metode untuk mempermudah dalam memahami sistem yang kompleks (Sterman, 2000). Sistem dinamik dapat digunakan untuk memodelkan perilaku yang non-linier serta interaksi dinamis (umpan-balik) antar faktor yang saling berhubungan, dapat dengan mudah menangani suatu masalah dengan membuat suatu skenario tindakan atau perubahan sistem (Walters, et al., 2016).

Sampai saat ini, metode sistem dinamik terus berkembang dan digunakan semenjak pemanfaatannya dalam bidang-bidang sosial dan ilmu-ilmu fisik. Pengertian sistem dinamik menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

Sistem dinamik merupakan metodologi yang digunakan untuk memahami suatu masalah yang kompleks. Metodologi ini menitikberatkan kepada kebijakan dan bagaimana kebijakan tersebut dapat menentukan tingkah laku dari masalah-masalah yang dapat dimodelkan oleh sistem dinamik (Richardson & A, 1986).

Sistem dinamik merupakan suatu metode analisis permasalahan yang menggunakan waktu sebagai salah satu faktor penting, dan dibuat sesuai dengan tujuan dari sistem nyata serta dapat dipertahankan dari gangguan di luar sistem (Coyle, 1996).

Sistem dinamik adalah suatu bidang untuk memahami bagaimana sesuatu berubah sesuai dengan waktu. Sistem ini dibentuk oleh persamaan-persamaan diferensial. Persamaan diferensial digunakan untuk masalah-masalah biofisik yang diformulasikan sebagai keadaan di masa mendatang yang bergantung dari keadaan sekarang (Forrester, 1999).

Sistem dinamik adalah suatu metode pemahaman, pendeskripsian kualitatif, dan analisis sistem yang kompleks dalam ruang lingkup proses, informasi, dan struktur organisasi, yang memudahkan dalam simulasi pemodelan kuantitatif dan analisis kebijakan dari struktur sistem dan kontrol (Daalen & W, 2001).

5.2 Karakteristik Sistem Dinamik

Berikut merupakan beberapa karakteristik dari model sistem dinamik.

1. Perubahan perilaku sistem selalu berkaitan dengan waktu.
2. Dinamika sistem yang kompleks.
3. Adanya umpan balik tertutup.
4. Adanya umpan balik ini menggambarkan informasi baru tentang keadaan sistem, yang kemudian akan menghasilkan keputusan selanjutnya.

5.3 Implementasi Sistem Dinamik

Sistem dinamik dapat digunakan pada hampir seluruh level keputusan, baik operasional, taktikal, maupun strategis. Sistem dinamik dapat diimplementasikan pada beberapa studi kasus berikut.

1. *Software engineering*
2. *Supply chain management*
3. *Dynamic decision making*
4. *Business process development*
5. *Energy and the environment*
6. *Public management and policy*
7. *Strategy and corporate planning*
8. *Complex nonlinear dynamics*
9. *Biological and medical modeling*
10. *Theory development in the natural & social sciences*

5.4 Kelebihan Model Sistem Dinamik

Terdapat beberapa kelebihan dari model sistem dinamik, antara lain:

1. Model sistem dinamik merupakan metode yang sangat baik untuk memahami permasalahan yang muncul dalam *closed-loop systems*, sistem di mana kondisi diubah menjadi informasi yang dapat diamati dan ditindaklanjuti untuk mengubah kondisi awal.
2. Model sistem dinamik dapat dengan mudah diperluas atau direvisi untuk menjawab pertanyaan tambahan yang muncul.
3. Simulasi akan mempermudah kita untuk mengamati bagaimana interaksi kompleks dalam model bekerja pada waktu yang bersamaan.
4. Dapat digunakan untuk menguji berbagai kebijakan dengan cepat untuk melihat penerapannya dalam jangka panjang. Artinya bahwa model akan mewakili teori tentang apa yang menyebabkan suatu hal menjadi permasalahan dan apa yang dapat dilakukan untuk memecahkan permasalahan tersebut.

5.5 Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai sistem dinamik pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem dinamik!
2. Jelaskan karakteristik dari sistem dinamik!
3. Jelaskan tahapan yang diperlukan dalam implementasi sistem dinamik!
4. Jelaskan penerapan sistem dinamik di berbagai bidang!
5. Jelaskan beberapa kelebihan model sistem dinamik!

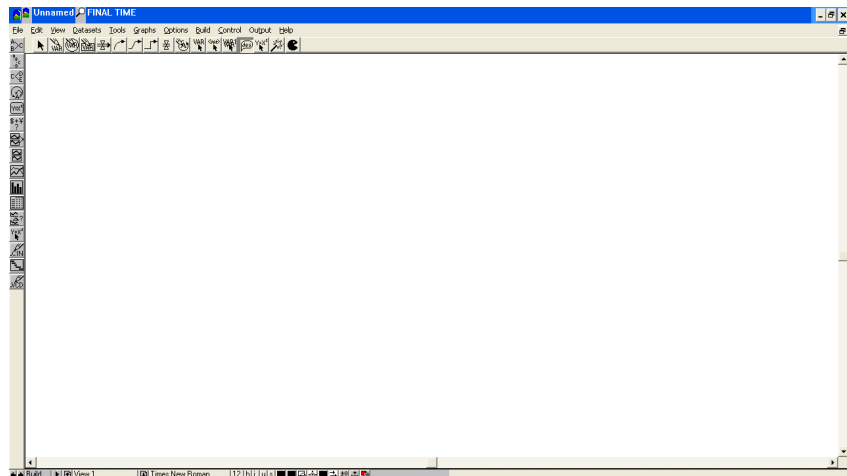
BAB VI

VENTANA SIMULATION SEBAGAI SARANA PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK

Pada bab ini akan dibahas tentang pengantar Ventana Simulation (Vensim), fasilitas-fasilitas di dalam Vensim, serta fungsi-fungsi di dalam Vensim.

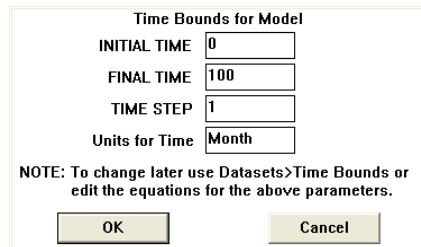
6.1 Pengantar Ventana Simulation (Vensim)

Vensim adalah alat pemodelan visual yang mempermudah kita untuk membuat konsep, mendokumentasikan, menyimulasikan, menganalisis, dan mengoptimalkan model sistem dinamik. Vensim menyediakan cara yang mudah dan sederhana untuk dapat membangun model simulasi, baik itu *causal loop diagram* (CLD) atau *stock and flow diagram* (SFD). Ketika pertama kali membuka Vensim, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Antarmuka Vensim

Ketika akan membangun sebuah model, maka pilih menu *file* kemudian pilih *new*, setelah itu antarmuka Vensim akan menampilkan *model setting* yang terdiri atas *initial time* yang berisikan waktu awal simulasi, *final time* yang berisi waktu akhir simulasi, dan *time step* yang digunakan untuk memilih data berdasarkan interval waktu yang diinginkan. Untuk memperjelas paparan mengenai *model setting* seperti terlihat pada Gambar 6.2.

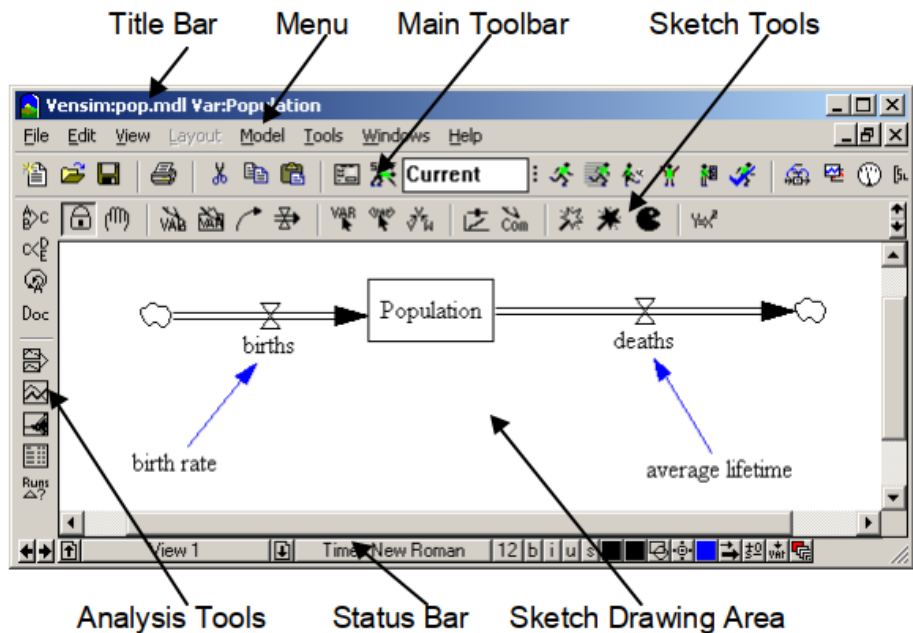


Gambar 6.2 Antarmuka Model *Setting* pada Vensim

Pada Gambar 6.2 *initial time* diisi dengan nol (0) dan *final time* diisi dengan 100, dengan satuan waktu dipilih *month* (bulan), artinya simulasi yang akan dibuat mulai dari bulan ke-0 hingga bulan ke-100. Selain itu model juga dapat dibuat dengan satuan *year* (tahun), contohnya *initial time* 2001 hingga *final time* 2021, tergantung kebutuhan.

6.2 Fasilitas-Fasilitas di dalam Vensim

Vensim menggunakan antarmuka yang dapat dianggap sebagai *workbench* atau seperangkat *tools* untuk membuat model. Jendela utama Vensim adalah sebuah *Workbench*, yang selalu menyertakan *title bar*, *menu*, *toolbar*, dan *analysis tools*. Ketika Vensim membuka model (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.3), *sketch tools* dan *status bar* juga akan muncul.



Gambar 6.3 Jendela Utama Vensim

6.2.1 Tittle Bar

Title bar menunjukkan dua *item* penting: model yang terbuka (misalnya, Sales.mdl) dan *workbench variabel* (misalnya, sales force productivity).



Workbench Variable adalah variabel apapun dalam model yang telah dipilih dan yang diinginkan untuk diketahui informasi lebih lanjutnya, seperti perilaku dinamis variabel tersebut. *Workbench Variable* dipilih dengan mengklik variabel atau dengan menggunakan *variable selection control* di Control Panel ("Control Panel" pada Bab ini).

6.2.2 Menu

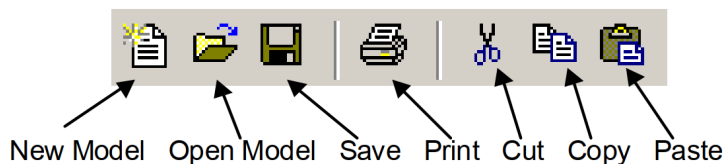
Banyak *operation* di Vensim yang dapat dilakukan di menu.



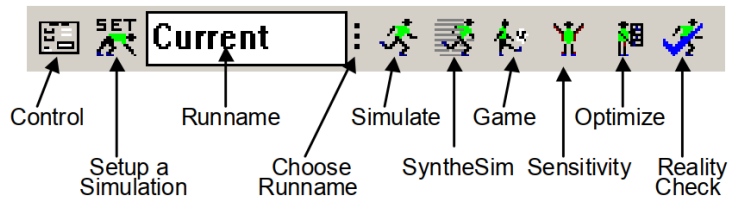
- Menu **File** berisi fungsi-fungsi umum seperti *Open Model*, *Save*, *Print*, dan lain-lain.
- Menu **Edit** memungkinkan untuk menyalin dan menempelkan bagian tertentu dari model. Serta dapat digunakan untuk mencari variabel dalam model yang dibuat.
- Menu **View** memberikan pilihan untuk memanipulasi sketsa model dan untuk melihat model sebagai teks saja (hanya tersedia di Vensim Professional dan DSS).
- Menu **Layout** digunakan untuk mengubah posisi dan ukuran elemen dalam sketsa.
- Menu **Model** menyediakan akses ke Simulasi *Control* dan kotak dialog *Time Bounds*, tombol fitur pemeriksaan model, serta mengimpor dan mengekspor kumpulan data.
- Menu **Tools** digunakan untuk mengatur opsi global di dalam Vensim, dan memungkinkan untuk memanipulasi *analysis tools* dan *sketch tools*. Di Vensim PLE dan PLE Plus terdapat menu **Options** yang menggantikan menu **Tools**.
- Menu **Windows** memungkinkan untuk beralih di antara berbagai jendela yang terbuka.
- Menu **Help** menyediakan akses ke sistem bantuan *online*.

6.2.3 Toolbar

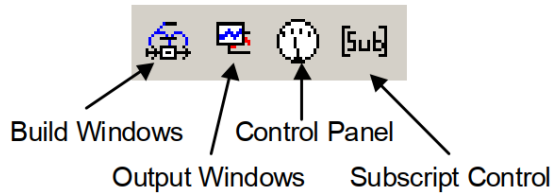
Fitur *toolbar* menyediakan tombol untuk beberapa aktivitas yang paling umum digunakan. Satu set tombol pertama dalam mengakses beberapa *item* menu **File** dan **Edit**.



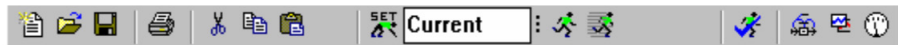
Set tombol berikutnya dan kotak edit **Runname** digunakan untuk menyimulasikan model.



Beberapa tombol terakhir digunakan untuk mengakses *Window Classes*. Klik tombol untuk menampilkan jenis dari jendela tersebut.

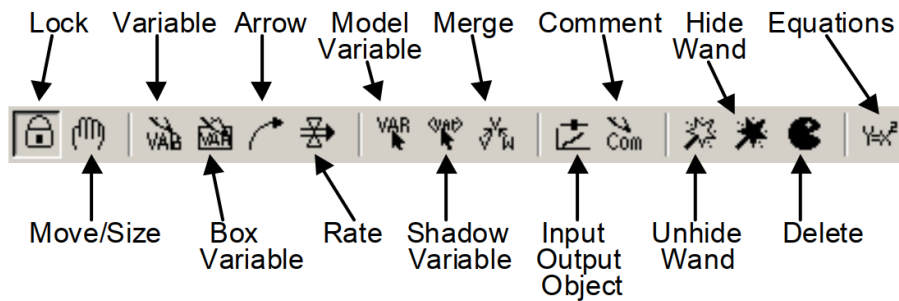


Tampilan *toolbar* akan bergantung pada konfigurasi Vensim yang digunakan. Beberapa konfigurasi memiliki tombol yang lebih sedikit daripada yang ditunjukkan di atas. Misalnya *toolbar* Vensim PLE muncul sebagai berikut:



6.2.4 Sketch Tools

Sketch tools dikelompokkan ke dalam *sketch toolset*. Vensim PLE dan PLE Plus hanya memiliki *sketch toolset* bawaan, akan tetapi konfigurasi lainnya juga memungkinkan untuk memilih dan memodifikasi *sketch toolset* tersebut dengan menambahkan, memindahkan serta mengubah tindakan dari *tools* yang berbeda. Kumpulan *tools* yang disesuaikan dapat disimpan ke *file* dan dibuka kembali untuk digunakan nanti. *Sketch toolset* bawaan (*default.sts*) berisi sebagian besar *sketch tools* yang dibutuhkan untuk membangun model.



Vensim PLE dan PLE Plus tidak mempunyai *tools Model Variable, Merge, Unhide Wand* atau *Hide Wand tools* dan Vensim PLE tidak mempunyai *tools Input Output Object tools*.

Sketch tools dapat dikonfigurasi dengan mengklik kanan pada *tools* dan mengubah opsinya. Jika ingin mengubah konfigurasi *tools*, akan muncul pernyataan jika ingin menyimpan perangkat *sketch* saat keluar dari Vensim. Mengklik **Yes** akan mengganti *toolset* yang lama, dan **No** maka akan kembali ke konfigurasi awal sebelum dilakukan perubahan (akan kehilangan perubahan tersebut). Mengklik **Cancel** memungkinkan untuk menggunakan menu *Tools* untuk menyimpan *toolset* dengan nama baru sebelum keluar. Tidak ada batasan jumlah *toolset* yang di simpan, tetapi sebagian besar pengguna merasa paling mudah untuk menggunakan kumpulan *sketch toolset* yang dikonfigurasi sesuai kebutuhan mereka.

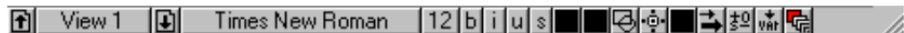
Sketch tools di *sketch toolset* bawaan adalah:

- **Lock**—mengunci sketsa. *Pointer* dapat memilih *sketch objects* dan *Workbench Variable*, tetapi tidak dapat memindahkan *sketch objects*.
- **Move/Size**—memilih, memindahkan, dan mengubah ukuran *sketch objects*: *variable*, *arrow*, dan lain-lain.
- **Variable**—membuat variabel (konstanta, *auxiliary* dan data).
- **Box Variable**—membuat variabel dengan bentuk kotak (digunakan untuk *level* atau *stock*).
- **Arrow**—membuat panah lurus atau melengkung.
- **Rate**—membuat *rate* (atau *flow*), terdiri dari panah tegak lurus, katup dan *source* dan *sink* (awan) jika diperlukan.
- **Model Variable**—menambahkan variabel model dan penyebab variabel tersebut ke dalam *sketch view*.

- **Shadow Variable**—menambahkan variabel model yang ada ke dalam *sketch view* sebagai *shadow variable* (tanpa menambahkan penyebabnya).
- **Merge**—menggabungkan dua variabel menjadi satu variabel, menggabungkan Level ke awan yang ada, menggabungkan *arrow* ke variabel, dan melakukan operasi lain.
- **Input Output Object**—menambahkan input *sliders* dan grafik/tabel *output* ke *sketch*.
- **Sketch Comment**—menambahkan komentar dan gambar ke *sketch*.
- **Unhide Wand**—menampilkan (membuat terlihat) variabel dalam tampilan *sketch*.
- **Hide Wand**—menyembunyikan variabel dalam tampilan *sketch*.
- **Delete**—menghapus struktur, variabel dalam model, dan komentar dalam *sketch*.
- **Equation**—membuat dan mengedit persamaan model menggunakan *equation editor*.

6.2.5 Status Bar

Status bar menunjukkan keadaan sketsa dan objek dalam *sketch*. *Status bar* berisi tombol untuk mengubah keadaan objek yang dipilih, dan berpindah ke *view* lain.



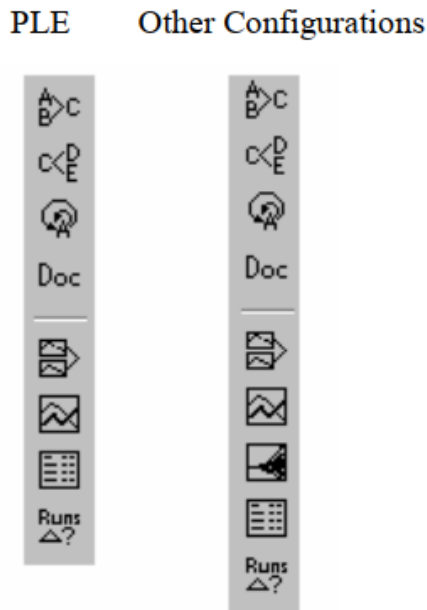
Sejumlah atribut sketsa dapat dikontrol dari *status bar*, termasuk:

- Perubahan karakteristik pada variabel yang dipilih; *font type, size, bold, italic, underline, strikethrough*.
- *Variable color, box color, surround shape, text position, arrow color, arrow width, arrow polarity*, dll.

6.2.6 Analysis Tools

Analysis tools digunakan untuk menampilkan informasi tentang *Workbench Variable*, baik tempatnya atau nilai dalam model, atau perilakunya dari *dataset* simulasi. *Analysis tools* dikelompokkan ke dalam *toolset*. Pada Vensim PLE dan PLE Plus hanya dapat menggunakan *toolset* bawaan. Dalam konfigurasi lain, *analysis toolset* dapat dimodifikasi (disebut juga *default1.vts*) dan yang lebih lengkap *toolset default2.vts* berisi lebih banyak *analysis tools* yang diperlukan untuk menyelidiki model.





Kecuali di Vensim PLE dan PLE Plus, *analysis tools* dapat dikonfigurasi untuk menunjukkan hal yang berbeda mengenai *Workbench Variable*. Untuk mengonfigurasi *tools*, pilih *tool* dengan klik kanan pada mouse dan mengubah pilihannya. *Tools* juga dapat ditambahkan ke *toolset*. Seperti halnya *sketch toolset*, jika akan membuat perubahan maka akan diminta untuk menyimpan *toolset* saat keluar dari Vensim. Beberapa *analysis toolset* yang berbeda disediakan oleh Vensim dan dapat dibuka dari menu **Tools>Analysis Toolset>Open**. *Toolset* bawaan dalam Vensim adalah seperti pada Gambar 6.4.









Gambar 6.4 Analysis Toolset


Uraian tentang fungsi *tools* adalah seperti di bawah ini. *Tools* yang ditunjukkan di bawah ini berasal dari *toolset default2.vts* yang berisi lebih banyak *tool* daripada *toolset* bawaan. Di Vensim PLE dan PLE Plus hanya tersedia *tool* bawaan seperti ditunjukkan di atas. *Statistics tool* dan *Text Editor tool* tidak tersedia di Vensim Standard dan *Venapp Editor tool* hanya tersedia di Vensim DSS.

1. Structural Analysis Tools





-  **Causes Tree**—membuat representasi grafis tipe pohon yang menunjukkan penyebab *Workbench Variable*.
-  **Uses Tree**—membuat representasi grafis tipe pohon yang menunjukkan kegunaan *Workbench Variable*.
-  **Loops**—menampilkan daftar semua *loop* umpan balik yang melewati *Workbench Variable*.
-  **Document**—meninjau persamaan, definisi, satuan ukuran, dan nilai yang dipilih untuk *Workbench Variable*.

2. Dataset Analysis Tools

-  **Causes Strip Graph**—menampilkan grafik sederhana dalam strip, memungkinkan untuk melacak kausalitas dengan menunjukkan penyebab langsung (seperti yang ditunjukkan) dari *Workbench Variable*.
-  **Graph**—menampilkan perilaku dalam grafik yang lebih besar dari Grafik Strip, dan berisi perbedaan pilihan untuk *output* dari **Strip Graph**.
-  **Sensitivity Graph**—membuat grafik sensitivitas dari satu variabel dan rentang ketidakpastian yang dihasilkan dari uji sensitivitas.
-  **Bar Graph**—membuat grafik batang dari suatu variabel pada waktu tertentu, atau menampilkan histogram dari variabel pada keseluruhan waktu, atau di seluruh simulasi sensitivitas pada suatu waktu.
-  **Table**—menghasilkan tabel nilai untuk *Workbench Variable*.
-  **Runs Compare**—membandingkan semua *lookups* dan konstanta dalam kumpulan data pertama, dengan yang ada di kumpulan data kedua.

-  **Statistics**—memberikan ringkasan statistik tentang *Workbench Variable* dan penyebab atau kegunaannya.

3. Other Tools

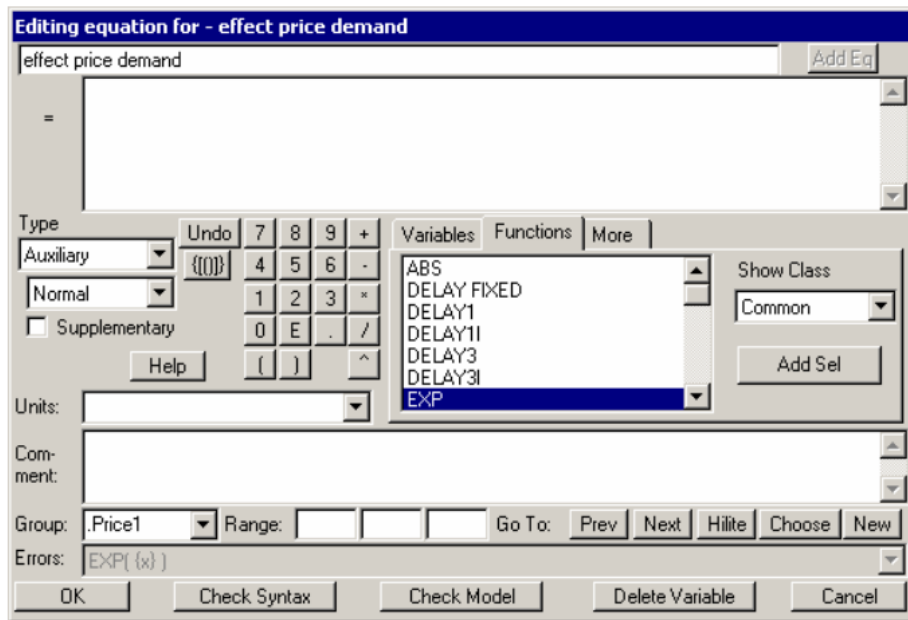
-  **Unit Check**—menyediakan cara alternatif untuk mengakses fitur pemeriksaan unit.
-  **Equation Editor**—menyediakan cara alternatif untuk mengakses persamaan pada *Workbench Variable*.
-  **Venapp Editor**—mendukung pengeditan visual Venapps.
-  **Text Editor**—editor teks dengan tujuan umum. Seperti yang ditunjukkan, dikonfigurasi untuk mengedit *file .vgd*.

Tree Diagram, Strip Graph, Sensitivity Graph, Table, dan **Statistics tool** semuanya dapat dikonfigurasi untuk menunjukkan penyebab atau penggunaan *Workbench Variable*.

6.3 Fungsi-Fungsi di dalam Vensim

Untuk memasukkan fungsi persamaan dalam Vensim, berikut langkah-langkah sederhananya (Gambar 6.5):

- Pilih *equation edit tool*.
- Klik pada variabel yang akan dimasukkan persamaannya (contoh: *effect price demand*).
- Klik pada tab **Function** di sebelah kanan.



Gambar 6.5 Memasukkan Fungsi

6.3.1 IF THEN ELSE

Pada umumnya digunakan untuk beralih antara formulasi-formulasi alternatif berdasarkan dengan beberapa kondisi. Fungsi ini digunakan untuk dua alasan. Pertama, untuk mengembalikan nilai seperti fungsi lainnya. Kedua pada pernyataan "d = IF a THEN b ELSE c" sebenarnya memberikan variabel "IF a THEN b ELSE c" ke variabel d. Variabel tersebut digunakan agar Vensim dapat membedakan variabel dari pernyataan seperti :IF: a :THEN: b :ELSE: c. Pada Vensim, pernyataan tersebut ditulis dengan d = IF THEN ELSE (a, b, c).

Contoh persamaan IF THEN ELSE terlihat seperti ini:

change in price =

*IF THEN ELSE (price > target price,
(target price-price)/time to adjust price up,
(target price-price)/time to adjust price down)*

6.3.2 SMOOTH

Fungsi SMOOTH biasanya digunakan untuk mengambil rata-rata waktu dan merepresentasikan ekspektasi. SMOOTH berbeda dari LN, EXP dan IF THEN ELSE karena mempunyai perilaku waktu yang ada di

dalamnya. Artinya, jika mengetahui nilai x , maka kita dapat melakukan kalkulasi terhadap $EXP(x)$, tetapi kita tidak dapat menentukan nilai $SMOOTH(x,4)$ jika hanya mengetahui x , kita perlu juga mengetahui nilai $SMOOTH$ sebelumnya. Hal tersebut dikarenakan fungsi $SMOOTH$ memiliki level yang dibangun secara implisit ke dalamnya. Maka ditulislah persamaan:

$$expected\ demand = SMOOTH(demand, time\ to\ form\ expectations)$$

Persamaan ini persis dengan:

$$expected\ demand = INTEG((demand - expected\ demand) / time\ to\ form\ expectations, demand)$$

Saat menggunakan fungsi $SMOOTH$, Vensim sebenarnya membuat dua variabel. Satu, *expected demand*, diperlakukan sebagai Auxiliary yang setara dengan Level yang dibuat oleh Vensim yang disebut *#SMOOTH(demand, timetoforexpectations)#*. Biasanya Vensim tidak akan menampilkannya secara terbuka, tetapi akan tersembunyi secara internal. Pembuat model dapat menampilkannya dengan mencentang **Macro Variables: Show** di tab **Settings** pada **Global Option dialog** (menggunakan *item* menu **Tools > Options**). Ini tidak tersedia di Vensim PLE atau PLE Plus.

Ada beberapa fungsi yang menggunakan variabel dan dinamika yang tersembunyi seperti *smooth*, termasuk $DELAY1$, $DELAY1I$, $DELAY3$, $DELAY3I$, $FORECAST$, $SMOOTH3$, $SMOOTH3I$, $SMOOTHI$ dan $TREND$.

6.3.3 STEP

Salah satu contoh formula STEP adalah seperti persamaan: *target revenue = 10000 + STEP(5000, 10)*

Fungsi STEP adalah fungsi input yang paling umum digunakan. Fungsi ini mengembalikan 0 hingga *time* mencapai {*stime*} dan kemudian mengembalikan {*sheight*}. Dalam contoh di atas, fungsi tersebut akan mengembalikan 0 hingga *time* 10 dan akan mengembalikan 5000, sehingga *target revenue* akan mulai dari 10000, tetap konstan hingga *time* 10 dan kemudian langsung ke 15000.

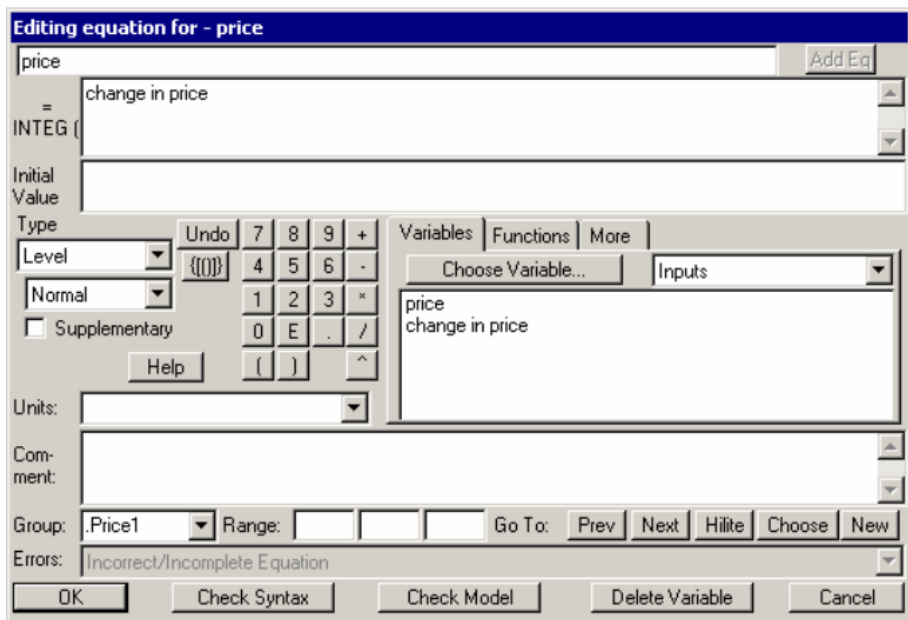
Fungsi STEP ini penting karena perubahan terhadap *step* (langkah) adalah cara yang baik agar model bisa menunjukkan mode perilaku model tersebut yang memang seharusnya dihasilkan. Misalnya dalam model

rantai pasokan, dapat menggunakan langkah perubahan permintaan untuk mengambil penawaran.

Ada beberapa fungsi yang berkaitan dengan fungsi STEP. Seperti fungsi PULSE, PULSE TRAIN, RAMP dan RANDOM. Semua fungsi tersebut mengembalikan nilai yang berbeda pada waktu yang berbeda. Fungsi RANDOM mengembalikan nilai yang berubah secara acak dari waktu ke waktu.

6.3.4 Initial Conditions

Nilai awal untuk *price* akan diberikan oleh *initial price* tetapi tidak ada tanda panah dari *initial price* ke *price*, sehingga saat membuka *equation editor* di *price*, *initial price* tidak akan tercantum sebagai input (Gambar 6.6). *Initial price* hanya akan muncul di daftar input jika sebelumnya kita telah menghubungkan *initial price* ke *price* dengan tanda panah. Hal tersebut dilakukan agar Vensim mengenali *initial price* sebagai salah satu masukan untuk *variable price*.



Gambar 6.6 Initial Condition pada Equation Editor

6.4 Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman Ventana Simulation (Vensim) sebagai sarana pengembangan model sistem dinamik pada bab ini.

1. Jelaskan mengapa Vensim banyak digunakan sebagai *tools* dalam pembuatan model sistem dinamik!
2. Jelaskan beberapa fasilitas yang disediakan oleh Vensim!
3. Jelaskan fasilitas di dalam Vensim yang dapat digunakan untuk menganalisis hasil model simulasi!
4. Jelaskan peran fungsi IF THEN ELSE dalam Vensim!
5. Jelaskan peran fungsi STEP dalam Vensim!

BAB VII

PENGEMBANGAN MODEL SKENARIO PENERAPAN MODE TRANSPORTASI LIGHT RAIL TRANSIT BERBASIS SISTEM DINAMIK

Pada bab ini akan dibahas tentang implementasi model sistem dinamik di bidang transportasi untuk mengembangkan mode transportasi *light rail transit*. Implementasi ini meliputi artikulasi masalah (*problem articulation*), hipotesis dinamika (*dynamics hypothesis*), formulasi model, validasi model, analisis hasil, dan skenario model (*policy formulation*).

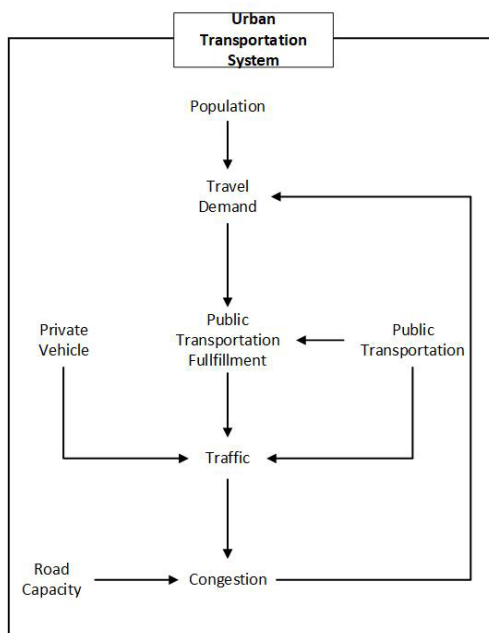
7.1 Artikulasi Masalah (*Problem Articulation*)

Pada *problem articulation* akan didefinisikan permasalahan terkait kemacetan lalu lintas dan sistem transportasi dari kota Surabaya. Permasalahan tersebut akan diselesaikan dengan menggunakan model sistem dinamik beserta variabel-variabel terkait di dalamnya. Dua hal terpenting pada tahap ini adalah mengatur *reference mode* dan menentukan *time horizon* secara eksplisit. *reference mode* dalam penelitian ini berupa karakterisasi awal masalah melalui studi pustaka, pengumpulan data, dan studi tentang hubungan antara upaya penurunan kemacetan lalu lintas dan konsep *Transit-Oriented Development* dari penelitian-penelitian sebelumnya.

Pengumpulan data dan informasi historis akan menjadi *reference mode* yang diwakili oleh pola perilaku kumpulan variabel yang meliputi aspek-aspek yang berhubungan dengan permasalahan kemacetan dan hubungannya dengan TOD dalam sistem transportasi perkotaan. Informasi historis ini sangat penting agar dapat menggambarkan pola perilaku persoalan dan memperkirakan kemungkinan perilaku permasalahan di kemudian hari. Dari beberapa data tersebut didapatkan permasalahan

yang akan diselesaikan yakni permasalahan meliputi bagaimana mendorong penggunaan moda transit dan mengurangi tingkat kemacetan.

Sesuai dengan pemaparan tersebut, selanjutnya akan dijelaskan tentang kondisi dan permasalahan lalu lintas di kota Surabaya. Kota Surabaya merupakan kota metropolitan kedua terbesar setelah kota Jakarta dengan jumlah penduduk mencapai 3 juta jiwa pada tahun 2020 (Badan Pusat Statistik, 2020). Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat diiringi juga dengan meningkatnya permintaan perjalanan dan kebutuhan akan transportasi. Kebutuhan akan transportasi umum perlu dipenuhi agar masyarakat tidak beralih menggunakan kendaraan pribadi yang berimbas pada meningkatnya jumlah kendaraan yang ada di jalan raya. Berikut merupakan gambaran dari blok diagram pada sistem transportasi perkotaan ditunjukkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Blok Diagram Urban *Transportation System*

Transportasi merupakan salah satu komponen utama dalam kehidupan masyarakat sehari-hari. Tingkat pertumbuhan penduduk dan kepadatan penduduk yang tinggi akan meningkatkan permintaan perjalanan masyarakat. Jumlah permintaan perjalanan tidak lepas dari aktivitas

sehari-hari yang dilakukan oleh masyarakat seperti bekerja, rekreasi, ataupun berbelanja (Ben-Akivai, et al., 1996). Permintaan masyarakat akan kebutuhan perjalanan tersebut yang nantinya akan mempengaruhi jumlah transportasi, baik transportasi publik maupun kendaraan pribadi. Perilaku perjalanan masyarakat akan dipengaruhi oleh preferensi masing-masing individu untuk memilih apakah ingin menggunakan kendaraan pribadi atau transportasi umum (Oxley & Whelan, 2008).

Sistem transportasi perkotaan juga tidak lepas dari faktor mobilitas. Mobilitas dapat diartikan sebagai kemudahan dalam bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya (Litman, 2015). Adanya sarana transportasi, baik transportasi umum maupun kendaraan pribadi akan dapat memenuhi mobilitas masyarakat. Akan tetapi penggunaan kendaraan pribadi untuk memenuhi mobilitas akan mempunyai dampak negatif jangka Panjang, yaitu meningkatkan jumlah volume kendaraan di jalan, yang akan berimbas pada seringnya terjadi kemacetan (Curtis, 2012). Selain itu jumlah pemenuhan transportasi umum yang tidak sesuai dengan jumlah akan kebutuhan transportasi juga akan menyebabkan masyarakat beralih untuk menggunakan kendaraan pribadi, yang berdampak pada meningkatnya jumlah kendaraan pribadi di jalanan (Stopher, 2004; Börjesson, et al., 2015).

Kemacetan sendiri terjadi akibat luas jalan yang ada tidak dapat lagi menampung jumlah banyaknya kendaraan yang masuk. Tingkat kemacetan yang tinggi akan menghambat mobilitas masyarakat, karena kendaraan akan cenderung untuk bergerak lambat atau bahkan terhenti (Rahman, 2010). Terganggunya mobilitas dikarenakan waktu perjalanan yang dibutuhkan masyarakat akan semakin meningkat akibat kecepatan kendaraan yang menurun (Faradibah & Suryani, 2019). Untuk itu perlu adanya upaya untuk mengganti penggunaan kendaraan pribadi ke penggunaan transportasi umum khususnya moda transit sebagai sarana untuk memenuhi mobilitas masyarakat, agar tingkat kemacetan dapat diturunkan (Curtis, 2012; Litman, 2015).

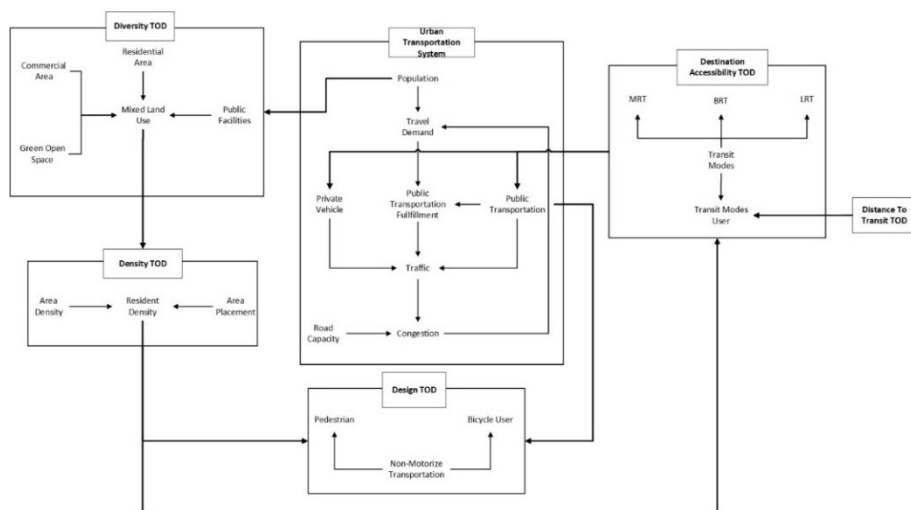
7.2 Hipotesis Dinamika (*Dynamics Hypothesis*)

Tahap kedua adalah *dynamics hypothesis*, yang digunakan untuk memperhitungkan suatu permasalahan. Hipotesis ini bersifat dinamis karena harus memberikan penjelasan tentang dinamika permasalahan

dalam kaitannya dengan umpan balik yang mendasarinya dan struktur *stock and flow* sistem. Hipotesis ini juga subjektif, oleh karena itu diperlukan pemahaman yang baik tentang suatu sistem dan perbaikan terus menerus.

7.2.1 Subsystem Diagram

Berdasarkan permasalahan dan faktor-faktor telah didapatkan dari tahap sebelumnya, kemudian dianalisis kompleksitas hubungan antara subsistem, maka diagram alir subsistem ini diperoleh menggunakan program perangkat lunak Vensim yang merupakan paket perangkat lunak simulasi untuk meningkatkan kinerja sistem nyata, yang digunakan untuk mengembangkan, menganalisis, dan mendapatkan umpan balik sistem yang dinamis. Gambaran subsistem transportasi perkotaan ditunjukkan pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Gambaran Umum Sistem Transportasi Perkotaan dengan *Transit-Oriented Development*

1. Sistem Transportasi Perkotaan (*Urban Transportation System*)

Permintaan perjalanan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Permintaan perjalanan yang semakin meningkat tersebut juga meningkatkan kebutuhan akan penggunaan transportasi, baik transportasi umum maupun kendaraan pribadi. Perilaku perjalanan masyarakat akan dipengaruhi oleh preferensi masing-masing individu

untuk memilih apakah ingin menggunakan kendaraan pribadi atau transportasi umum (Oxley & Whelan, 2008). Jika kebutuhan masyarakat akan penggunaan transportasi umum tidak terpenuhi maka masyarakat akan cenderung memilih kendaraan pribadi sebagai sarana mobilitasnya. Hal ini yang akan menyebabkan semakin meningkatnya jumlah kendaraan pribadi di jalan raya (Stopher, 2004; Börjesson, et al., 2015). Peningkatan jumlah kendaraan pribadi tersebut berisiko untuk menimbulkan kemacetan lalu lintas. Terlebih lagi jika jalan yang ada tidak dapat lagi menampung jumlah kendaraan yang datang, maka kemacetan yang terjadi akan semakin parah (*gridlock*) (Mufarida, 2021). Sebaliknya jika kebutuhan masyarakat akan transportasi umum dapat terpenuhi, maka akan cenderung mengurangi jumlah kendaraan pribadi. Terlebih lagi jika sarana transportasi yang tersedia nyaman untuk digunakan.

2. Diversitas TOD (*Diversity TOD*)

Diversitas menunjukkan keberagaman dari jenis keberagaman penggunaan lahan (*mixed use*) pada suatu area TOD. Keberagaman penggunaan lahan tersebut sangat penting karena merupakan salah satu faktor untuk mendorong berkembangnya area TOD itu sendiri. Dengan berkembangnya area TOD, maka akan mempengaruhi jumlah populasi atau residen yang akan tinggal di area tersebut (Budiati, et al., 2018). Ada beberapa jenis area atau fasilitas yang harus ada pada area TOD, antara lain yaitu: area hunian atau pemukiman, area komersial atau perkantoran, area retail atau pertokoan, dan area komunitas atau fasilitas umum (Kamruzzaman, et al., 2015). *Diversity* dipengaruhi oleh jumlah populasi sebuah kota serta seberapa banyak jumlah penggunaan lahannya, dan akan berdampak pada meningkatnya kepadatan (*density*) di area TOD.

3. Kepadatan TOD (*Density TOD*)

Density atau kepadatan menggambarkan bagaimana kepadatan penduduk di area transit. Kepadatan tersebut dipengaruhi oleh jumlah populasi area *mixed-use*, serta penempatan berbagai area keberagaman lahan yang harus disesuaikan agar area transit tertata dan mengurangi risiko *urban sprawl*. Secara umum *density* dibagi menjadi dua, yaitu *low density* (kurang dari 60 orang) dan *high density* (lebih dari 60 orang) (Vos, et al., 2014). karakteristik *density* yang rendah (*low-density*) akan mengakibatkan tingginya ketergantungan untuk menggunakan kendaraan

pribadi yang akan berdampak pada tingginya angka kemacetan dan berkurangnya aksesibilitas (Curtis, 2012). Sedangkan karakteristik *density* yang tinggi (*high density*) memungkinkan untuk meningkatkan investasi terhadap moda transit, yang berdampak pada meningkatnya aksesibilitas dan penggunaan transportasi publik agar bisa menstimulasi pertumbuhan penumpang transit (*transit ridership*) pada area transit tersebut. Akan tetapi kepadatan yang terlalu tinggi akan menyebabkan *over-crowding*, yang efeknya akan menyebabkan suatu area malah akan menjadi kumuh dan untuk jangka panjang menyebabkan banyak permasalahan sosial (Cassel, 2009).

4. Desain TOD (*Design TOD*)

Desain bertujuan untuk dapat meningkatkan penggunaan *non-motorized transportation* (NMT). Desain lingkungan perkotaan harus dibangun agar ramah untuk digunakan oleh pejalan kaki dan pengguna sepeda (Huang, et al., 2018). Kondisi trotoar harus dapat memenuhi fungsionalitasnya sebagai lalu lintas untuk memfasilitasi pejalan kaki. Dengan desain trotoar yang memudahkan akses pejalan kaki dan pesepeda akan lebih mendorong masyarakat untuk lebih menggunakan trotoar untuk mencapai stasiun transit ataupun sekadar untuk berjalan-jalan. Kondisi trotoar pun harus aman dan bebas dari gangguan (Singh, et al., 2015)

5. Aksesibilitas ke Tempat Tujuan TOD (*Destination Accessibility TOD*)

Destination accessibility atau aksesibilitas menggambarkan kemudahan akses masyarakat untuk mencapai tujuan yang mereka inginkan. Dalam hal ini berkaitan dengan moda transportasi apa saja yang tersedia. Untuk kota yang berorientasikan transit (*transit-oriented city*) transportasi yang digunakan biasanya adalah moda transit seperti BRT, LRT, dan MRT (Zhang, 2009; Widyahari & Indradjati, 2015). Moda transit adalah moda transportasi umum yang mempunyai kelebihan dibandingkan moda transportasi konvensional yang biasanya ada di Kawasan perkotaan seperti angkutan kota (angkot) atau bajaj.

7.2.2 Boundary Adequacy

Pada tahapan *boundary adequacy* digunakan untuk membantu dalam mendefinisikan batasan model penelitian. Tahapan *boundary*

adequacy digunakan untuk membantu untuk menentukan batasan model penelitian. Tahap *boundary adequacy* dilakukan dalam pemodelan untuk memastikan bahwa model yang dibangun sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan, yaitu dengan membuat daftar variabel yang perlu dimasukkan ke dalam model, di mana variabel-variabel tersebut dihubungkan satu sama lain (Sterman, 2000). Variabel endogen adalah variabel-variabel yang terlibat langsung dalam *loop* umpan balik sistem, sedangkan variabel eksogen adalah variabel yang nilainya tidak dipengaruhi secara langsung oleh sistem. Menurut (Albin, 1997) ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan pemilihan variabel, antara lain:

1. Variabel yang dimasukkan harus benar-benar diperlukan, pembuat model harus menentukan bahwa variabel yang ada benar-benar digunakan pada model sehingga tidak ada variabel yang perlu dikesampingkan dalam model sehingga dapat menghasilkan dan merepresentasikan suatu perilaku yang diinginkan.
2. Variabel yang mempunyai makna yang sama harus digabungkan jika dalam penggabungan tersebut tidak mengubah sifat dari masalah dan tujuan model. Semakin sedikit variabel yang mempunyai makna serupa maka akan menghindari komplikasi yang tidak perlu. Dan jangan menggabungkan variabel jika hal itu menciptakan model yang tidak lagi mencerminkan kondisi nyata.
3. Variabel harus memiliki penamaan yang jelas, dan harus dapat diukur perkembangannya apakah meningkat ataupun menurun.

Untuk memudahkan dalam pembuatan *boundary adequacy*, maka batasan variabel didasarkan pada lima submodel yakni sistem transportasi perkotaan, diversitas TOD, desain TOD, densitas TOD dan aksesibilitas TOD. Pertama, daftar variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel *Urban Transportation System* seperti pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Boundary Adequacy Submodel Urban Transportation System

Submodel	Variabel	Sumber
Urban Transportation System	<ul style="list-style-type: none"> • Population • Death Rate • Birth rate 	(Haghshenas, et al., 2014) (Suryani, et al., 2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Travel Demand 	(Ewing & Cervero, 2010) (Singh, et al., 2014)
	<ul style="list-style-type: none"> • Fulfillment of Public Transportation 	(Stopher, 2004) (Mortazavi & Akbarzadeh, 2017) (Suryani, et al., 2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Daily Traffic 	(Litman, 2015) (Suryani, et al., 2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Private Vehicle • Pv Growth • Cars • Motorcycle 	(Oxley & Whelan, 2008) (Litman, 2015) (Suryani, et al., 2020)
	<ul style="list-style-type: none"> • Public Transportation • Pt Growth • Lyn • Bus 	(Zhang, 2009) (Tahir, 2012) (Litman, 2015)
	<ul style="list-style-type: none"> • Road Capacity • Road Width • Road Separation • Road Lane • Road Basic Capacity 	(Rahman, 2010) (Zulfikar, et al., 2013)
	<ul style="list-style-type: none"> • Congestion 	(Nguyen-Phuoc, et al., 2018) (Suryani, et al., 2020)

Kedua, daftar variabel-variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel diversitas TOD seperti pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Boundary Adequacy Submodel Diversity TOD

Submodel	Variabel	Sumber
Diversity TOD	• Green Open Space Factor	(Hasibuan, et al., 2014) (Rusiawan, et al., 2015)
	• Commercial Area Factor	(Kamruzzaman, et al., 2015) (Kumar, et al., 2020)
	• Residential Factor	(Kamruzzaman, et al., 2015) (Kumar, et al., 2020)
	• Public Facilities Factor	(Kamruzzaman, et al., 2015) (Budiati, et al., 2018) (Kumar, et al., 2020)
	• Transit Modes Hub Factor	(Zhang, 2009) (Ewing & Cervero, 2010)

Ketiga, daftar variabel-variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel *density* TOD seperti pada Tabel 7.3.

Tabel 7.3 Boundary Adequacy Submodel Density TOD

Submodel	Variabel	Sumber
Density TOD	• Area Population	
	• Area Placement Factor	(Widyahari & Indradjati, 2015) (Herijanto, 2018)
	• Density Space Factor	(Budiati, et al., 2018) (Huang, et al., 2018)

Keempat, daftar variable-variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel aksesibilitas TOD seperti pada Tabel 7.4.

Tabel 7.4 Boundary Adequacy Submodel Destination Accessibility TOD

Submodel	Variabel	Sumber
Destination Accessibility TOD	• LRT	(Zhang, 2009) (Tirachini, et al., 2010) (Widyahari & Indradjati, 2015)

Terakhir, daftar variabel-variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel desain TOD seperti pada Tabel 7.5.

Tabel 7.5 Boundary Adequacy Submodel Design TOD

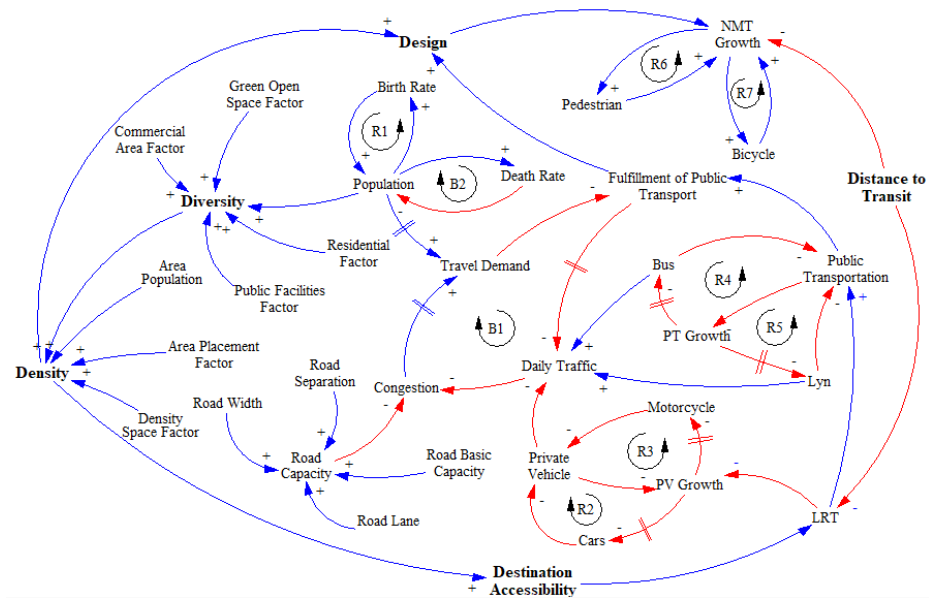
Submodel	Variabel	Sumber
Design TOD	• NMT Growth	(Manaugh & El-Geneidy, 2011) (Higgins & Kanaroglou, 2016)
	• Pedestrian	(Olaru, et al., 2011) (Singh, et al., 2015) (Higgins & Kanaroglou, 2016)
	• Bicycle	(Pucher, et al., 2011) (Singh, et al., 2015) (Huang, et al., 2018)

7.2.3 Causal Loop Diagram

Setelah dilakukan pendefinisian variabel pada tahapan *boundary adequacy*, selanjutnya model akan mulai dibangun berdasarkan hubungan antarvariabel pada submodel. Model yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah model untuk mendorong penggunaan moda transit dan memitigasi kemacetan menggunakan konsep *Transit-Oriented Development*. Pemodelan sistem dalam penelitian ini menggunakan aplikasi Ventana Simulation (Vensim).

Pembuatan model sistem dimulai dari konseptualisasi sistem yang dilakukan melalui pembuatan model konseptual, yang kemudian dideskripsikan dengan menggunakan *causal loop diagram* (CLD). Konseptualisasi sistem yang digunakan untuk menggambarkan secara umum mengenai simulasi sistem dinamik yang akan dilakukan dari komponen atau variabel-variabel, baik variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling mempengaruhi perilaku sistem.

Berikut merupakan perumusan hubungan dan keterkaitan antar variabel dalam sistem transportasi perkotaan di Kota Surabaya dan hubungannya dengan *Transit-Oriented Development* seperti pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3 Causal Loop Diagram

Pertumbuhan penduduk di daerah perkotaan dipengaruhi oleh banyaknya kelahiran (R1) dan kematian (B2). Meningkatnya jumlah penduduk tersebut akan diiringi oleh meningkatnya jumlah permintaan. Permintaan perjalanan yang semakin meningkat tersebut juga meningkatkan kebutuhan akan penggunaan transportasi umum. Permasalahannya transportasi umum di perkotaan seperti angkot (R4) dan bus kota (R5) jumlahnya semakin menurun. Sehingga pemenuhan kebutuhan masyarakat akan transportasi umum menjadi berkurang. Jika kebutuhan masyarakat akan penggunaan transportasi umum tidak terpenuhi maka masyarakat akan cenderung memilih kendaraan pribadi sebagai sarana mobilitasnya. Hal ini yang akan menyebabkan semakin meningkatnya jumlah kendaraan pribadi seperti sepeda motor (R2) dan mobil pribadi (R3) di jalan raya. Peningkatan jumlah kendaraan pribadi tersebut berisiko untuk menimbulkan kemacetan lalu-lintas. Terlebih lagi jika jalan yang ada tidak dapat lagi menampung jumlah kendaraan yang datang, maka kemacetan yang terjadi akan semakin parah (*gridlock*) (Mufarida, 2021). Parahnya kemacetan tersebut akan berdampak pada berkurangnya permintaan perjalanan masyarakat untuk menggunakan kendaraan umum (B1).

Peran *Transit-Oriented Development* (TOD) di sini adalah bagaimana membuat lingkungan perkotaan bisa nyaman digunakan oleh masyarakat untuk melakukan mobilitas dengan transportasi umum. Fokusnya adalah untuk mengarahkan pembangunan kota dari yang sebelumnya berorientasikan kendaraan pribadi (*automobile*) menjadi kota yang berbasis transit (*transit-oriented city*). Konsep TOD sendiri bertujuan untuk dapat memberikan sebuah alternatif dan solusi bagi permasalahan pertumbuhan kota-kota besar yang cenderung menyebar (*urban sprawl*). Pertumbuhan kota yang menyebar tersebut memiliki dampak negatif jangka Panjang yaitu menyulitkan untuk melakukan pembangunan secara merata dan juga meningkatkan ketergantungan akan penggunaan kendaraan pribadi.

TOD mengarahkan pembangunan perkotaan untuk lebih bisa memanfaatkan penggunaan lahan yang ada untuk berbagai macam area (*mixed-use land*) mulai dari area perkantoran, area tempat tinggal, sarana umum, dan area terbuka hijau. Penggunaan lahan tersebut juga bertujuan untuk mengatur populasi masyarakat yang tinggal di area tersebut. Dengan terkontrolnya populasi di suatu area, maka kepadatannya juga bisa diatur agar area tersebut tidak menjadi *overcrowd*. Sebaliknya jika kepadatannya rendah maka akan menghambat pembangunan sistem transportasi.

Dengan kepadatan penduduk yang tepat pada suatu area, maka pertumbuhan transportasi umum akan meningkat. Terlebih lagi jika sarana moda transit digunakan sebagai fokus utama untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan transportasi umum. Moda transit yang digunakan seperti *bus rapid transit*, atau transportasi berbasis rel seperti *light rail transit* dan *mass rapid transit* akan berpotensi untuk meningkatkan minat masyarakat untuk lebih menggunakan transportasi umum, Sehingga jumlah penggunaan kendaraan pribadi pun bisa ditekan.

Penataan kota yang teratur dan adanya moda transit harus juga dibarengi dengan pembangunan trotoar dan jalur sepeda untuk dapat meningkatkan jumlah *non-motorized transportation* (NMT) pejalan kaki (R6) dan pengguna sepeda (R7). Karena dengan adanya moda transit jumlah pengguna trotoar akan cenderung meningkat, sehingga masyarakat membutuhkan sarana trotoar yang aman dan nyaman.

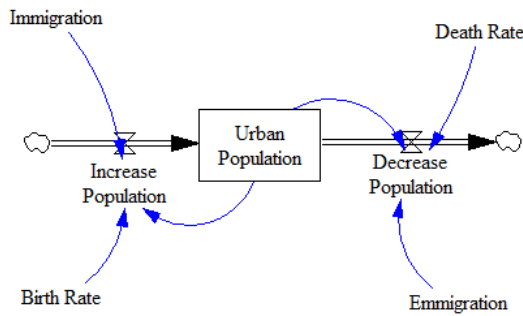
7.3 Pengolahan Data (*Formulasi Model*)

Pembuatan model sistem tahap ketiga *Formulating a Simulation Model* dilakukan menggunakan aplikasi Vensim. Pembuatan model sistem dimulai dari pembuatan model konseptual yang digambarkan melalui diagram *causal loop diagram*. Konseptualisasi sistem yang digunakan untuk menggambarkan secara umum mengenai simulasi sistem dinamik yang akan dilakukan dari komponen atau variabel-variabel, baik variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling mempengaruhi perilaku sistem. Hasil dari tahapan ini akan didapatkan beberapa diagram sebab akibat yang nantinya akan digabung menjadi sebuah sistem utuh.

Model konseptual yang telah digambarkan melalui *causal loop diagram* akan diterjemahkan menjadi model sistem dinamik yang digambarkan melalui diagram *stock* dan *flow* (*flow diagram*) yang terbentuk melalui beberapa komponen yaitu *level*, *rate*, *auxiliary*, *source* dan *sink*. Diagram tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam merancang skenario yang akan dijalankan pada model tersebut serta melakukan analisis dari hasil *output model*. Tahap pertama yaitu menentukan persamaan dari tiap-tiap variabel, sebagai formulasi pada model dilakukan dengan cara memahami dan menguji konsistensi model apakah sudah sesuai dengan tujuan dan batasan sistem yang dibuat. Setelah model dibuat, selanjutnya dilakukan tahap validasi. Pada tahap validasi, dilakukan pengecekan terhadap model yang dibuat, apakah model sudah sesuai dengan yang diinginkan, masuk akal dan persamaan maupun satuan sudah konsisten. Maka setelah itu model disimulasikan menggunakan aplikasi Vensim.

7.3.1 Submodel Populasi (*Urban Population*)

Pertumbuhan populasi penduduk dipengaruhi oleh beberapa variabel, di antaranya adalah laju kelahiran, laju kematian, laju emigrasi, dan laju imigrasi. Laju kelahiran dan imigrasi berperan dalam meningkatkan laju populasi, sedangkan laju kematian dan emigrasi berperan untuk menekan laju populasi. Jumlah populasi di kota Surabaya pada tahun 2005 tercatat sebanyak 2.698.420 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2020). Berikut adalah submodel *population* seperti terlihat pada Gambar 7.4.



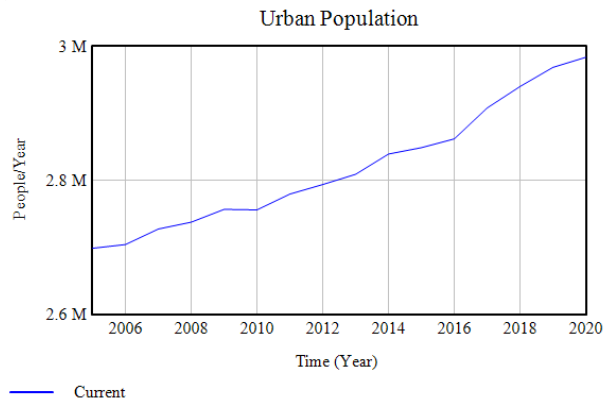
Gambar 7.4 Submodel Urban Population

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa jumlah populasi di Surabaya dari periode 2005 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung kenaikan dan penurunan populasi di Kota Surabaya. Persamaan dari variabel pada *submodel population* ditunjukkan dalam Tabel 7.6.

Tabel 7.6 Persamaan Submodel *Urban Population*

Variabel	Persamaan
<i>Urban Population</i>	<i>Increase Population - Decrease Population</i> <i>Initial value: 2.698.420</i>
<i>Increase Population</i>	$(\text{Birth Rate} + \text{Immigration}) * \text{Urban Population}$
<i>Decrease Population</i>	$(\text{Death Rate} + \text{Emmigration}) * \text{Urban Population}$

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *urban population* pada tahun 2005 hingga 2020. Grafik hasil simulasi pada *urban population* ditunjukkan pada Gambar 7.5.

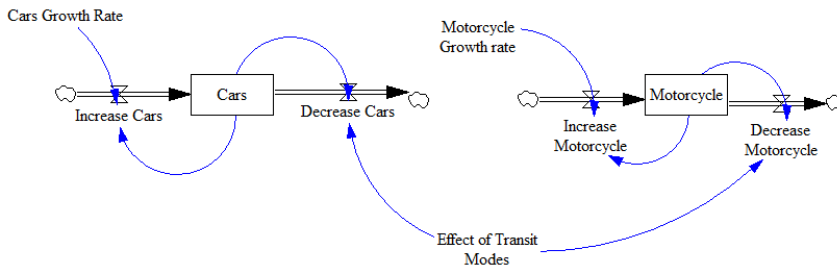


Gambar 7.5 Grafik Hasil Simulasi *Urban Population* (People)

Dari grafik *urban population* yang ditunjukkan pada Gambar 7.5. terlihat bahwa jumlah penduduk di kota surabaya terus mengalami peningkatan setiap tahunnya dalam kurun waktu 15 tahun terakhir. Tercatat rata-rata peningkatan jumlah penduduk setiap tahunnya mencapai sekitar 2,07% dan jumlahnya pada tahun 2020 mencapai sekitar 2.983.767 jiwa (Dispendukcapil, 2019; Badan Pusat Statistik, 2020).

7.3.2 Submodel Kendaraan Pribadi (*Private Vehicle*)

Kendaraan pribadi yang digunakan pada penelitian ini adalah mobil pribadi dan sepeda motor. Kedua kendaraan itu digunakan karena dianggap paling mendominasi jumlahnya di jalan raya kota Surabaya dibandingkan dengan kendaraan lainnya. Tercatat sebanyak 2.277.803 jumlah motor dan sebanyak 323.835 mobil pribadi pada tahun 2014 (Puspitasari, 2015). Jumlah tersebut berperan terhadap sekitar 86% dari seluruh total kendaraan yang ada di jalanan kota Surabaya. Dengan rincian mobil pribadi berperan terhadap 2.5% dan sepeda motor sebanyak 84% (Herijanto, 2018). Berikut adalah submodel *private vehicle* seperti terlihat pada Gambar 7.6.



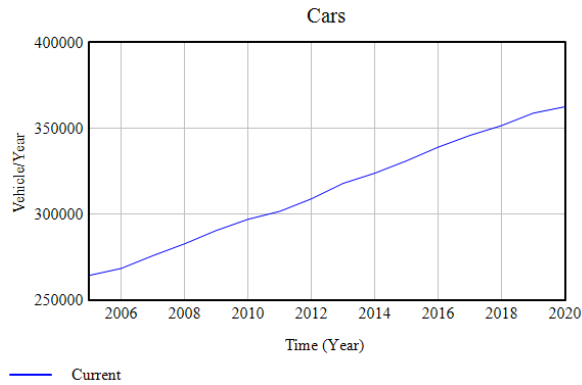
Gambar 7.6 Submodel Private Vehicle

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa jumlah kendaraan pribadi berupa jumlah sepeda motor dan jumlah mobil pribadi pada periode 2005 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung kenaikan dan penurunan jumlah mobil dan motor di kota Surabaya. Persamaan dari variabel pada submodel *private vehicle* ditunjukkan dalam Tabel 7.7.

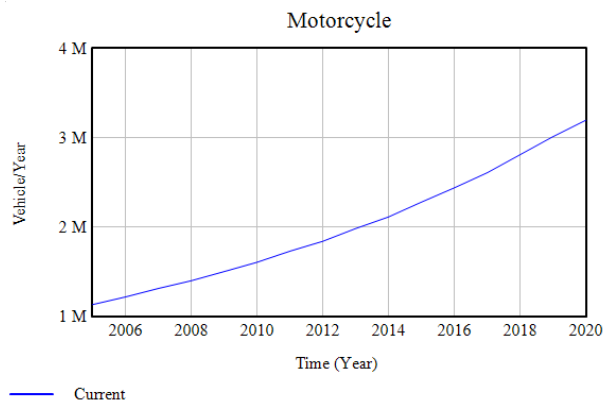
Tabel 7.7 Persamaan Submodel *Private Cars*

Variabel	Persamaan
<i>Cars</i>	<i>Increase Cars-Decrease Cars</i> <i>Initial Value: 264.277</i>
<i>Increase Cars</i>	<i>Cars Growth Rate*Cars</i>
<i>Decrease Cars</i>	<i>Effect of Transit Modes*Cars</i>
<i>Motorcycle</i>	<i>Increase Motorcycle-Decrease Motorcycle</i>
<i>Increase Motorcycle</i>	<i>Motorcycle Growth rate*Motorcycle</i>
<i>Decrease Motorcycle</i>	<i>Motorcycle*Effect of Transit Modes</i>

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *private vehicle* pada tahun 2005 hingga 2020. Hasil simulasi cenderung menunjukkan kenaikan. Hasil simulasi tersebut seperti tren data yang diperoleh. Grafik hasil simulasi pada *private cars* ditunjukkan pada Gambar 7.7 dan Gambar 7.8.



Gambar 7.7 Grafik Hasil Simulasi Private Car

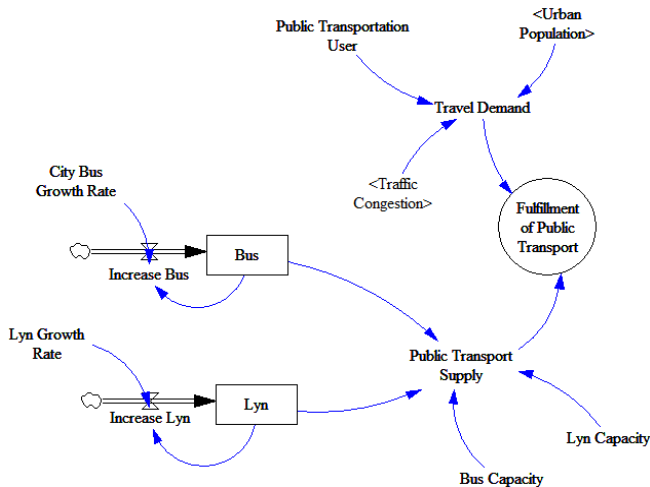


Gambar 7.8 Grafik Hasil Simulasi *Motorcycle*

Dari grafik pada Gambar 7.7 dan Gambar 7.8 dapat jumlah kendaraan sepeda motor dan mobil di kota surabaya terus meningkat setiap tahunnya. Tercatat jumlah kenaikan mobil sebanyak 1%-3% per tahunnya, sedangkan kenaikan jumlah sepeda motor sekitar 6%-8% setiap tahunnya (Puspitasari, 2015; Badan Pusat Statistik, 2018; Dishub, 2020). Tingginya peningkatan kendaraan pribadi tersebut diakibatkan oleh banyaknya jumlah masyarakat yang beralih menggunakan kendaraan pribadi karena dianggap kendaraan umum yang ada kurang nyaman dan kurang memadai, ditambah karena adanya tren transportasi *online* yang lebih mudah dan lebih murah digunakan (Hasibuan, et al., 2014; Yanuarsih, 2018).

7.3.3 Submodel Transportasi Publik (*Public Transportation*)

Transportasi umum yang digunakan pada penelitian ini adalah lyn dan bus. Kedua transportasi umum tersebut adalah transportasi umum yang paling banyak digunakan di kota Surabaya. Jumlah bus dan lyn mempengaruhi banyaknya transportasi umum yang tersedia. Transportasi umum sendiri masih kurang populer di Surabaya, penggunaannya hanya sekitar 11% dari seluruh kendaraan yang ada di jalanan kota Surabaya (Herijanto, 2018). Akibatnya jumlah transportasi umum kian mengalami penurunan sekitar 3-4% tiap tahunnya (Badan Pusat Statistik, 2018; Dishub, 2020). Sedangkan jumlah penduduk yang semakin meningkat akan mempengaruhi berapa banyak jumlah perjalanan masyarakat atau kebutuhan akan transportasi umum nya. Ada sekitar 11-12% dari total populasi yang kebutuhan akan transportasi umumnya harus dapat terpenuhi (Sutomo, 2011). Tingginya tingkat kemacetan juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi persepsi masyarakat untuk bepergian dengan transportasi umum. Ada sekitar 1-3% masyarakat yang bukan merupakan konsumen tetap transportasi umum yang bisa terpengaruh akibat seringnya terjadi kemacetan (Batarce & Ivaldi, 2014). Variabel yang mempengaruhi nilai pemenuhan adalah permintaan perjalanan atau kebutuhan masyarakat akan transportasi umum dan jumlah transportasi umum yang tersedia seperti lyn dan bus (Suryani, et al., 2020). Berikut adalah submodel *public transportation* seperti terlihat pada Gambar 7.9.



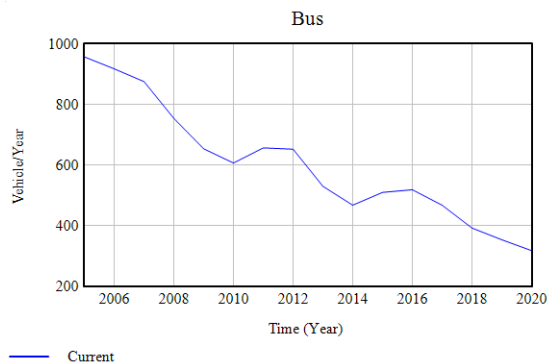
Gambar 7.9 Submodel Public Transportation

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa jumlah lyn dan bus pada periode 2005 hingga 2020. Persamaan dari variabel pada submodel *Public Transportation* ditunjukkan dalam Tabel 7.8.

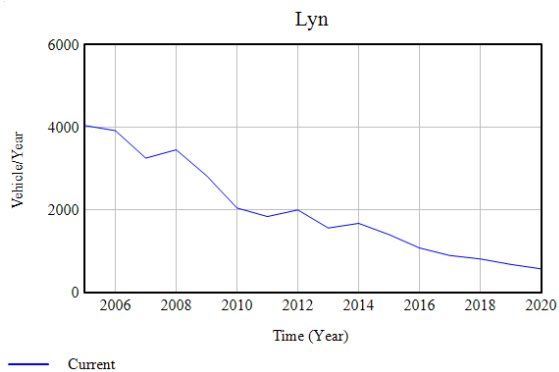
Tabel 7.8 Persamaan Submodel Public Transportation

Variabel	Persamaan
<i>Bus</i>	<i>Increase Bus</i> Initial value: 957
<i>Increase Bus</i>	$Bus * City\ Bus\ Growth\ Rate$
<i>Lyn</i>	<i>Increase Lyn</i> Initial value: 4042
<i>Increase Lyn</i>	$Lyn * Lyn\ Growth\ Rate$
<i>Public Transportation Supply</i>	$(Lyn * Lyn\ Capacity) + (Bus * Bus\ Capacity)$
<i>Travel Demand</i>	$Public\ Transportation\ User * Urban\ Population - ((0.1 * (-Public\ Transportation\ User * Urban\ Population)) * Traffic\ Congestion)$
<i>Fulfillment of Public Transportation</i>	$Public\ Transport\ Supply / Travel\ Demand$

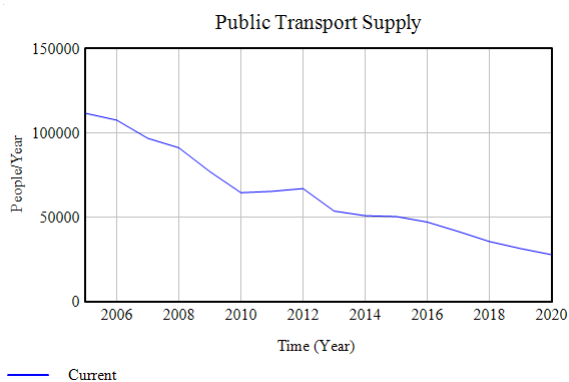
Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *public transportation* pada tahun 2005 hingga 2020. Grafik hasil simulasi pada *public transportation* ditunjukkan pada Gambar 7.10, Gambar 7.11, dan Gambar 7.12.



Gambar 7.10 Grafik Hasil Simulasi Bus

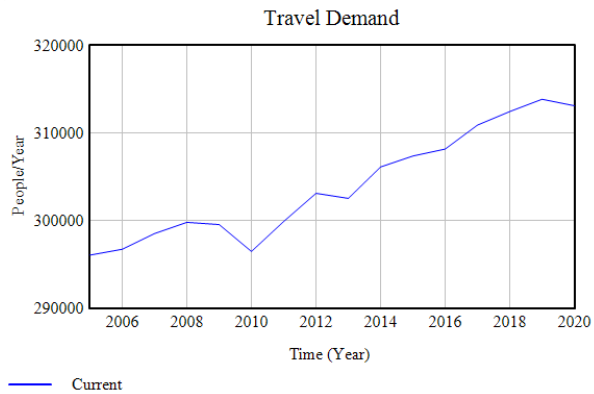


Gambar 7.11 Grafik Hasil Simulasi Lyn

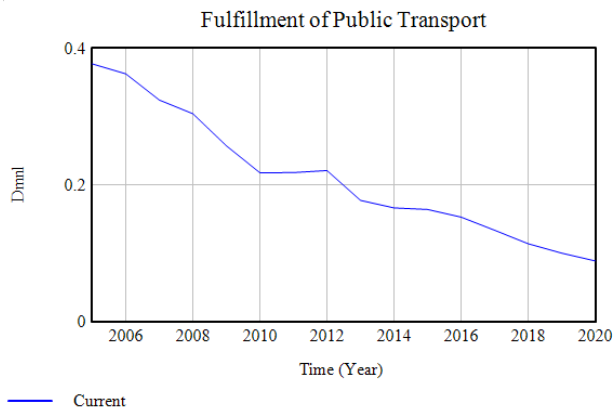


Gambar 7.12 Grafik Hasil Simulasi *Public Transport Supply*

Seperti terlihat pada Gambar 7.10 dan Gambar 7.11, jumlah lyn dan bus mengalami penurunan setiap tahunnya. Penurunan ini bisa disebabkan oleh minat masyarakat yang rendah untuk naik kendaraan umum dan lebih memilih kendaraan pribadi sebagai sarana mobilitasnya (Hasibuan, et al., 2014). Hal tersebut diperparah dengan kehadiran transportasi online (Yanuarsih, 2018). Menurunnya jumlah lyn dan bus akan mengakibatkan penurunan pada *public transportation supply* seperti terlihat pada Gambar 7.12.



Gambar 7.13 Grafik Hasil Simulasi *Travel Demand*

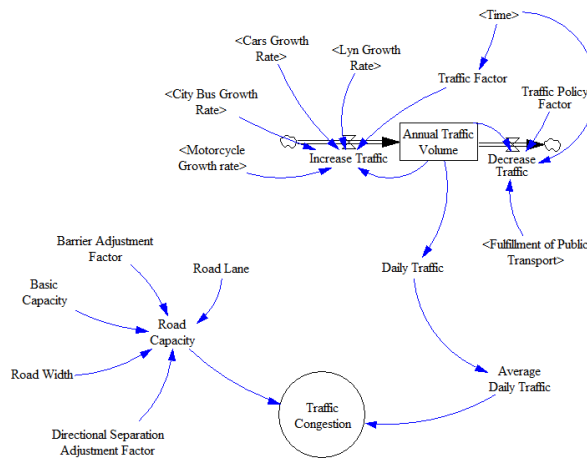


Gambar 7.14 Grafik Hasil Simulasi *Fulfillment of Public Transport*

Dari *grafik* pada Gambar 7.13 dapat diketahui bahwa permintaan perjalanan atau kebutuhan masyarakat akan transportasi umum terus meningkat seiring dengan naiknya jumlah populasi penduduk. Kebutuhan transportasi umum yang terus meningkat dan jumlah transportasi umum yang terus menurun mengakibatkan rasio pemenuhan transportasi umum juga semakin menurun seperti terlihat pada Gambar 7.14. Penurunan tersebut yang nantinya akan berdampak pada naiknya tingkat kemacetan lalu lintas (Stopher, 2004; Börjesson, et al., 2015).

7.3.4 Submodel Kemacetan Lalu-Lintas (*Traffic Congestion*)

Tingkat kemacetan di jalan raya ditentukan oleh berapa banyak kendaraan yang lewat di jalan tersebut baik kendaraan pribadi seperti sepeda motor dan mobil lalu juga kendaraan umum seperti lyn dan bus. Selain itu kemacetan juga dipengaruhi oleh seberapa besar kapasitas jalan yang ada untuk dapat menampung kendaraan yang lewat tersebut. Tingkat pemenuhan transportasi umum yang rendah juga menjadi faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan jumlah kendaraan pribadi sehingga berakibat meningkatkan kemacetan lalu-lintas (Stopher, 2004; Börjesson, et al., 2015). *traffic congestion* dihitung menggunakan formula 2.1 Berikut adalah submodel *traffic congestion* seperti terlihat pada Gambar 7.15.



Gambar 7.15 Submodel Traffic Congestion

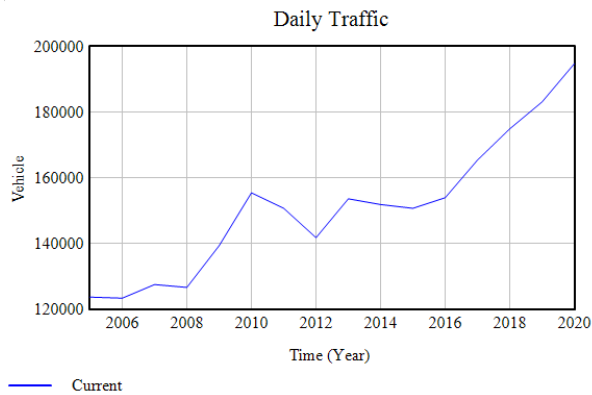
Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa jumlah lalu lintas harian pada periode 2005 hingga 2020. Persamaan dari variabel pada submodel *Public Transportation* ditunjukkan dalam Tabel 7.9.

Tabel 7.9 Persamaan Submodel *Traffic Congestion*

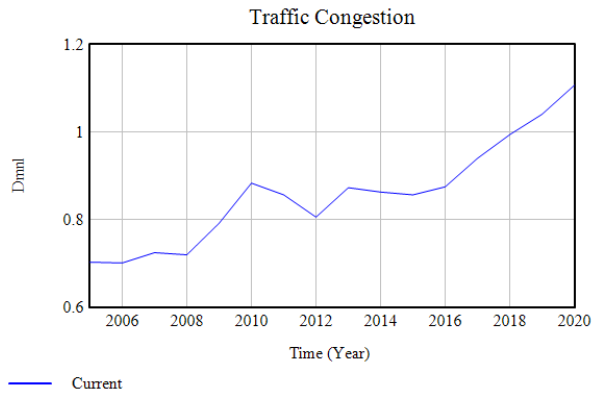
Variabel	Persamaan
<i>Annual Traffic Volume</i>	<i>Increase Traffic-Decrease Traffic</i> <i>Initial value: 45.118.400</i>
<i>Increase Traffic</i>	$(Annual\ Traffic\ Volume * (Cars\ Growth\ Rate + City\ Bus\ Growth\ Rate + Lyn\ Growth\ Rate + Motorcycle\ Growth\ rate) / Traffic\ Factor)$

Variabel	Persamaan
Decrease Traffic	$IF\ THEN\ ELSE(Time \leq 2020, 0, IF\ THEN\ ELSE(Time > 2020, ((Fulfillment\ of\ Public\ Transport * Traffic\ Policy\ Factor) * Annual\ Traffic\ Volume), 0))$
Daily Traffic	$Lyn * Lyn\ Growth\ Rate$
Average Daily Traffic	$(Lyn * Lyn\ Capacity) + (Bus * Bus\ Capacity)$
Road Capacity	$Public\ Transportation\ User * Urban\ Population - ((0.1 * (Public\ Transportation\ User * Urban\ Population)) * Traffic\ Congestion)$
Traffic Congestion	$Public\ Transport\ Supply / Travel\ Demand$

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *traffic congestion* pada tahun 2005 hingga 2020. Grafik hasil simulasi pada *traffic congestion* ditunjukkan pada Gambar 7.16 dan Gambar 7.17 berikut.



Gambar 7.16 Grafik Hasil Simulasi *Daily Traffic*



Gambar 7.17 Grafik Hasil Simulasi *Traffic Congestion*

Dari grafik pada Gambar 7.16 dan Gambar 7.17 dapat diketahui bahwa jumlah kendaraan pribadi terus meningkat. Peningkatan tersebut dikarenakan banyaknya masyarakat yang beralih menggunakan kendaraan pribadi karena dianggap kendaraan umum yang ada kurang nyaman dan kurang memadai (Hasibuan, et al., 2014). Akibatnya transportasi umum menjadi kurang populer dan jumlahnya menyusut, sehingga tingkat pemenuhan transportasi umum semakin menurun (Tamin, 2002). Menurunnya tingkat pemenuhan transportasi umum tersebut yang akan menjadi penyebab meningkatnya jumlah kendaraan pribadi (Stopher, 2004; Börjesson, et al., 2015). Ketika jumlah kendaraan semakin meningkat maka lama kelamaan kapasitas jalan yang tersedia tidak akan lagi bisa menampung peningkatan jumlah kendaraan yang ada, dan hal tersebut akan menimbulkan kemacetan lalu-lintas (Rozari & Wibowo, 2015).

7.4 Validasi dan Pengujian Model (*Validation and Model Testing*)

Validasi dan pengujian tahap ke empat yaitu *testing*, terdapat dua metode pengujian untuk memastikan bahwa model yang dibangun telah mewakili sistem yang sebenarnya. Pengujian pertama adalah *structural validation* yang digunakan untuk menentukan kredibilitas model yang dibangun dan dilakukan oleh para ahli untuk menilai urutan dan persamaan variabel yang benar (Stermann, 2000).

Pengujian kedua adalah *behavior validity test* digunakan dalam validasi model untuk menguji substansi model sesuai dengan tujuan model yang ingin dicapai. Menurut (Barlas, 1989) proses validasi dilakukan dengan dua cara pengujian sesuai dengan Persamaan (3.1) dan Persamaan (3.2). Yaitu validasi model dengan uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) atau dengan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitude (*% error variance*).

7.4.1 Validasi Struktural (*Structural Validation*)

Pengujian struktural dilakukan dengan cara memeriksa *error* pada model yang telah dibuat. Hal ini dilakukan untuk memastikan formulasi yang sudah dibuat sudah sesuai hubungan variabel dengan variabel lain dan memeriksa satuan variabel dalam model. Jika tidak terdapat kesalahan pada model, maka model telah terverifikasi. Ketika disimulasikan, model berjalan dengan benar dan muncul pemberitahuan "*Model is OK*" maka dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan dalam penelitian sudah

benar. Selain itu perlu pengecekan unit untuk mengetahui semua variabel dalam model memiliki unit yang sesuai. Menurut (Sterman, 2000) pengujian struktural dapat dilakukan oleh para ahli atau praktisi lapangan yang kompeten di bidangnya agar model yang dibangun dapat sesuai dengan kondisi sesungguhnya. Pada penelitian ini pengujian struktural akan dilakukan dari sisi akademis dengan mengacu pada penelitian-penelitian yang ada dan dilakukan oleh para akademisi dan praktisi di bidangnya. Beberapa contoh penelitian yang digunakan adalah dari (Ewing & Cervero, 2010), (Litman, 2015), dan (Suryani, et al., 2020), selain itu juga akan dimasukkan beberapa jurnal atau publikasi lain yang akan mendukung dalam proses pembuatan dan pengujian model. Selain itu pengujian struktural juga akan dilakukan oleh orang yang paham tentang sistem transportasi, yang mengetahui kondisi sebenarnya di lapangan. Agar model yang dibuat sesuai dengan kondisi nyatanya dan tidak meleset dari tujuan pembuatan model. Pengujian struktural secara ringkas dirangkum dalam Tabel 7.10.

Tabel 7.10 Structural Validation

Jenis Pengujian	Pertanyaan yang diajukan dalam pengujian
<i>Boundary adequacy (structure) test</i>	Apakah agregasi model sesuai dan mencakup semua struktur relevan yang berisi variabel yang diperlukan untuk mengatasi masalah dan sesuai dengan tujuan penelitian?
<i>Structure verification test</i>	Apakah struktur model tidak bertentangan dengan pengetahuan tentang struktur sistem nyata, dan apakah struktur yang paling relevan dari sistem nyata telah dimodelkan?
<i>Dimensional consistency test</i>	Apakah setiap persamaan secara dimensional sesuai dengan sistem nyata?
<i>Parameter verification test</i>	Apakah parameter-parameter model konsisten dengan pengetahuan yang relevan tentang sistem nyata?

Sumber: (Forrester & Senge, 1980; Martis, 2006)

Causal loop diagram pada Gambar 7.3 merepresentasikan hubungan dari seluruh variabel dalam sistem transportasi perkotaan. Untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut:

1. *Population*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi jumlah populasi.
2. *Private Vehicle*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi peningkatan dan penurunan jumlah kendaraan pribadi. Kendaraan pribadi yang digunakan adalah mobil pribadi dan sepeda motor.
3. *Public Vehicle*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi

peningkatan dan penurunan jumlah kendaraan umum yang ada di kota Surabaya. Kendaraan umum yang digunakan adalah lyn dan bus kota.

4. *Congestion*: memberikan informasi tentang lalu lintas harian rata-rata dan efeknya pada tingkat kemacetan lalu lintas.

Setelah mengidentifikasi variabel-variabel utama dalam sistem transportasi perkotaan yang menjadi dasar pengembangan *causal loop diagram*, proses selanjutnya adalah validasi struktural. Beberapa pengujian seperti tertera pada Tabel 7.10 dilakukan untuk membuat model lebih relevan dan kredibel (Qudrat-Ullah, 2012).

7.4.1.1 Boundary Adequacy (Structure) Test

Boundary adequacy test bertujuan untuk menetapkan apakah agregasi model sesuai dan mencakup semua struktur relevan yang berisi variabel yang diperlukan untuk mengatasi masalah dan sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam pengujian ini ditetapkan batas-batas (*boundaries*) variabelnya. Struktur model yang dibangun telah konsisten dan relevan dengan pengetahuan pada sistem nyata berdasarkan studi dari beberapa pihak terkait seperti BPS (Badan Pusat Statistik), Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil (Dispendukcapil), Dinas Perhubungan Kota Surabaya (Dishub), Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota (BAPPEKO), Pengamat transportasi ITERA serta jurnal atau penelitian-penelitian terkait sebelumnya, dan beberapa *website* media massa untuk mendapatkan perkembangan saat ini mengenai kondisi transportasi di perkotaan. Hasil dari klasifikasi dan penentuan *boundaries* pada model berdasarkan sistem nyata beserta sumbernya terdokumentasi pada Tabel 7.1 hingga Tabel 7.5 dan seluruh variabel telah dimasukkan pada *causal loop diagram* penelitian pada Gambar 7.3. Pengembangan *causal loop diagram* telah selaras dengan tujuan penelitian yakni mengurangi jumlah kendaraan pribadi dan memitigasi tingkat kemacetan lalu-lintas.

7.4.1.2 Structure Verification Test

Structure verification test bertujuan untuk menetapkan apakah struktur model tidak bertentangan dengan pengetahuan tentang struktur sistem nyata, dan apakah struktur yang paling relevan dari sistem nyata telah dimodelkan. Struktur model yang dibuat telah dikonsultasikan

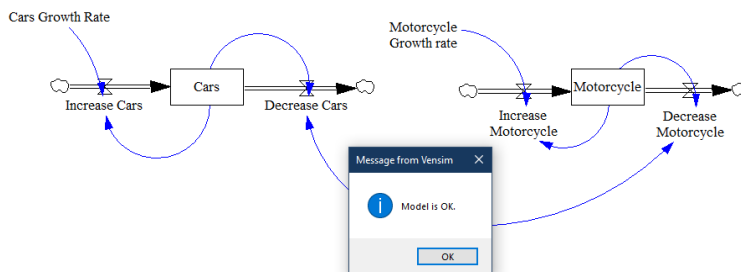
dengan Prof. Ofyar Z. Tamin pengamat transportasi ITERA, dan telah sesuai dengan publikasi berupa buku tulisan beliau yang diterbitkan oleh ITB yang berjudul "Perencanaan dan Pemodelan Transportasi". Hasilnya berupa *mental model* seperti pada Gambar 7.1 dan Gambar 7.2, yang nantinya akan dikembangkan menjadi beberapa *feedback loop* dari *causal loop diagram* pada Gambar 7.3 yang terdiri dari empat *balancing feedback loop* atau B-Loop (B1, B2) serta tiga *reinforcing feedback loop* atau R-Loop (R1, R2, R3, R4, R5, R6), yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- B1-Loop: meningkatnya pemenuhan transportasi umum akan menyebabkan lalu lintas harian berkurang. Berkurangnya jumlah lalu lintas harian akan mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas. Berkurangnya tingkat kemacetan akan berakibat pada naiknya minat masyarakat akan penggunaan transportasi umum.
- B2-Loop: meningkatnya laju kematian menyebabkan berkurangnya jumlah populasi.
- R1-Loop: meningkatnya laju kelahiran menyebabkan meningkatnya jumlah populasi.
- R2-Loop: meningkatnya jumlah pertumbuhan kendaraan pribadi menyebabkan jumlah mobil pribadi meningkat, yang akan berakibat juga dengan meningkatnya jumlah kendaraan pribadi.
- R3-Loop: meningkatnya jumlah pertumbuhan kendaraan pribadi menyebabkan jumlah sepeda motor meningkat, yang akan berakibat juga dengan meningkatnya jumlah kendaraan pribadi.
- R4-Loop: meningkatnya jumlah pertumbuhan kendaraan umum menyebabkan jumlah bus meningkat, yang akan berakibat juga dengan meningkatnya jumlah kendaraan umum.
- R5-Loop: meningkatnya jumlah pertumbuhan kendaraan umum menyebabkan jumlah lyn meningkat, yang akan berakibat juga dengan meningkatnya jumlah kendaraan umum.
- R6-Loop: meningkatnya pertumbuhan transportasi nonmotor menyebabkan meningkatnya jumlah pejalan kaki.
- R6-Loop: meningkatnya pertumbuhan transportasi nonmotor menyebabkan meningkatnya jumlah pengguna sepeda.

Hasil *structure verification test* memperlihatkan bahwa struktur pada penelitian tidak bertentangan dengan pengetahuan tentang struktur

sistem nyata, dan struktur yang paling relevan dari sistem nyata telah dimodelkan, dengan beberapa *feedback loop* atau hubungan keterkaitan yang sesuai dengan sistem nyata yang telah diidentifikasi sebelumnya pada Gambar 7.1 dan Gambar 7.2.

Structure verification test dilakukan dengan cara memeriksa apakah setiap terhubung satu sama lain. Jika sudah sesuai dan tidak terdapat kesalahan pada model, ketika disimulasikan, model berjalan dengan benar dan muncul pemberitahuan “*Model is OK*” maka dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan dalam penelitian sudah benar. Tampilan model penelitian yang telah terverifikasi ditunjukkan pada Gambar 7.18.



Gambar 7.18 Hasil *Check Model*

Ketika dilakukan simulasi dan dilakukan *check model*, hasil menyatakan bahwa model berjalan benar dan muncul pemberitahuan “*Model is OK*” seperti pada Gambar 7.18 sehingga dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan dalam penelitian ini sudah benar dan bebas dari *error*.

7.4.1.3 Dimensional Consistency Test

Dimensional consistency test bertujuan untuk menetapkan apakah setiap persamaan secara dimensional sesuai dengan sistem nyata. Lebih detailnya, *dimensional consistency test* dilakukan untuk memeriksa apakah persamaan matematika dalam model penelitian memiliki konsistensi dalam hal dimensi. Hasil pengujian persamaan matematika dalam model penelitian yang berdasarkan sistem nyata/hasil pengumpulan data adalah pada peningkatan kendaraan pribadi sebagai berikut:

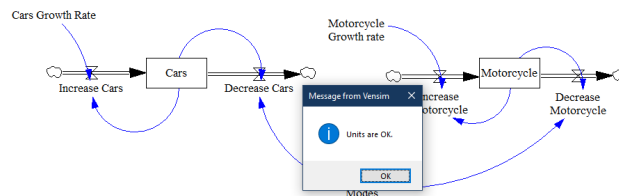
$$\text{Cars Growth Rate} = \text{RANDOM UNIFORM} (0.01, 0.03, 0)$$

$$\text{Motorcycle Growth Rate} = \text{RANDOM UNIFORM} (0.05, 0.06, 0)$$

Unit: dmnl

Hasil implementasi dari pengumpulan data dan studi literatur; peningkatan jumlah mobil pribadi adalah antara minimal 0.01 dan maksimal 0.03 sedangkan untuk peningkatan jumlah sepeda motor adalah antara minimal 0.05 persen dan maksimal 0.06 (Puspitasari, 2015; Badan Pusat Statistik, 2018; Dishub, 2020).

Dimensional consistency test juga dilakukan pengecekan unit untuk mengetahui semua variabel dalam model memiliki unit yang sesuai. Jika tidak terdapat kesalahan unit pada model, ketika disimulasikan, model berjalan dengan benar dan muncul pemberitahuan “Units are OK” maka dapat dinyatakan bahwa unit yang digunakan dalam model penelitian sudah benar. Tampilan hasil *check unit* dari model penelitian yang telah memiliki satuan dengan benar ditunjukkan pada Gambar 7.19.



Gambar 7.19 Hasil *Check Units*

Ketika dilakukan simulasi dan dilakukan *check units*, hasil menyatakan bahwa model berjalan benar dan muncul pemberitahuan “Units are OK” seperti pada Gambar 7.19 sehingga dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan dalam penelitian ini sudah benar dan bebas dari *error*.

7.4.1.4 Parameter Verification Test

Parameter verification test bertujuan untuk menetapkan apakah parameter-parameter model penelitian konsisten dengan pengetahuan yang relevan tentang sistem nyata. Penentuan nilai parameter model penelitian didasarkan pada pengetahuan yang ada dan data numerik yang diperoleh dari BPS (Badan Pusat Statistik) dan Dinas Perhubungan Kota Surabaya (Dishub). Parameter model, nilai parameter, dan sumber data dapat dijelaskan pada Tabel 7.11.

Tabel 7.11 Parameter Model, Nilai Parameter, dan Sumber

Parameter Model	Nilai Parameter	Ulasan	Referensi
<i>Cars Growth Rate</i>	1%-3% /year	Peningkatan jumlah mobil pribadi seiring dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan transportasi di perkotaan. Tercatat pada dinas perhubungan dan badan pusat statistik peningkatan jumlah mobil sekitar mencapai tiga persen per tahunnya dan untuk motor mencapai enam persen per tahunnya.	(Puspitasari, 2015; Badan Pusat Statistik, 2018; Dishub, 2020)
<i>Motorcycle Growth Rate</i>	5%-6% /year		(Puspitasari, 2015; Badan Pusat Statistik, 2018; Dishub, 2020)

Hasil *parameter verification test* memperlihatkan bahwa penetapan parameter pada model penelitian tidak bertentangan dengan pengetahuan yang relevan tentang sistem nyata.

7.4.2 Uji Validitas Perilaku (*Behavior Validity Test*)

Model *stock and flow diagram* yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan proses validasi untuk menguji apakah model yang dibangun sudah sesuai dengan sistem nyata yang disimulasikan (Barlas, 1989). Menurut (Barlas, 1989) proses validasi sistem dilakukan dengan dua cara pengujian yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* pada persamaan (3.1) dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada persamaan (3.2). *Behavior validity test* secara ringkas dirangkum dalam Tabel 7.12.

Tabel 7.12 Behavior Validity Test

Jenis Pengujian	Pertanyaan yang diajukan dalam Pengujian
<i>Behavior reproduction test</i>	Seberapa baik perilaku yang dihasilkan model cocok dengan perilaku yang diamati dari sistem nyata dalam hal pembentukan gejala, frekuensi yang dihasilkan, pentahapan relatif, beberapa mode, dan karakteristik perilaku?
<i>Extreme policy test</i>	Apakah model berperilaku sesuai harapan di bawah kebijakan ekstrem, bahkan yang belum pernah diamati dalam sistem sebenarnya?
<i>Behavior sensitivity test</i>	Apakah pola perilaku yang dihasilkan oleh model cukup dekat dengan pola utama yang ditunjukkan oleh sistem sebenarnya?

Sumber: (Forrester & Senge, 1980; Martis, 2006)

Untuk pengujian ini, dibutuhkan data historis selama jangka waktu dari tahun 2007 hingga 2019 dengan mempertimbangkan *range* waktu dan data yang tersedia serta perilaku sistem.

7.4.2.1 Behavior Reproduction Test

Hasil formulasi model berupa *stock and flow diagram* yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan proses validasi untuk menguji apakah model yang dibangun sudah sesuai dengan sistem nyata yang disimulasikan (Barlas, 1989). Validasi model tersebut dilakukan dengan dua cara menurut (Barlas, 1989) yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* pada persamaan (3.1) dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada persamaan (3.2). Model dikatakan valid apabila dalam uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E_1 \leq 5 \%$ dan dalam uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E_2 \leq 30 \%$.

Submodel pertama yang divalidasi yakni submodel *harvest land area* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E_1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E_2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dari persamaan (3.1) dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* dari persamaan (3.2) pada submodel *population*.

$$E_1 = \left| \frac{2819505 - 2861635}{2861635} \right| \times 100 \%$$
$$= 1.47\%$$

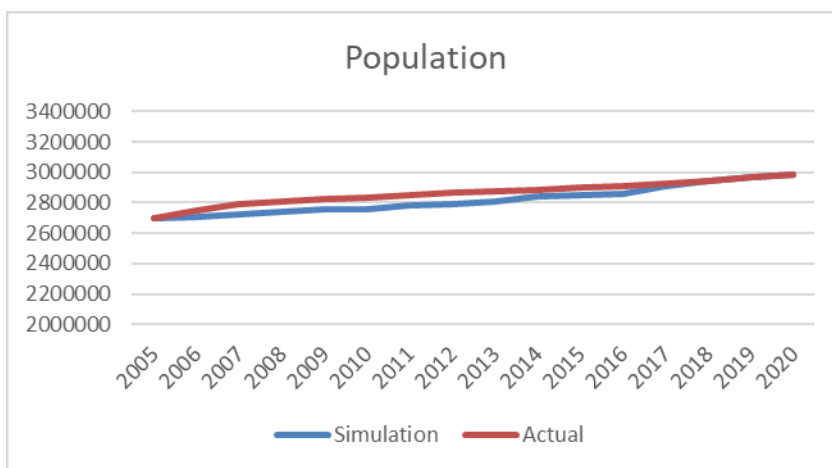
$$E_2 = \left| \frac{92493 - 77494}{77494} \right| \times 100 \%$$
$$= 19.35\%$$

Nilai rata-rata populasi sebesar 2861635 dan standar deviasinya adalah 77494 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 2819505 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 92493. Perhitungan E_1 adalah

nilai rata-rata dari hasil simulasi dikurangi dengan rata-rata dari data kemudian dibagi dengan rata-rata dari data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E1 untuk submodel *population* adalah 1.47% jadi untuk E1 dinyatakan valid.

Sedangkan perhitungan E2 adalah nilai standar deviasi hasil simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi data kemudian dibagi dengan nilai standar deviasi data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E2 untuk submodel *harvest land area* adalah 19,35%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel *population* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari populasi Kota Surabaya seperti terlihat pada Gambar 7.20.



Gambar 7.20 Grafik Validasi Submodel *Population*

Submodel selanjutnya yang divalidasi yakni submodel *private cars* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dari persamaan (3.1) dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* dari persamaan (3.2) pada submodel *private cars*.

$$E_1 = \left| \frac{313702 - 323861}{323861} \right| \times 100 \%$$

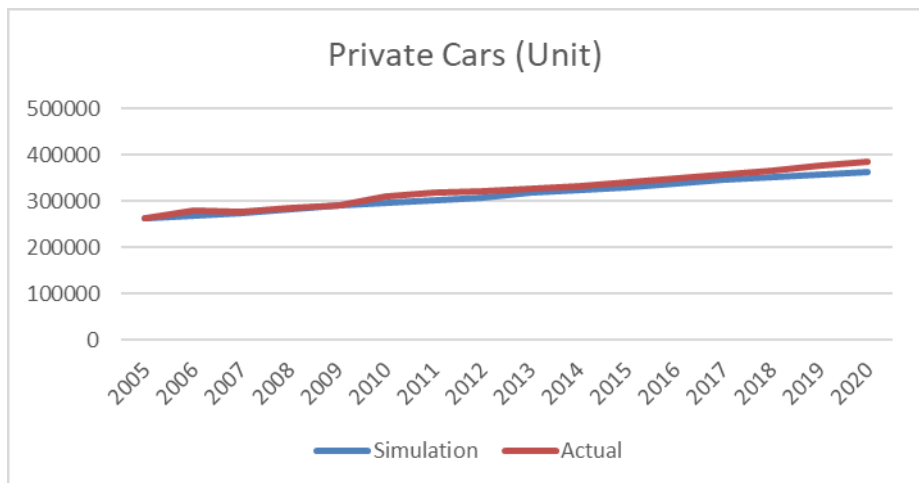
$$= 3.14\%$$

$$E_2 = \left| \frac{32513 - 37772}{37772} \right| \times 100$$

$$= 13.92\%$$

Nilai rata-rata data jumlah mobil pribadi sebesar 323861 dan standar deviasinya sebesar 37772 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 313702 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 32513. Nilai E1 untuk submodel *private cars* adalah 3,14%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 adalah 13,92%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel *private cars* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data jumlah mobil pribadi seperti terlihat pada Gambar 7.21.



Gambar 7.21 Grafik Validasi Submodel *Private Cars*

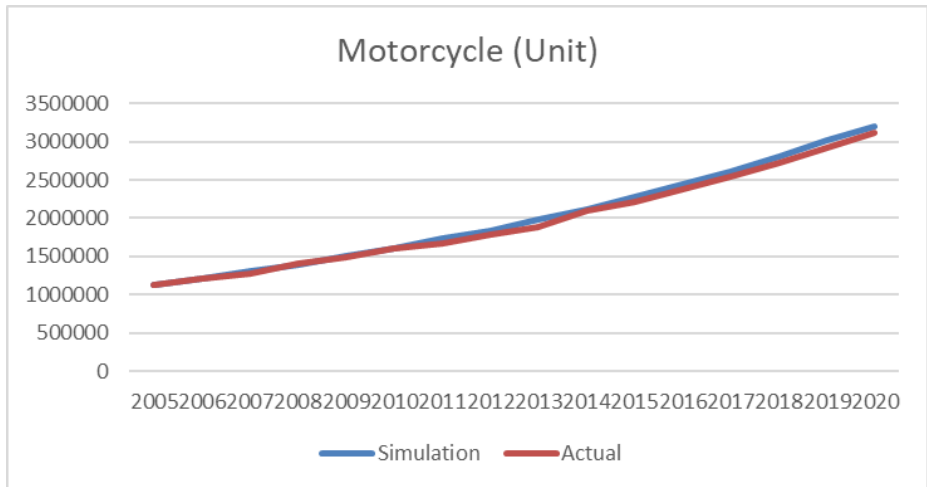
Berikutnya yakni validasi submodel *private motorcycle* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dari persamaan (3.1) dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* dari persamaan (3.2) pada submodel *private motorcycle*.

$$E_1 = \left| \frac{2009760 - 1964874}{1964874} \right| \times 100 \% \\ = 2.28\%$$

$$E_2 = \left| \frac{656974 - 629728}{629728} \right| \times 100 \% \\ = 4.33\%$$

Nilai rata-rata data jumlah motor sebesar 1964874 dan standar deviasi deviasinya sebesar 629728 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 2009760 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 656974. Nilai E1 untuk submodel *private motorcycle* adalah 2,28%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 untuk submodel *private motorcycle* adalah 4,33%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel *private motorcycle* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data jumlah motor di kota Surabaya seperti terlihat pada Gambar 7.22.



Gambar 7.22 Grafik Validasi Submodel *Private Motorcycle*

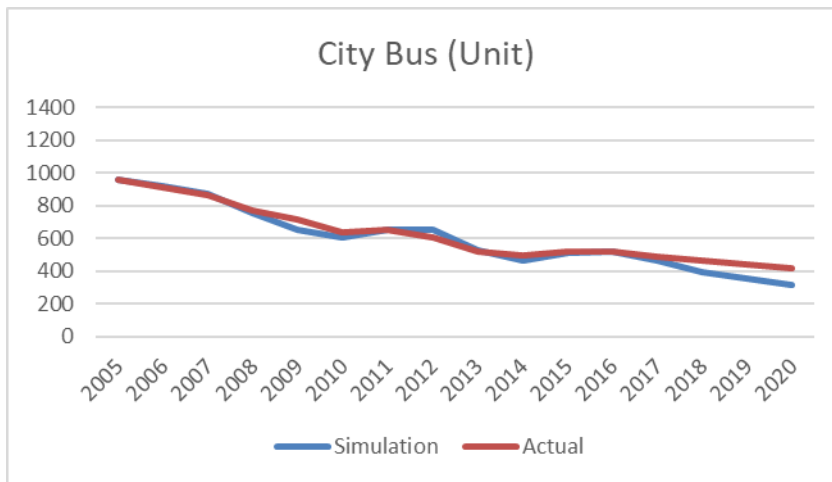
Submodel selanjutnya yang harus divalidasi yakni submodel jumlah *bus* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dari persamaan (3.1) dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* dari persamaan (3.2) submodel *bus*.

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{602 - 624}{624} \right| \times 100 \% \\
 &= 3.59\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2 &= \left| \frac{S_s - S_a}{S_n} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{196 - 174}{174} \right| \times 100 \% \\
 &= 12.62\%
 \end{aligned}$$

Nilai rata-rata data jumlah bus sebesar 624 dan standarnya sebesar 174 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 602 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 196. Nilai E1 untuk submodel *bus* adalah 3,59%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 untuk submodel *bus* adalah 12,62%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel bus dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari jumlah bus di kota Surabaya seperti terlihat pada Gambar 7.23.



Gambar 7.23 Grafik Validasi Submodel Bus

Submodel berikutnya yang harus divalidasi yakni submodel *lyn* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dari persamaan (3.1) dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* dari persamaan (3.2) submodel *lyn*.

$$E_1 = \left| \frac{2000 - 2066}{2066} \right| \times 100 \%$$

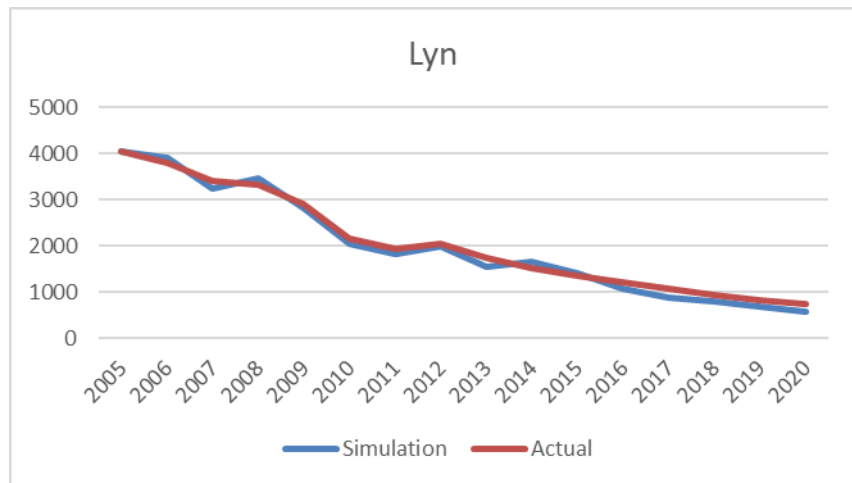
$$= 3.18\%$$

$$E_2 = \left| \frac{1161 - 1102}{1102} \right| \times 100 \%$$

$$= 5.36\%$$

Nilai rata-rata data jumlah lyn sebesar 2066 dan standar deviasi untuk data lyn sebesar 1102 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 2000 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 1161. Nilai E1 untuk submodel *lyn* adalah 3,18%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 untuk submodel *lyn* adalah 5,36%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel *lyn* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari jumlah lyn di kota Surabaya seperti terlihat pada Gambar 7.24.



Gambar 7.24 Grafik Validasi Submodel lyn

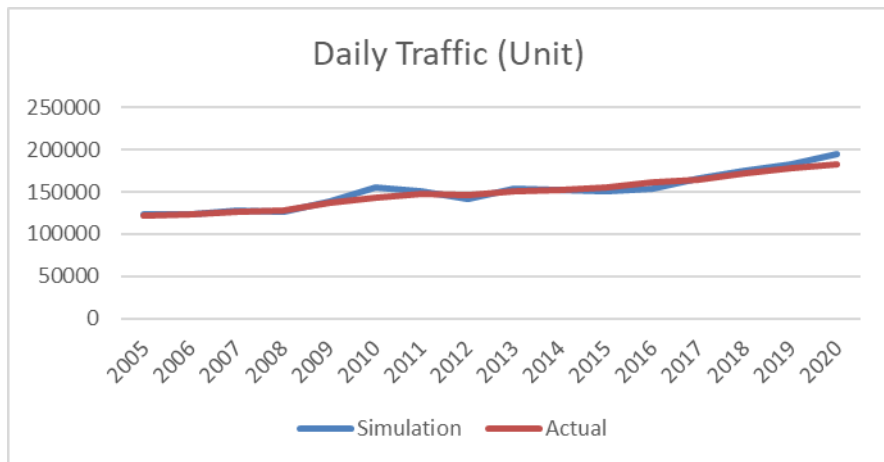
Submodel terakhir yang harus divalidasi yakni submodel *daily traffic* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dari persamaan (3.1) dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* dari persamaan (3.2) submodel *daily traffic*.

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{151016 - 149881}{149881} \right| \times 100 \% \\
 &= 0.76\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2 &= \left| \frac{S_s - S_a}{S_n} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{21059 - 19277}{19277} \right| \times 100 \% \\
 &= 9.25\%
 \end{aligned}$$

Nilai rata-rata data lalu lintas harian rata-rata sebesar 149881 dan standar deviasi untuk data LHR sebesar 19277 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 151016 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 21059. Nilai E1 untuk submodel *Daily Traffic* adalah 0,76%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 untuk submodel *population* adalah 9,25%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel *Daily Traffic* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data lalu lintas harian rata-rata di kota Surabaya seperti terlihat pada Gambar 7.25.

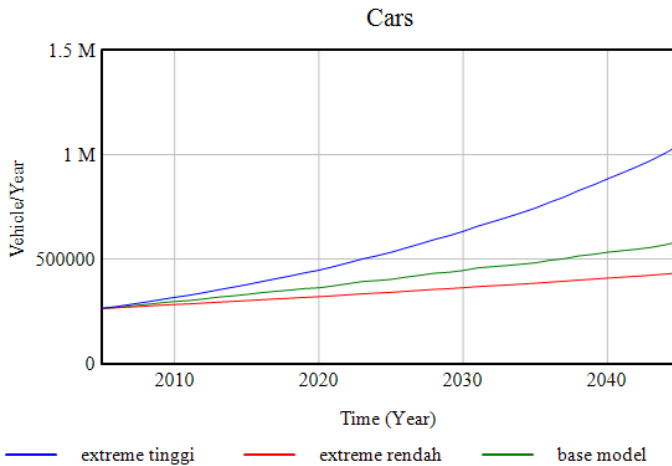


Gambar 7.25 Grafik Validasi Submodel *Daily Traffic*

7.4.2.2 *Extreme policy test*

Extreme policy test bertujuan untuk menetapkan apakah model berperilaku sesuai harapan di bawah kebijakan ekstrem, bahkan yang belum pernah diamati dalam sistem sebenarnya. Pada *Extreme Policy test* atau uji kondisi ekstrem dilakukan dengan menguji kebijakan dalam sebuah model. Masing-masing variabel menentukan persamaan tingkat yang dihasilkan. Jika dengan kondisi ekstrem model tetap memberikan hasil yang sesuai dan logis maka model dikatakan valid. Sebaliknya jika hasil yang didapatkan tidak logis maka terdapat kesalahan dalam model.

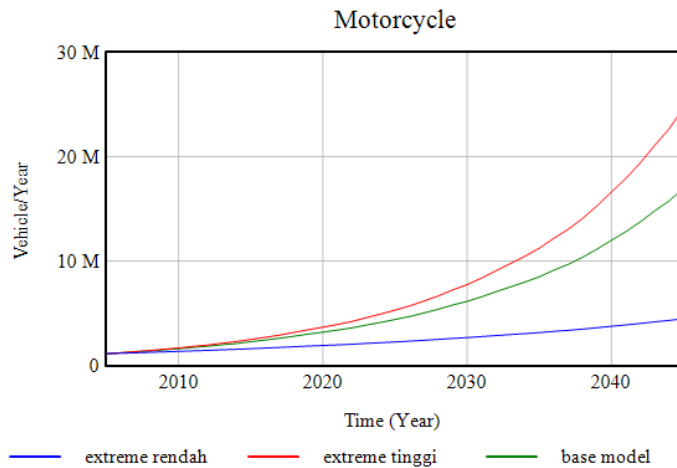
Uji kondisi ekstrem yang pertama dilakukan terhadap submodel *private cars* dengan mengubah nilai pada *cars growth rate*. Sesuai pengujian yang telah dilakukan pada *extreme conditions test*, kondisi awal pada *cars growth rate* yang ditetapkan sebesar 0,01-0,03 diubah pada kondisi ekstrem rendah menjadi 0,01-0,015 dan pada kondisi ekstrem tinggi menjadi 0,03-0,04. Hasil *extreme policy test* pertama didokumentasikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 7.26.



Gambar 7.26 Grafik Hasil Extreme Policy Test 1

Hasil simulasi kondisi ekstrem rendah dan ekstrem tinggi terhadap submodel *private cars* menunjukkan tren grafik yang sesuai kondisi yang diujikan, ketika ekstrem tinggi grafik berada di atas *base model* dan ketika keadaan ekstrem rendah, grafik berada di bawah *base model*/model awal.

Uji kondisi ekstrem yang kedua dilakukan terhadap submodel *private motorcycle* dengan mengubah nilai pada *motorcycle growth rate*. Sesuai pengujian yang telah dilakukan pada *extreme conditions test*. Kondisi awal pada *motorcycle growth rate* yang ditetapkan sebesar 0,05-0,06 diubah pada kondisi ekstrem rendah menjadi 0,03-0,04 dan pada kondisi ekstrem tinggi menjadi 0,07-0,09. Hasil *extreme policy test* kedua didokumentasikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 7.27.



Gambar 7.27 Grafik Hasil *Extreme Policy Test 2*

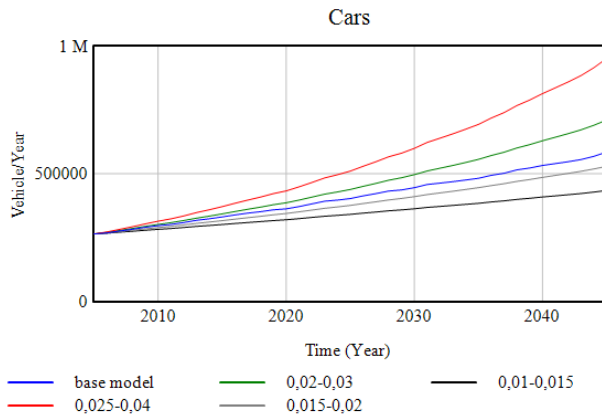
Hasil simulasi kondisi ekstrem rendah dan ekstrem tinggi terhadap submodel *private motorcycle* menunjukkan tren grafik yang sesuai kondisi yang diujikan, ketika ekstrem tinggi grafik berada di atas *base model* dan ketika ekstrem rendah grafik berada di bawah *base model*/model awal. Karena hasil *extreme policy test* menunjukkan bahwa model berperilaku sesuai harapan di bawah kebijakan ekstrem, maka model telah dapat dikatakan valid.

7.4.2.3 Behavior sensitivity test

Behavior sensitivity test bertujuan untuk menetapkan apakah pola perilaku yang dihasilkan oleh model cukup dekat dengan pola utama yang ditunjukkan oleh sistem sebenarnya. Uji ini akan menguji sampai batas kemampuan model untuk menyesuaikan diri di dalam menghadapi respons terhadap perubahan. Model dianggap valid jika perilakunya tidak berubah secara drastis ketika parameter atau perilaku hubungan diubah (Chinda, 2007).

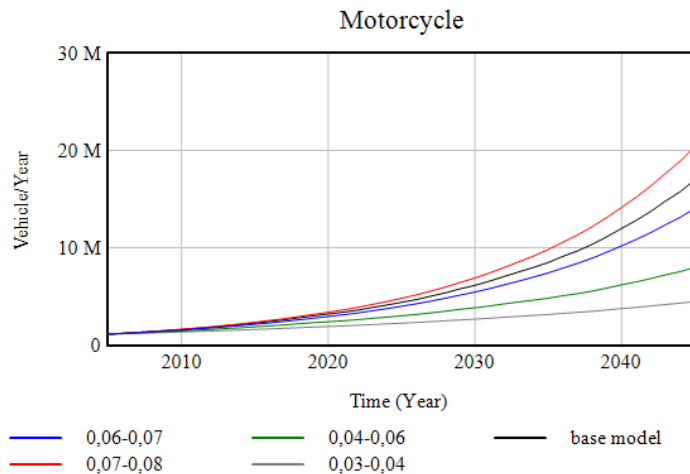
Uji sensitivitas pertama dilakukan terhadap submodel *private cars*. Nilai variabel yang diubah nilainya adalah *cars growth rate*. pada Gambar 7.28 merupakan hasil uji sensitivitas yang menunjukkan bahwa dengan mengubah nilai variabel *cars growth rate* secara bervariasi dari 0,01-0,015; 0,015-0,02; 0,02-0,03 dan 0,02-0,04 menunjukkan bahwa perubahan pada nilai variabel *cars growth rate* hanya mempengaruhi perilaku model secara

numerik dan pola atau tren dari grafik tetap sama dengan *base model*/model awal.



Gambar 7.28 Grafik Hasil *Behavior Sensitivity Test* terhadap *Private Cars*

Uji sensitivitas kedua dilakukan terhadap submodel *private motorcycle*. Nilai variabel yang diubah nilainya adalah *motorcycle growth rate*. Gambar 7.29 merupakan hasil uji sensitivitas yang menunjukkan bahwa dengan mengubah nilai variabel *motorcycle growth rate* secara bervariasi dari 0,03-0,04; 0,04-0,06; 0,06-0,07 dan 0,07-0,08 menunjukkan bahwa perubahan pada nilai variabel *motorcycle growth rate* hanya mempengaruhi perilaku model secara numerik dan pola atau tren dari grafik tetap sama dengan *base model*/model awal.



Gambar 7.29 Grafik Hasil Behavior Sensitivity Test Terhadap Private Motorcycle

Dari hasil *behavior sensitivity test* yang dilakukan pada submodel *private cars* dan *private motorcycle* tersebut menunjukkan bahwa perilaku model secara numerik saja yang berubah ketika nilai parameter diubah dan pola atau tren dari grafik tetap sama dengan *base model* / model awal, maka model telah dapat dikatakan valid.

7.5 Perumusan Kebijakan (*Policy Formulation*)

Tahapan yang terakhir adalah membuat suatu skenario sesuai tujuan dari penelitian seperti pada tahap *Policy Design and Evaluation*. Model yang telah dibuat diberi beberapa perlakuan dengan membuat skenario (eksperimen). Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini maka model yang telah dibangun tersebut akan dibuat suatu skenario untuk menurunkan jumlah kendaraan pribadi dan memitigasi tingkat kemacetan lalu-lintas. Pada tahap ini akan dilakukan simulasi kebijakan untuk mengetahui perilaku yang akan dihasilkan, simulasi ini dilakukan dengan membandingkan beberapa kebijakan yang ingin diambil dan memastikan kebijakan mana yang memiliki skenario terbaik. Terdapat alternatif skenario yang bisa digunakan dalam sistem dinamik yaitu skenario parameter dan skenario struktur (Suryani, 2005) berikut penjelasan masing-masing skenario:

1. Skenario Parameter

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan pada nilai parameter dari model yang sudah dibuat untuk mendapatkan hasil yang paling optimal atau sesuai dengan kebutuhan.

2. Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga di dapat struktur model yang baru dengan tujuan untuk mendapatkan peningkatan kinerja sistem dibandingkan sistem yang lama. Skenario jenis ini memerlukan pengetahuan yang cukup tentang sistem supaya struktur baru yang terbentuk dapat memperbaiki kinerja sistem.

Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara penambahan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada. Ada satu skenario yang digunakan pada penelitian ini yaitu skenario *TOD (LRT-Based)*. Skenario ini dibuat berdasarkan 5 karakteristik TOD yang sudah dibahas sebelumnya dan akan berpusat pada moda transit LRT. Skenario ini akan diimplementasikan di area Surabaya pusat-Surabaya timur.

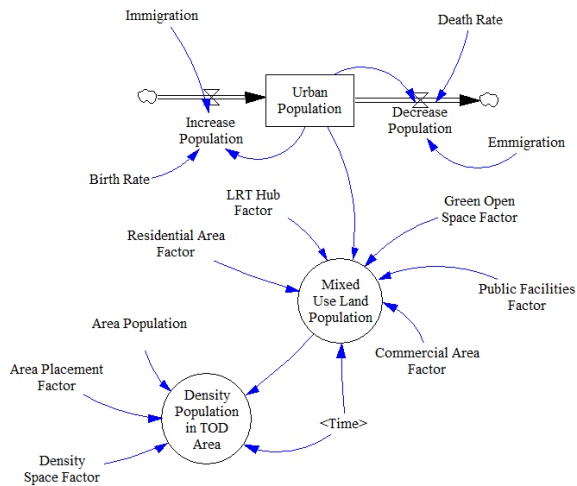
Pengembangan skenario tersebut berdasarkan hasil identifikasi yang telah dilakukan. Untuk pemilihan lokasi implementasi didasarkan pada faktor dari kajian yang telah dilakukan, yaitu:

Daerah yang rawan terjadi kemacetan lalu-lintas seperti Jl. Tunjungan, Jl. Dupak-tembaan, Jl. Ahmad Yani-Wonokromo, Jl. Bubutan, Jl. Ir. H. Soekarno, Jl. Kapasan-Kenjeran, Jl. Keputih-Arief Rahman Hakim, Jl. Kertajaya, Jl. Gubeng, Jl. Diponegoro (Permata, 2011; Rois, 2015; Rozari & Wibowo, 2015; Amaluddin, 2015; Faiq, 2017; Maulidiya, 2018; Rachmawati, 2019).

Daerah yang mempunyai potensi untuk dibangun area TOD seperti area di sekitar stasiun (Stasiun Pasar Turi, Stasiun Wonokromo, Stasiun Gubeng), area di sekitar ruang terbuka hijau (Taman Bungkul, Taman Ngagel, Kebun Binatang Surabaya), daerah sekitar fasilitas umum utama (universitas, rumah sakit) dan daerah pemukiman atau apartemen (BAPPEKO, 2018; Kementerian PUPR, 2020).

Skenario TOD dengan moda LRT akan diimplementasikan di area Surabaya pusat di sekitar daerah Gubeng-Tambaksari sampai ke area Surabaya timur di sekitar daerah Mulyorejo-Sukolilo. Daerah ini dipilih karena

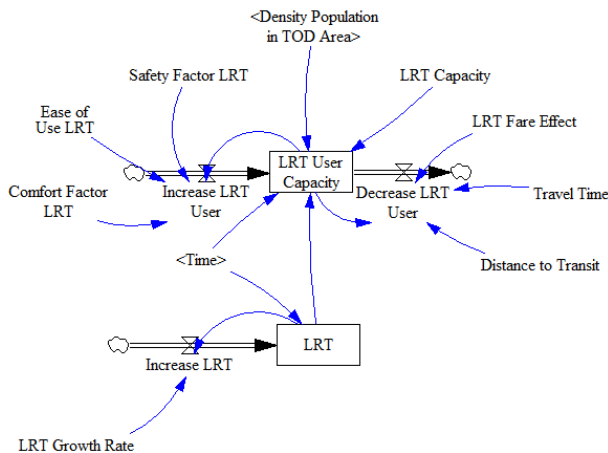
merupakan salah satu daerah yang mempunyai potensi untuk dijadikan area TOD. Tempatnya yang dekat dengan area terbuka hijau dan area pemukiman atau apartemen menjadi alasan kenapa tempat ini cocok untuk dibangun LRT (Handayani & Ariastita, 2014; Kementerian PUPR, 2020). LRT biasanya digunakan di tempat yang dekat dengan area *residential* dan ruang terbuka hijau karena bisa memberikan akses mobilitas masyarakat dengan cepat, jadi masyarakat dapat dengan mudah melakukan perjalanan dalam waktu yang singkat. Selain itu kehadiran LRT di dekat dengan ruang terbuka hijau memungkinkan masyarakat sehingga mudah untuk mencapai area tersebut sebagai sarana rekreasi (Cao & Cao, 2014; Al-Harami & Raffaello, 2020). Di daerah ini juga mempunyai beberapa titik-titik kemacetan seperti Jl. Kapasan-Kenjeran, Jl. Ir. H. Soekarno, dan Jl. Diponegoro (Permata, 2011; Amaluddin, 2015; Faiq, 2017; Maulidiya, 2018). Berikut adalah variabel *diversity & density* pada skenario TOD-LRT, seperti pada Gambar 7.30.



Gambar 7.30 *Diversity & Density* (Skenario TOD-LRT)

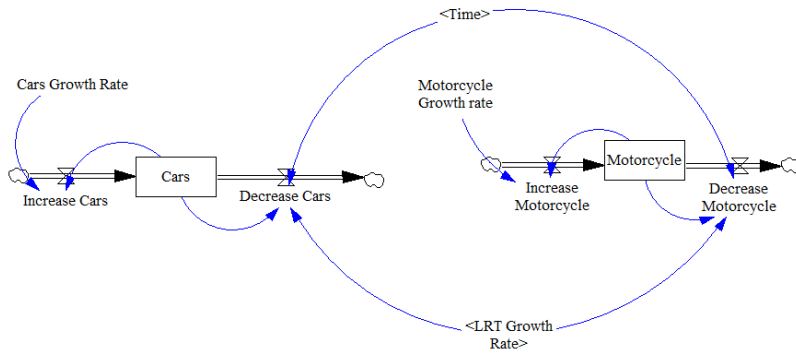
Dapat dilihat pada Gambar 7.30 Langkah yang dilakukan adalah menambahkan dua variabel *mixed land use* yang diambil dari karakteristik *diversity* pada konsep TOD dan juga variabel *resident density* dari karakteristik *density*. Variabel *mixed land use* dipengaruhi oleh keanekaragaman penggunaan lahan di area implementasi. Keanekaragaman penggunaan lahan itu terdiri dari area untuk tempat tinggal (80%-85%), tempat umum seperti sarana pendidikan dan kesehatan (5%-6%), area perdagangan dan

perkantoran (7%-9%), dan area terbuka hijau (3%-5%) (Handayani & Ariastita, 2014; BAPPEKO, 2018; Budiati, et al., 2018; Kementerian PUPR, 2020). Sedangkan variabel *resident density* dipengaruhi oleh populasi di area tersebut dan faktor densitas areanya. Setelah itu variabel *resident density* akan mempengaruhi *potential user* dari moda LRT Seperti terlihat pada Gambar 7.31.



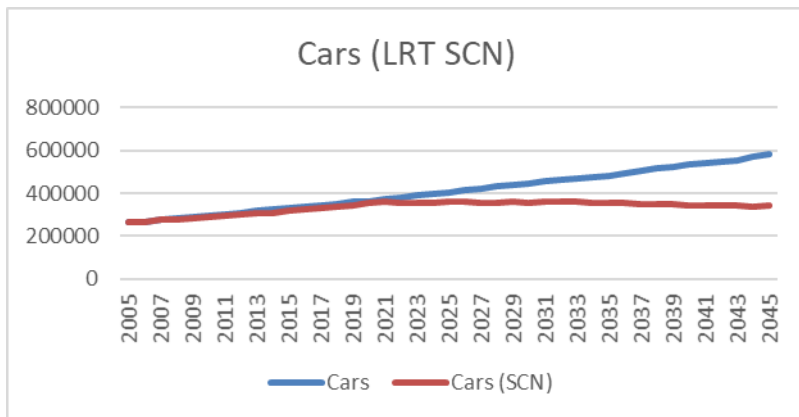
Gambar 7.31 Destination Accessibility & Distance (Skenario TOD-LRT)

Destination accessibility adalah salah satu karakteristik TOD yang menunjukkan moda transit yang ada pada area TOD. Aksesibilitas ini akan mendorong banyaknya orang yang akan menggunakan moda transit. Dari Gambar 7.31 terlihat jumlah pengguna LRT akan dipengaruhi oleh berapa banyak jumlah pengadaan LRT dan berapa kapasitas LRT-nya. Selain itu ada beberapa faktor yang mempengaruhi peningkatan pengguna LRT antara lain adalah tingkat kenyamanan, kemudahan, dan keamanan dari fasilitas LRT yang disediakan (Tangphaisankun, et al., 2009; Deng & Nelson, 2011; Shyr & Andersson, 2017). Sedangkan faktor yang mempengaruhi penurunan pengguna LRT adalah harga, waktu perjalanan, dan jarak untuk menjangkau stasiun/halte transit (Ambarwati, et al., 2016; Soehodho, 2017). Peningkatan jumlah LRT akan mempengaruhi jumlah kendaraan pribadi seperti pada Gambar 7.32.



Gambar 7.32 *Private Vehicle* (Skenario TOD-LRT)

Gambar 7.32 memperlihatkan bahwa dengan adanya LRT akan dapat berperan untuk menurunkan jumlah kendaraan pribadi seperti mobil dan sepeda motor. Dengan adanya LRT dengan menggunakan skenario TOD-LRT maka hal ini akan mempengaruhi jumlah mobil pribadi setiap tahunnya. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik jumlah mobil pribadi antara hasil skenario TOD-LRT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 7.33.

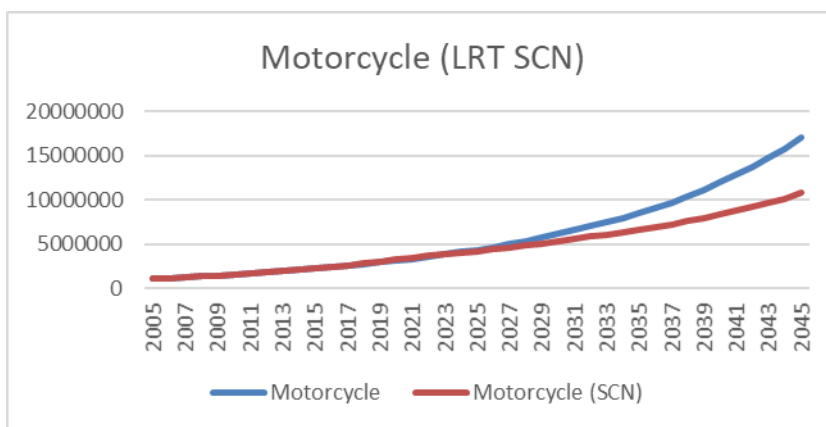


Gambar 7.33 Grafik Perbandingan Jumlah *Private Cars* (Unit) (Skenario TOD-LRT)

Dapat dilihat pada Gambar 7.33 grafik jumlah mobil pribadi mengalami penurunan setelah adanya LRT. Peningkatan jumlah LRT dinilai efektif

untuk menurunkan jumlah peningkatan kendaraan pribadi termasuk mobil pribadi dan sepeda motor. Dengan adanya LRT akan meningkatkan alternatif kendaraan umum yang dapat digunakan oleh masyarakat (Levinson, et al., 2003). Sehingga masyarakat yang memang membutuhkan transportasi umum untuk mobilitasnya sehari-hari akan lebih memilih untuk naik kendaraan umum dibandingkan dengan kendaraan pribadi seperti atau kendaraan seperti taksi (Krüger, et al., 2020). Selain itu moda transit juga dinilai lebih nyaman untuk digunakan dibanding moda transportasi umum konvensional seperti lyn dan bus kota dan bebas dari hambatan seperti kemacetan sehingga akan menarik masyarakat untuk berpindah dari kendaraan pribadi ke moda transit (Tamin, 2002; ITDP, 2018).

Dengan adanya LRT dengan menggunakan skenario TOD-LRT maka hal ini juga akan mempengaruhi jumlah sepeda motor setiap tahunnya. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik jumlah sepeda motor antara hasil skenario TOD-LRT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 7.34.

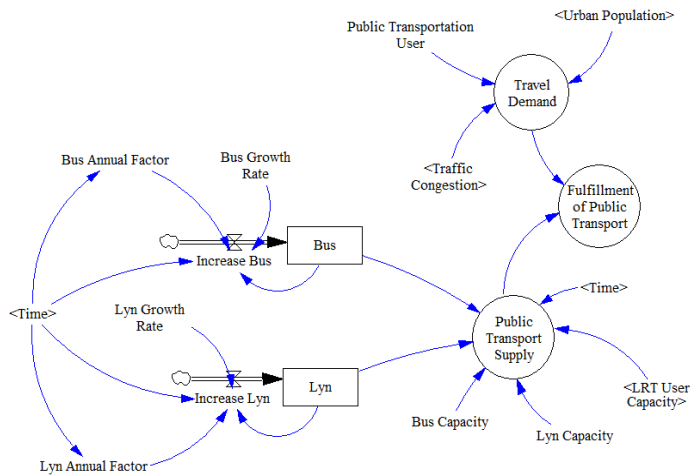


Gambar 7.34 Grafik Perbandingan Jumlah *Motorcycle* (Unit) (Skenario TOD-LRT)

Dapat dilihat pada Gambar 7.34 grafik peningkatan jumlah sepeda motor mulai mengalami penurunan dari hasil *base model* setelah adanya LRT. Peningkatan jumlah LRT dinilai efektif untuk menurunkan jumlah peningkatan kendaraan pribadi termasuk mobil pribadi dan sepeda motor. Dengan adanya moda transit akan berpotensi untuk menurunkan jumlah

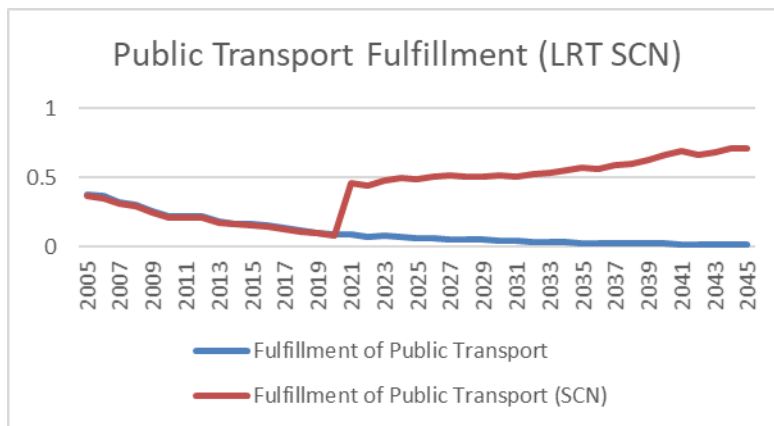
kendaraan pribadi sebanyak 3%-8% (Downs, 2004; Litman, 2008). Selain itu kehadiran moda transit seperti LRT juga dapat membantu meningkatkan alternatif kendaraan umum yang dapat digunakan oleh masyarakat (Levinson, et al., 2003). Sehingga masyarakat yang memang membutuhkan transportasi umum untuk mobilitasnya sehari-hari akan lebih memilih untuk naik kendaraan umum dibandingkan dengan kendaraan pribadi atau taksi (Krüger, et al., 2020). Selain itu moda transit juga dinilai lebih nyaman untuk digunakan dibanding moda transportasi umum konvensional seperti lyn dan bus kota dan bebas dari hambatan seperti kemacetan sehingga akan menarik masyarakat untuk berpindah dari kendaraan pribadi ke moda transit (ITDP, 2018).

Dengan adanya LRT pada skenario TOD-LRT juga akan mempengaruhi besarnya *fulfillment of public transportation* atau rasio pemenuhan atas transportasi umum setiap tahunnya. Karena dengan adanya LRT akan menambahkan jumlah pasokan transportasi umum untuk dapat memenuhi permintaan masyarakat akan penggunaan transportasi umum di kota Surabaya. Karena pada umumnya moda transit seperti LRT mempunyai kapasitas yang lebih besar daripada transportasi umum konvensional yang lain seperti lyn dan bus kota sehingga daya angkutnya lebih banyak (Zhang, 2009; Deng & Nelson, 2011). Kapasitas 1 rangkaian LRT sekitar 400 penumpang sekali perjalanannya, dan dapat mengakomodasi sekitar 80.000-100.000 penumpang per hari nya sehingga bisa memfasilitasi kebutuhan masyarakat untuk menggunakan transportasi umum (Levinson, et al., 2003; Kołós & Taczanowski, 2016). Ketika permintaan masyarakat untuk mengakses transportasi umum bisa difasilitasi dengan adanya penambahan moda transit seperti LRT, maka tingkat pemenuhan untuk transportasi umum juga akan meningkat karena disparitas antara permintaan akan transportasi umum dan jumlah transportasi umum yang tersedia semakin mengecil (Tamin, 2002; Suryani, et al., 2020). Berikut merupakan perbandingan submodel *public transportation* dari skenario LRT-TOD seperti terlihat pada Gambar 7.35.



Gambar 7.35 *Fulfillment of Public Transportation* (Skenario TOD-LRT)

Dengan adanya LRT dengan menggunakan skenario TOD-LRT maka hal ini akan mempengaruhi peningkatan jumlah pemenuhan kendaraan umum setiap tahunnya. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik pemenuhan kendaraan umum antara hasil skenario TOD-LRT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 7.36.

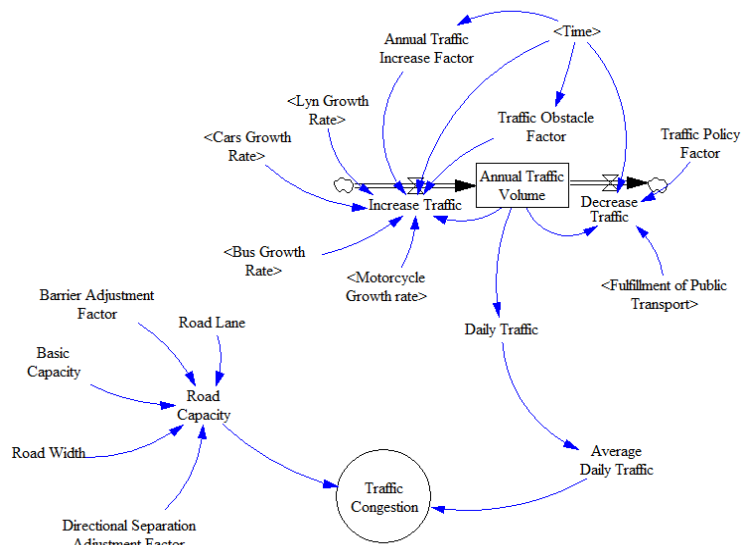


Gambar 7.36 Grafik Perbandingan *Fulfillment of Public Transportation* (%) (Skenario TOD-LRT)

Dapat dilihat pada Gambar 7.36 grafik pemenuhan kendaraan umum mengalami peningkatan setelah adanya LRT. Hal tersebut menunjukkan

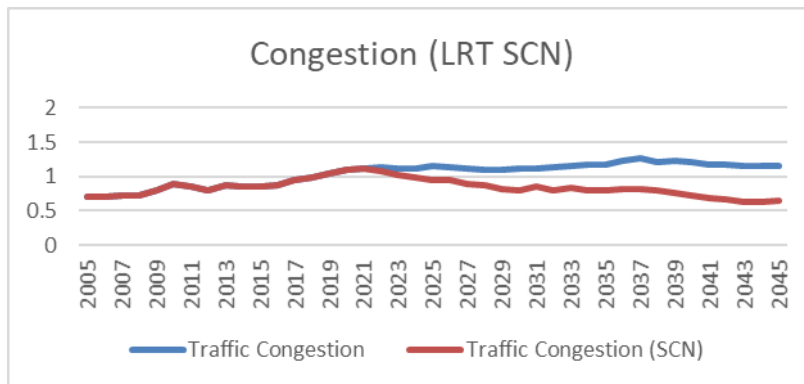
bahwa dengan adanya LRT dapat membantu meningkatkan pemenuhan kendaraan umum yang sebelumnya menurun. Karena pada umumnya moda transit seperti LRT mempunyai daya kapasitas angkut penumpang yang lebih besar daripada transportasi umum konvensional yang lainnya (Zhang, 2009; Deng & Nelson, 2011). Sehingga dengan meningkatnya jumlah LRT maka jumlah transportasi umum yang tersedia akan semakin banyak dan daya angkutnya akan semakin besar. Tersedianya fasilitas transportasi umum yang memadai akan bisa memenuhi kebutuhan dasar masyarakat akan transportasi umum sehingga memperkecil disparitas terhadap permintaan perjalanan masyarakat. Ketika transportasi yang tersedia dapat memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat maka tingkat pemenuhan transportasi umum akan meningkat (Tamin, 2002; Suryani, et al., 2020).

Dengan adanya peningkatan pada *Fulfillment of Public Transport* maka hal ini akan mempengaruhi besarnya volume jumlah kendaraan yang ada di jalanan kota Surabaya. Dari peningkatan volume kendaraan tersebut akan berdampak pada *traffic congestion* atau tingkat kemacetan lalu-lintas (Stopher, 2004; Börjesson, et al., 2015). Berikut merupakan submodel *traffic congestion* dengan skenario TOD-LRT seperti terlihat pada Gambar 7.37.



Gambar 7.37 *Traffic Congestion* (Skenario TOD-LRT)

Dengan adanya LRT dengan menggunakan skenario TOD-LRT maka hal ini akan mempengaruhi tingkat kemacetan lalu lintas. Berikut merupakan perbandingan grafik pemenuhan kendaraan umum antara hasil skenario TOD-LRT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 7.38.

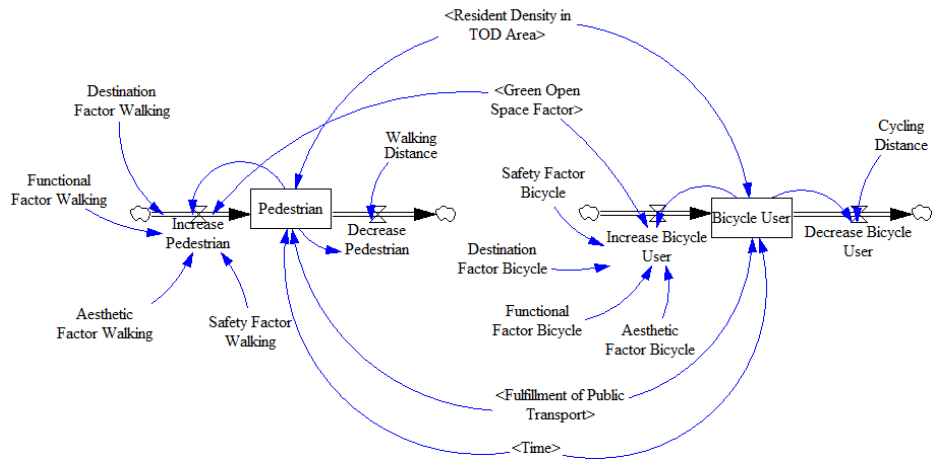


Gambar 7.38 Grafik Perbandingan *Traffic Congestion* (%) (Skenario TOD-LRT)

Menurunnya tingkat kemacetan lalu-lintas disebabkan karena meningkatnya nilai *Fulfillment of Public Transportation*. Dengan meningkatnya nilai pemenuhan transportasi umum, maka akan mempengaruhi besarnya *traffic volume* atau jumlah kendaraan yang ada di jalanan kota Surabaya, karena masyarakat akan berpindah menggunakan moda transit seperti LRT sebagai sarana mobilitasnya (Stopher, 2004; Börjesson, et al., 2015). Kondisi tersebut akan menyebabkan jumlah kendaraan pribadi yang ada di jalanan berkurang dan tingkat *Congestion* juga bisa menurun seperti pada Gambar 7.38.

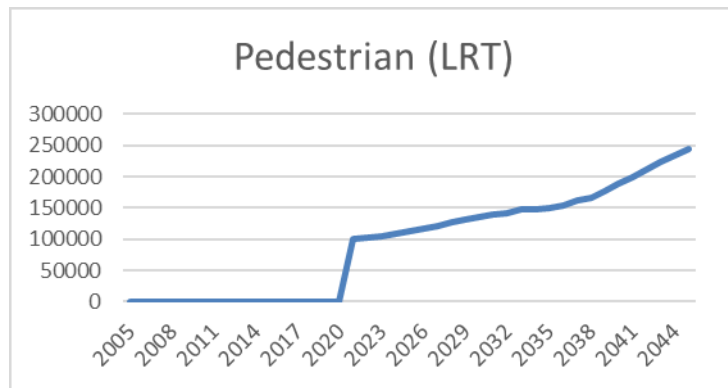
Skenario TOD-LRT juga mempunyai dampak untuk meningkatkan jumlah pejalan kaki dan pengguna sepeda. Hal tersebut masuk dalam karakteristik Design pada konsep TOD. Karakteristik ini berfokus untuk memperbanyak jumlah *non-motorized transportation* (NMT) atau transportasi nonmotor, salah satunya adalah pejalan kaki dan pengguna sepeda (Singh, et al., 2015; Huang, et al., 2018). Variabel yang mempengaruhi pertumbuhan faktor ruang terbuka yang ada di sekitar area transit, jumlah pejalan kaki dan pengguna sepeda adalah keamanan, kenyamanan dari segi fungsional, dan kenyamanan dari segi estetika, dan segi kemudahan akses ke tujuan (Canepa, 2007; Knowles, et al., 2020). Sedangkan variabel

yang mempengaruhi menurunnya jumlah pejalan kaki dan pengguna sepeda adalah seberapa jauh jarak ke stasiun transitnya (Singh, et al., 2017). Submodel *design* ini dapat dilihat pada Gambar 7.39.

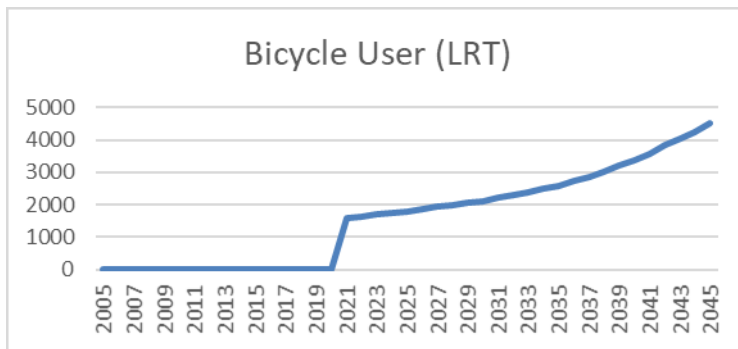


Gambar 7.39 Design Non-Motorize Transportation (Skenario TOD-LRT)

Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik jumlah pejalan kaki dan pengguna sepeda pada skenario TOD-LRT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 7.40 dan Gambar 7.41.



Gambar 7.40 Grafik Jumlah Pedestrian (*People*) (Skenario TOD-LRT)



Gambar 7.41 Grafik Jumlah *Bicycle User (People)* (Skenario TOD-LRT)

7.6 Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai pengembangan model skenario penerapan mode transportasi *light rail transit* berbasis sistem dinamik pada bab ini.

1. Apa yang dimaksud dengan *problem articulation*?
2. Apa yang dimaksud dengan *dynamic hypothesis*?
3. Jelaskan perlunya validasi model!
4. Bagaimana melakukan validasi model?
5. Jelaskan peran model dan perumusan kebijakan!

REFERENSI

- Al-Harami, A. & Raffaello, F., 2020. Qatar National Museum-Transit oriented development: The masterplan for the urban regeneration of a 'green TOD'. *Journal of Urban Management*, 9(1), pp. 115-136.
- Amaluddin, 2015. *Malam Nanti, Hampir Seluruh Jalur di Surabaya Macet*. [Online]
Available at: <https://nusantara.medcom.id/jawa-timur/peristiwa/5b2E-worN-malam-nanti-hampir-seluruh-jalur-di-surabaya-macet> [Accessed 5 May 2021].
- Ambarwati, L., Verhaeghe, R., Arem, B. v. & Pel, A. J., 2016. The influence of integrated space-transport development strategies on air pollution in urban areas. *Transportation Research Part D*, 44(1), pp. 134-146.
- Badan Pusat Statistik, 2018. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, 1949-2018*. [Online]
Available at: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133> [Accessed 10 September 2019].
- Badan Pusat Statistik, 2020. *Proyeksi Penduduk Kota Surabaya*. [Online]
Available at: <https://surabayakota.bps.go.id/indicator/12/197/1/proyeksi-penduduk-kota-surabaya.html> [Accessed 7 March 2021].
- Banks, J. & Carson, J. S. N., 1990. *Discrete-event system simulation*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- BAPPEKO, 2018. *RPJPD Kota Surabaya Tahun 2005-2025*. Surabaya: Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya.
- Barlas, Y., 1989. Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models. *European Journal of Operational Research* 42, pp. 59-87.
- Batarce, M. & Ivaldi, M., 2014. Urban travel demand model with endogenous congestion. *Transportation Research Part A*, Volume 29, pp. 331-345.

- Ben-Akivai, M., Bowman, J. L. & Gopinath, D., 1996. Travel demand model system for the information era. *Transportation*, 23(3), pp. 241-266.
- Börjesson, M., Hamilton, C. J., Näsman, P. & Papaix, C., 2015. Factors driving public support for road congestion reduction policies: Congestion charging, free public transport and more roads in Stockholm, Helsinki and Lyon. *Transportation Research Part A*, 1(78), pp. 452-462.
- Budiati, W., Grigolon, A. B., Brussel, M. J. G. & Rachmat, S. Y., 2018. *Determining the potential for Transit Oriented Development along the MRT Jakarta corridor*. Bandung, IOP Publishing.
- Canepa, B., 2007. Bursting the Bubble: Determining the Transit-Oriented Development's Walkable Limits. *Transportation Research Record*, Volume 1, pp. 28-34.
- Cao, J. & Cao, X., 2014. The impacts of LRT, neighbourhood characteristics, and self-selection on auto ownership: Evidence from Minneapolis-St. Paul. *Urban Studies*, 51(10), p. 2068–2087.
- Cassel, J., 2009. Health Consequences of Population Density and Crowding. In: *People and Buildings*. s.l.:Routledge, pp. 249-270.
- Chase, R. B. & N, J. A., 1991. *Production and operations management; a life cycle approach 6th edition*. Boston: Irwin.
- Chinda, T., 2007. *A system dynamic approach to construction safety culture*. Gold Coast, Australia: Griffith University.
- Coyle, R. G., 1996. *System dynamics modelling, a practical approach*. United Kingdom: Chapman & Hall.
- Curtis, C., 2012. Transitioning to Transit-Oriented Development: The Case of Perth, Western Australia. *Urban Policy and Research*, 30(3), p. 275–292.
- Daalen, V. & W, A. H. T., 2001. *Dynamics systems modelling continuous models*. Technische Universiteit Delf: Faculteit Techniek, Bestuur en Management (TBM).
- David Hale, K. G. C., 2002. Prediction of Traffic-Actuated Phase Times on Arterial Streets. *Transportation Research Record*, 1811(1), pp. 84-91.

- Deng, T. & Nelson, J. D., 2011. Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature. *Transport Reviews*, 31(1), pp. 69-96.
- Dishub, K. S., 2020. *Data Jumlah Kendaraan Bermotor*, Surabaya: Dinas Perhubungan Kota Surabaya.
- Dispendukcapil, 2019. *Jumlah Penduduk Kota Surabaya*. [Online] Available at: <http://dispendukcapil.surabaya.go.id/berita/483-jumlah-penduduk-kota-surabaya> [Accessed 26 September 2019].
- Downs, A., 2004. *Traffic: Why It's Getting Worse, What Government Can Do*. Washington DC: Brookings Institution.
- Emshoff & Simon, A., 1970. Rancangan Ulang dan Simulasi. *Jurnal social work*.
- Ewing, R. & Cervero, R., 2010. Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), pp. 265-294.
- Faiq, N., 2017. *TransMart Dituding Biang Macet Jalan Kali Rungkut, Surabaya, Paling Parah saat Pembukaan*. [Online] Available at: <https://surabaya.tribunnews.com/2017/02/27/transmart-dituding-biang-macet-jalan-kali-rungkut-surabaya-paling-parah-saat-pembukaan> [Accessed 16 January 2021].
- Faradibah, A. & Suryani, E., 2019. Pengembangan Model Simulasi Sistem Dinamik Untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Operasional Transportasi. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 11(1).
- Forrester, J. W., 1999. *System dynamics : the foundation under system thinking*. Cambridge, MA 02139: Sloan School of Management MIT.
- Forrester, J. W. & Senge, P. M., 1980. Test for building confidence in system dynamics models. In: *Modelling for management: Simulation in support of systems thinking*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, pp. 209-228.
- Haghshenas, H., Vaziri, M. & Gholamialam, A., 2014. Evaluation of sustainable policy in urban transportation using system dynamics and world cities data: A case study in Isfahan. *Cities*.
- Handayani, K. D. M. E. & Ariastita, P. G., 2014. Keberlanjutan Transportasi di Kota Surabaya Melalui Pengembangan Kawasan Berbasis TOD (Transit Oriented Development). *TATALOKA*, 16(2), pp. 108-115.

- Hasibuan, H. S., Soemardja, T. P., Koestoerb, R. & Moersidik, S., 2014. *The Role of Transit Oriented Development in Constructing Urban Environment Sustainability, the Case of Jabodetabek, Indonesia*. s.l., Elsevier.
- Herijanto, W., 2018. *Sustainable Urban Transport Index (Surabaya, Indonesia)*, Bangkok: ESCAP.
- Herrel, C., Ghosh, B. K. & Bowden, R., 2004. *Simulation using promodel*. United States of America: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Higgins, C. D. & Kanaroglou, P. S., 2016. A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region. *Journal of Transport Geography*, Volume 52, p. 61–72.
- Huang, R., Grigolon, A., Madureira, M. & Brussel, M., 2018. Measuring transit-oriented development (TOD) network complementarity based on TOD node typology. *Journal of Transport and Land Use*, 11(1), pp. 305-324.
- ITDP, 2009. *Bus Rapid Transit: A Cost-Effective Mass Transit Technology*. [Online] Available at: <https://www.itdp.org/publication/bus-rapid-transit-a-cost-effective-mass-transit-technology/> [Accessed 17 March 2021].
- ITDP, 2018. *Mengapa (harus) BRT?*. [Online] Available at: <https://itdp-indonesia.org/2018/03/mengapa-harus-brt/> [Accessed 1 December 2021].
- Kamruzzaman, M., Shatu, F. M., Hine, J. & Turrell, G., 2015. Commuting mode choice in transit oriented development: Disentangling the effects of competitive neighbourhoods, travel attitudes, and self-selection. *Transport Policy*, Volume 42, pp. 187-196.
- Kementerian PUPR, 2020. *Hunian Berbasis Transit (TOD) : Tantangan Dan Potensinya*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Khosnevis, B., 1994. *Descrate system simulation*. New York: McGraww Hill.
- Knowles, R. D., Ferbrache, F. & Nikitas, A., 2020. Transport's historical, contemporary and future role in shaping urban development: Re-evaluating transit oriented development. *Cities*, Volume 99.

- Kołoś, A. & Taczanowski, J., 2016. The feasibility of introducing light rail systems in medium-sized towns in Central Europe. *Journal of Transport Geography*, Volume 54, pp. 400-413.
- Krüger, F. et al., 2020. The Bus Rapid Transit (BRT) in Dar es Salaam: A pilot study on critical infrastructure, sustainable urban development and livelihoods. *Sustainability*, 13(3), pp. 1-29.
- Kumar, P. P., Sekhar, C. R. & Parida, M., 2020. Identification of neighborhood typology for potential transit-oriented development. *Transportation Research Part D*, Volume 78.
- Law, A. M. & Kelton, W. D., 1991. *Simulation modelling and analysis*. 2nd edition ed. McGraw-Hill: s.n.
- Levinson, H. S., Zimmerman, S., Clinger, J. & Gast, J., 2003. *Bus Rapid Transit Synthesis of Case Studies*, Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Litman, T., 2008. Valuing Transit Service Quality Improvements. *Journal of Public Transportation*, 11(2).
- Litman, T., 2015. *Evaluating Public Transit Benefits and Costs*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.
- Manaugh, K. & El-Geneidy, A., 2011. Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighborhood?. *Transportation Research Part D*, Volume 16, p. 309–315.
- Martis, M. S., 2006. Validation of simulation based models: a theoretical outlook. *The Electronic Journal of Business Research Methods*, 4(1), pp. 39-46.
- Maulidiya, P., 2018. *Urai Kemacetan di Surabaya, Gedung Parkir Dibangun Tiap Tahun*. [Online] Available at: <https://surabaya.tribunnews.com/2018/07/26/urai-kemacetan-di-surabaya-gedung-parkir-dibangun-tiap-tahun> [Accessed 8 August 2021].
- Mortazavi, S. A. H. & Akbarzadeh, M., 2017. A Framework for Measuring the Spatial Equity in the Distribution of Public Transportation Benefits. *Journal of Public Transportation*, 20(1), pp. 44-62.
- Mufarida, B., 2021. *Fokus Prioritaskan Bangun Fasilitas Pejalan Kaki di Jakarta, Ini Alasan Anies*. [Online] Available at: <https://www.inews.id/news/megapolitan/>

- fokus-prioritaskan-bangun-fasilitas-pejalan-kaki-di-jakarta-ini-alasan-anies [Accessed 24 December 2021].
- Nguyen-Phuoc, D. Q. et al., 2018. Modelling the net traffic congestion impact of bus operations in Melbourne. *Transportation Research Part A*, Volume 117, pp. 1-12.
- Noorsaman, S. A. & Wahid, A., 1998. Pemodelan industri minyak bumi dan gas alam Indonesia dengan pendekatan sistem dinamik. *Jurnal Teknologi*, 12(1), pp. 27-29.
- Olaru, D., Smith, B. & Taplin, J. H., 2011. Residential location and transit-oriented development in a new rail corridor. *Transportation Research Part A*, 45(3), pp. 219-237.
- Oxley, J. & Whelan, M., 2008. It Cannot Be All about Safety: The Benefits of Prolonged Mobility. *Traffic Injury Prevention*, 9(4), pp. 367-378.
- Permata, T. J., 2011. *Ini Dia 12 Titik Kemacetan di Surabaya*. [Online] Available at: <https://surabaya.tribunnews.com/2011/08/27/ini-dia-12-titik-kemacetan-di-surabaya> [Accessed 25 May 2021].
- Powersim, 2005. *Powersim studio professional 2005 : user's guide*. AS: Powersim Software AS.
- Pucher, J., Buehler, R. & Seinen, M., 2011. Bicycling renaissance in North America? An update and re-appraisal of cycling trends and policies. *Transportation Research Part A*, Volume 45, p. 451-475.
- Puspitasari, R., 2015. Evaluasi Kebijakan Penyelenggaraan Angkutan Umum di Kota Surabaya. *Jejaring Administrasi Publik*, VII(2), pp. 771-780.
- Qudrat-Ullah, H., 2012. On the validation of system dynamics type simulation models. *Telecommunication Systems*, 51(2/3), pp. 159-166.
- Rachmawati, A. N., 2019. *Parkiran Motor & Mobil Kantor BPJS Surabaya Semrawut, Pengguna Jalan 'Sambat' Bikin Macet Tiap Hari*. [Online] Available at: <https://jatim.tribunnews.com/2019/09/04/parkiran-motor-mobil-kantor-bpjs-surabaya-semrawut-pengguna-jalan-sambat-bikin-macet-tiap-hari> [Accessed 3 July 2021].
- Rahman, R., 2010. Analisa Dampak Lalu Lintas (Studi kasus: Studi Kemacetan di Jalan Ngagel Madya Surabaya. *SMARTek*, 8(4).

- Ratner, K. A. & Goetz, A. R., 2013. The reshaping of land use and urban form in Denver through transit-oriented development. *Cities*, Volume 30, pp. 31-46.
- Richardson, G. P. & A, L. P., 1986. *Introduction to system dynamics modelling with dynamo*. Cambridge, Massachusete, and London, England: The MIT Press.
- Rois, J., 2015. *Berikut Lokasi Titik Kemacetan di Jalur Tengah Surabaya-Ngawi*. [Online] Available at: <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-2962141/berikut-lokasi-titik-kemacetan-di-jalur-tengah-surabaya-ngawi> [Accessed 24 April 2021].
- Rozari, A. d. & Wibowo, Y. H., 2015. Faktor-Faktor Yang Menyebabkan Kemacetan Lalu Lintas Di Jalan Utama Kota Surabaya (Studi Kasus Di Jalan Ahmad Yani Dan Raya Darmo Surabaya). *Jurnal Penelitian Administrasi Publik*, 1(01).
- Rusiawan, W., Tjiptoherijanto, P., Suganda, E. & Darmajanti, L., 2015. *System dynamics modeling for urban economic growth and CO2 emission: a case study of Jakarta, Indonesia*. s.l., ScienceDirect.
- Schmidt, J. W. & Taylor, R. E., 1970. *Simulation and Analysis of Industrial Systems*. III ed. Homewood: Richard D. Irwin.
- Shanon, R. E., 1975. *System simulation: the art and science*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Shintasari, I., 1988. *Dinamika persediaan daging sapi: suatu model dinamik untuk DKI Jakarta*, Bogor: Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Fateta IPB, Bogor.
- Shyr, O. & Andersson, D. E., 2017. What explains rapid transit use? Evidence from 97 urbanized areas. *Transportation Research Part A*, 100(1), p. 162–169.
- Siagian, P., 1987. *Penelitian operasional: teknik dan praktek*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Singh, Y. J. et al., 2014. Measuring transit oriented development: a spatial multi criteria assessment approach for the City Region Arnhem and Nijmegen. *Journal of Transport Geography*, Volume 35, pp. 130-143.
- Singh, Y. J. et al., 2017. Measuring TOD around transit nodes - Towards TOD policy. *Transport Policy*, 56(1), pp. 96-111.

- Singh, Y. J. et al., 2015. *Planning for Transit Oriented Development (TOD) using a TOD index*. Washington D.C., CRC Press.
- Soehodho, S., 2017. Public transportation development and traffic accident prevention in Indonesia. *IATSS Research*, 40(2), pp. 76-80.
- Sterman, J. D., 2000. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill/Irwin: Jeffrey J. Shelstad.
- Sterman, J. D., 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: McGraw-Hill Education.
- Stopher, P. R., 2004. Reducing road congestion: a reality check. *Transport Policy*, 1(11), p. 117–131.
- Suryani, E., 2005. *Pemodelan dan Simulasi*. s.l.:Graha Ilmu.
- Suryani, E. et al., 2020. Urban mobility modeling to reduce traffic congestion in Surabaya: a system dynamics framework. *Journal of Modelling in Management*, pp. 1-33.
- Susantoro, B. & Parikesit, D., 2004. 1-2-3 Langkah: Langkah Kecil yang Kita Lakukan Menuju Transportasi yang Berkelanjutan. In: *Majalah Transportasi Indonesia*. s.l.:s.n., pp. 89-95.
- Sutomo, M. S., 2011. *Kebutuhan Angkutan umum di Kota Surabaya*. [Online] Available at: <https://ylpkjatim.or.id/kebutuhan-angkutan-umum-di-kota-surabaya-revisi/> [Accessed 14 April 2021].
- Tahir, A., 2012. Angkutan Massal Sebagai Alternatif Mengatasi Persoalan Kemacetan Lalu Lintas Kota Surabaya. *SMARTek*, 3(3).
- Tamin, O. Z., 2002. *Sistem Angkutan Umum Berbasis Jalan Rel Sebagai Salah Satu Alternatif Pemecahan Permasalahan Transportasi Perkotaan*. Surabaya: Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.
- Tangphaisankun, A., Okamura, T. & Nakamura, F., 2009. Study On Influences of Paratransit on Mass Transit Connectivity in Developing Countries: A Case Study of Bangkok. *Infrastructure Planning Review*, 26(4), pp. 781-790.
- Tasrif, M., 2004. *Model simulasi untuk analisis kebijakan: pendekatan metodologi system dynamics*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Teklemariam, E. A. & Shen, Z., 2020. Determining transit nodes for potential transit-oriented development: Along the LRT corridor in Addis Ababa, Ethiopia. *Frontiers of Architectural Research*.

- Tirachini, A., Hensher, D. A. & Jara-Díaz, S. R., 2010. Comparing operator and users costs of light rail, heavy rail and bus rapid transit. *Research in Transportation Economics*, 29(1), pp. 231-242.
- Vos, J. D., Acker, V. V. & Witlox, F., 2014. The influence of attitudes on Transit-Oriented Development: An explorative analysis. *Transport Policy*, Volume 35, pp. 326-329.
- Walters, J. P. et al., 2016. Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecological Modelling*, Volume 333, pp. 51-65.
- Widyahari, N. L. A. & Indradjati, P. N., 2015. *The potential of Transit-Oriented Development (TOD) and its opportunity in Bandung Metropolitan Area*. s.l., ScienceDirect.
- Yanuarsih, R., 2018. *Efektifitas Kebijakan "Taksi Online" di Kota Surabaya (Studi tentang Instrumen Kebijakan Angkutan Sewa Khusus dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 108 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Angkutan Orang dengan Kendaraan Bermotor Umum tidak dalam Trayek*. 1st ed. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Zhang, M., 2009. Bus versus rail: Meta-analysis of cost characteristics, carrying capacities, and land use impacts. *Transportation Research Record*, 2110(1), pp. 87-95.
- Zulfikar, M. W., Kusnopranto, H., S, B. T. & Darmadi, B., 2013. Model Restrictions on The Use of Motor Vehicles To Reduce Congestion And Air Pollution in Order To Achieve Sustainable City in Jakarta. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(6), pp. 537-542.

PROFIL PENULIS



Prof. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D. telah menyelesaikan pendidikan S-1 Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 1994; S-2 Teknik Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2001; S-3 Industrial Management di National Taiwan University of Science and Technology (NTUST) pada tahun 2010 dengan topik disertasi sistem dinamik dan aplikasinya di berbagai bidang. Saat ini penulis sebagai dosen di Departemen Sistem Informasi-ITS, dan *reviewer* di beberapa Jurnal Internasional Q1 dan Q2, serta aktif sebagai *reviewer* riset nasional. Penulis juga menjadi *guest editor* pada *Jurnal Science Publication* untuk bidang *Analytics Modelling, Simulation, and Applications*. Bidang riset penulis saat ini meliputi: *Model-Driven Decision Support Systems; System Dynamics, Modelling and Simulation; Urban Planning; Intelligent Transportation Systems; Pengembangan Software; Internet of Things (IOT) Implementation to Support Smart City; Sustainable Development*.



Rully Agus Hendrawan, S.Kom., M.Eng. telah menyelesaikan pendidikan S-1 Teknik Informatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2004; S-2 Advanced Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, Japan pada tahun 2009. Saat ini penulis sebagai dosen di Departemen Sistem Informasi-ITS, serta Kepala Laboratorium Sistem Enterprise, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas (FT-EIC). Topik tesis pada saat S2 adalah tentang "*Finding Logical Coupling using Association Mining on Software Repository*". Bidang riset penulis saat ini meliputi: *Information Engineering, User Experience, Human Computer Interaction, Database Design*, serta Pemodelan dan Simulasi.



Muhammad Andika Satrugna Mahardhika, S.Kom., M.Kom. telah menyelesaikan pendidikan S-1 Teknik Informatika di Universitas Telkom Bandung pada tahun 2019 dengan bidang penelitian *Internet of Things*; S-2 Sistem Informasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2022 dengan topik tesis sistem dinamik pada sektor transportasi. Saat ini penulis sebagai staf di Yayasan Konservasi Way Seputih. Penulis

pernah mengambil *project* terkait *fish farming* dan *fuel monitoring*. Bidang riset penulis meliputi *Internet of Things*, *Hardware & Embedded System*, Sistem Dinamik, serta Pemodelan dan Simulasi.



Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom. telah menyelesaikan pendidikan S-1 Sistem Informasi di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur pada tahun 2019 dengan bidang penelitian Software Development; S-2 Sistem Informasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2021 dengan topik tesis sistem dinamik pada sektor pertanian. Saat ini penulis sebagai dosen di Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember. Penulis memiliki pengalaman sebagai staf *Enterprise Resource Planning (ERP) Functional Consultant* di PT.

Andromedia Indonesia pada tahun 2019 dan sebagai *Project Control Manager* di PT. Piramida Teknologi Informasi pada tahun 2021. Bidang riset penulis saat ini meliputi Sistem Enterprise, *Software Development*, Sistem Dinamik, serta Pemodelan dan Simulasi.

Pengembangan Mode Transportasi *Light Rail Transit* Berbasis Sistem Dinamik

Moda transit adalah moda transportasi umum yang memiliki jalur tersendiri. Salah satu sistem transportasi masal yaitu *Light Rail Transit* (LRT). Permasalahan transportasi yang terjadi di daerah perkotaan di Indonesia adalah bagaimana memenuhi permintaan jumlah perjalanan yang semakin meningkat akibat peningkatan jumlah penduduk. Maka dilakukan upaya untuk dapat mendorong masyarakat agar dapat menggunakan transportasi umum, khususnya moda transit. Konsep *Transit Oriented Development* (TOD) ini diterapkan dengan tujuan untuk memusatkan pembangunan kota.

Pemecahan permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan simulasi model sistem dinamik. Sistem dapat diartikan sebagai sekumpulan entitas yang saling berinteraksi satu sama lain. Model merupakan sebuah representasi dari sistem nyata. Simulasi merupakan proses pembuatan sebuah model berdasarkan sistem nyata. Sedangkan sistem dinamik dapat digunakan untuk memodelkan perilaku nonlinier serta interaksi dinamis (umpan balik) antarfaktor yang saling berhubungan. Simulasi sistem dinamik terdiri dari lima tahapan yakni *problem articulation, dynamics hypothesis, formulating a simulation model, testing, serta policy design and evaluation*.

Ventana Simulation adalah alat pemodelan yang mempermudah untuk membuat konsep, mendokumentasikan, menyimulasikan, menganalisis, dan mengoptimalkan model sistem dinamik. Vensim menyediakan cara yang mudah dan sederhana untuk dapat membangun model simulasi, baik itu *causal loop diagram* (CLD) atau *stock and flow diagram* (SFD). Setelah pembuatan model serta melakukan validasi model dan model dinyatakan valid, selanjutnya dilakukan pengembangan skenario. Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan. Dalam buku ini skenario TOD dengan moda LRT akan diimplementasikan di beberapa daerah di Surabaya sebagai salah satu kota besar di Indonesia. Hal ini berdampak pada peningkatan jumlah pejalan kaki dan pengguna sepeda.

Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kalurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📍 Penerbit Deepublish

📱 @penerbitbuku_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Komputer

ISBN 978-623-02-5054-3



9

786230

250545