

# PENGGUNAAN MODEL DINAMIKA SISTEM DALAM KEBIJAKAN KESELAMATAN TRANSPORTASI

**Elsa Tri Mukti**  
Program Doktor  
Rekayasa Transportasi FTSL, ITB  
Jln. Ganesha No. 10, Bandung  
elsatrimukti.faisal@gmail.com

**Ade Sjafruddin**  
Program Doktor  
Rekayasa Transportasi FTSL, ITB  
Jln. Ganesha No. 10, Bandung  
ades@trans.si.itb.ac.id

**Aine Kusumawati**  
Program Doktor  
Rekayasa Transportasi FTSL, ITB  
Jln. Ganesha No. 10, Bandung  
aine@trans.si.itb.ac.id

## Abstract

In a complex system, such as in the field of transportation safety, the problem is actually present in the basic structure of the system. Therefore, an analysis of the system is needed to solve the problems in a comprehensive manner. For this reason, a systems approach is highly demanded. The systems approach is not just a matter of theory but also the practical way of thinking and philosophy in solving a problem. System dynamics model presents a set of cohesive steps to be followed systematically by understanding the root or basic cause of any problems under consideration. By providing insight into the feedback process, system dynamics models provide a better understanding of the users of the system to understand the dynamic behavior of a system.

**Keywords:** system dynamics, systems approach, model, transport safety

## Abstrak

Dalam suatu sistem yang kompleks, seperti dalam bidang keselamatan transportasi, permasalahan sebenarnya terdapat pada struktur dasar sistem tersebut. Oleh karena itu, analisis terhadap sistem dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan permasalahan secara komprehensif atau diperlukan suatu bentuk penyelesaian yang menggunakan pendekatan sistem. Pendekatan sistem bukan hanya menyangkut masalah teori tetapi juga mengenai cara berpikir dan filsafat praktis dalam memecahkan suatu masalah. Model dinamika sistem menyajikan seperangkat langkah-langkah penyelesaian kohesif yang harus diikuti secara sistematis dengan memahami akar atau penyebab dasar setiap permasalahan yang dipertimbangkan. Dengan memberikan wawasan dalam proses umpan balik, model dinamika sistem memberikan pemahaman yang lebih baik kepada pengguna sistem untuk memahami perilaku dinamis suatu sistem.

**Kata-kata kunci:** dinamika sistem, pendekatan sistem, model, keselamatan transportasi

## PENDAHULUAN

Kajian keselamatan lalu lintas jalan saat ini menjadi suatu hal yang sangat penting dan strategis, karena melibatkan unsur keselamatan jiwa manusia. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO, 2013), kecelakaan yang disebabkan lalu lintas jalan diperkirakan mencapai 1,24 juta kematian di seluruh dunia pada tahun 2010. Dalam meningkatkan keselamatan lalu lintas di jalan terdapat tiga bagian yang saling berhubungan dengan operasi lalu lintas, yaitu pengemudi, kendaraan, dan jalan. Dalam suatu sistem yang kompleks, seperti kecelakaan lalu lintas, permasalahan sebenarnya terdapat pada struktur dasar sistem tersebut. Oleh karena itu, analisis terhadap sistem dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan permasalahan secara komprehensif sehingga diperlukan suatu bentuk

penyelesaian dengan menggunakan pendekatan sistem. Pendekatan sistem bukan hanya menyangkut masalah teori, namun juga mengenai cara berpikir dan filsafat praktis dalam memecahkan suatu masalah.

Tulisan ini bertujuan memetakan dan melakukan tinjauan terhadap bagaimana metodologi pendekatan sistem, dalam hal ini pendekatan Dinamika Sistem (*System Dynamics*), digunakan dalam kerangka kajian kebijakan keselamatan transportasi, khususnya jalan. Dalam suatu kajian mengenai kebijakan keselamatan untuk mengurangi kecelakaan di jalan perlu upaya untuk melibatkan suatu sistem yang kompleks, yang terdiri atas faktor manusia, jalan, kendaraan, dan lingkungan lainnya. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk mengembangkan model simulasi dinamis untuk dapat memahami interaksi antara berbagai faktor dalam sistem yang kompleks itu sehingga diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional dalam mencegah kecelakaan di jalan.

## **PENDEKATAN SISTEM**

Pendekatan sistem dapat didefinisikan sebagai suatu metode dalam mengorganisasi, memberikan prosedur yang efisien untuk representasi, merencanakan, dan menganalisis suatu sistem yang kompleks dan dinamik. Pendekatan ini adalah sebuah metodologi penyelesaian masalah secara komprehensif, yang meliputi dua langkah pemikiran, yaitu:

1. Struktur rasional informasi atau data kuantitatif dan kualitatif, terutama dalam bentuk model untuk merepresentasikan permasalahan.
2. Pembentukan teknik analisis sehingga permasalahan dapat dianalisis dan ditemukan pemecahannya.

Metode ini berhubungan erat dengan pertanyaan-pertanyaan tentang tendensi-tendensi dinamika sistem-sistem yang kompleks, yaitu pola-pola tingkah laku yang dibangkitkan oleh sistem itu dengan bertambahnya waktu. Penggunaan metodologi ini lebih ditekankan pada tujuan-tujuan peningkatan pengertian tentang bagaimana tingkah laku sistem itu muncul dari strukturnya. Pengertian ini sangat penting dalam perancangan kebijaksanaan yang efektif.

Konsep sebuah sistem adalah sebagai berikut:

- a. Sebuah sistem adalah gabungan komponen-komponen yang teratur, dengan “teratur” berarti ada hubungan khusus antara komponen.
- b. Sistem ‘melakukan sesuatu’ yang dengan kata lain menunjukkan sebuah tipe perilaku yang unik untuk sistem tersebut.
- c. Tiap komponen ‘berkontribusi’ terhadap perilaku sistem dan ‘mempengaruhi’ karena berada di dalam sistem dan tidak ada komponen yang ‘independen’ dalam sistem tersebut, serta perilaku dalam sistem dapat diubah jika komponen manapun dipindahkan atau meninggalkan sistem.

- d. Kelompok dalam komponen yang berada dalam suatu sistem dapat memiliki properti nomor (a), (b), dan (c) sehingga dapat membentuk sub-sub sistem.
- e. Sesuatu yang berada di luar sistem merupakan lingkungan yang memberikan *input* ke dalam sistem dan menerima *output* dari sistem.
- f. Sistem diidentifikasi sebagai kepentingan khusus atau memiliki tujuan tertentu.

Dalam memahami suatu masalah yang melibatkan sebuah sistem yang kompleks dan dinamik dibutuhkan suatu metode penyelesaian yang dapat menjawab pertanyaan tentang bagaimana pola tingkah laku sistem tersebut muncul dari strukturnya. Pemahaman terhadap sistem dapat diperoleh dengan melihat hubungan yang saling berkaitan antara komponen-komponen sistem secara keseluruhan. Terdapatnya banyak variabel yang mempengaruhi dampak penerapan suatu kebijakan keselamatan transportasi yang membutuhkan suatu analisis yang harus dilakukan dengan pendekatan yang menyeluruh.

Penggunaan model dinamika sistem dalam proses analisis untuk membuat suatu kebijakan keselamatan transportasi dilakukan dengan pertimbangan bahwa model dinamika sistem:

- a. mampu mensimulasikan bermacam intervensi dan dapat memunculkan perilaku sistem karena adanya intervensi tersebut;
- b. memungkinkan mensimulasikan suatu intervensi yang efeknya dapat berbeda secara dramatik dalam jangka pendek, menengah dan jangka panjang (kompleksitas dinamik);
- c. merupakan perilaku yang pernah dialami dan teramati (historis) ataupun perilaku yang belum pernah teramati (pernah dialami tetapi tidak teramati atau belum pernah dialami tetapi kemungkinan besar terjadi);
- d. mampu menjelaskan mengapa suatu perilaku tertentu dapat terjadi; dan
- e. tidak mendasarkan modelnya pada data historis saja, namun dapat dikembangkan berdasarkan kesesuaian struktur model dengan dunia nyata, sehingga cocok digunakan untuk sebuah penelitian yang memiliki permasalahan “kelemahan validitas data”.

## **ANALISIS KEBIJAKAN KESELAMATAN TRANSPORTASI**

Dinamika sistem menggunakan berbagai alat dan teknik. seperti pengaruh dan *causal loop* diagram, simulasi komputer, dan optimasi, serta telah digunakan untuk memfasilitasi analisis kompleks sistem fisik dan sosial. Salah satu alasan yang menyebabkan dinamika sistem populer adalah bahwa memungkinkan eksperimen kebijakan dan memfasilitasi diskusi dengan skenario '*What-if*'. Dinamika sistem dapat digunakan dalam proses analisis kebijakan keselamatan transportasi pada tingkat makroskopik, yaitu yang mencakup sistem yang kompleks analisis sistem, serta pada tingkat mikroskopis, seperti menjelaskan bagaimana, mengapa, dan cara mengatasi suatu permasalahan keselamatan, seperti kecelakaan lalu lintas dan kemacetan jalan.

Pembangunan ekonomi dan urbanisasi menimbulkan sejumlah dampak yang berkaitan dengan eksternalitas negatif pada sistem transportasi, seperti keselamatan lalulintas, risiko kesehatan lingkungan, dan kemacetan lalulintas. Beberapa penelitian dilakukan dengan tujuan untuk memberikan perspektif dinamika sistem dalam upaya memecahkan permasalahan tersebut dan memeriksa hubungan sebab-akibat (*cause-effect relations*), tundaan (*delay*), dan *loop* umpan balik (*feedback loop*) dalam sistem yang berfungsi untuk menghasilkan resistensi kebijakan dan mengusulkan strategi kebijakan untuk mengatasi masalah dalam jangka waktu yang lama. Tujuan model dinamika sistem ini adalah untuk membantu para pembuat kebijakan untuk lebih memahami dampak berbagai proses umpan balik yang dinamis dan tundaan yang terlibat dengan pengambilan keputusan, khususnya dalam hal keselamatan transportasi.

Goh dan Love (2012) mengembangkan dua model untuk menunjukkan bagaimana model dinamika sistem dapat memfasilitasi dan mendorong tingkat makro dan meso analisis kebijakan keselamatan lalulintas. Model pertama digunakan untuk menilai pilihan kebijakan sehingga mendorong pembelian mobil dengan penilaian keamanan yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini Goh mengembangkan sebuah model dinamika sistem terhadap Program New Car Assessment di Australia. Model tersebut kemudian disimulasikan untuk menggambarkan besaran sensitivitas parameter kunci, seperti biaya dan manfaat perpajakan. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap penerapan kebijakan subsidi. Model kedua digunakan untuk mengevaluasi dampak kebijakan angkutan umum terhadap waktu tempuh dan pertimbangan keselamatan lalulintas. Pada model kedua ini ditampilkan contoh dampak keselamatan terhadap kebijakan perubahan subsidi angkutan umum di pinggiran kota.

Pada kedua contoh tersebut model dinamika sistem menyediakan berbagai skenario yang dapat digunakan oleh pembuat kebijakan untuk mengembangkan kebijakan yang sesuai dan tepat. Kekuatan dan kelemahan model dinamika sistem dalam analisis keselamatan transportasi jalan juga diperiksa. Goh dan Love (2012) menyarankan bahwa dinamika sistem dapat digunakan untuk merumuskan kebijakan makro karena dapat menjelaskan kompleksitas dinamis yang terkait dengan sistem transportasi jalan dan dapat digunakan untuk membantu sebuah eksperimen kebijakan.

### **Kebijakan Keselamatan Yang Berhubungan Dengan Kecelakaan Lalulintas**

Minami dan Madnick (2010) melakukan studi untuk menunjukkan bagaimana analisis dinamika sistem dapat digunakan untuk lebih memahami akar permasalahan yang kompleks suatu kecelakaan lalulintas. Penerapan analisis sistem dan secara khusus analisis dinamika sistem dalam menangani masalah keselamatan lalulintas dapat sangat membantu. Model makroskopik yang membahas keselamatan lalulintas dapat membantu dalam banyak cara. Pertama, model ini dapat membantu untuk menginformasikan pembuat kebijakan untuk mengetahui faktor penyebab yang dalam sistem paling mungkin untuk menghasilkan penurunan kecelakaan di masa depan. Kedua, model ini memiliki kekuatan

untuk dapat menjelaskan sehingga dapat membantu para analis untuk lebih memahami konsep-konsep, seperti umpan balik dan tundaan, berdampak pada sistem. Model mikroskopis juga dapat membantu, terutama dalam kemampuan untuk menjelaskan bagaimana kecelakaan terjadi. Model mikroskopis sederhana yang dihasilkan oleh Minami dan Madnick (2010) menunjukkan pentingnya pemantauan tingkat stres pengemudi, pentingnya pelatihan dan pengetahuan bagi seorang pengemudi untuk dapat mempraktekan cara mengemudi yang selamat, dan bahwa pentingnya faktor-faktor lain, seperti jumlah waktu pengemudi yang dihabiskan di jalan serta sikap pengemudi, dalam mencegah kecelakaan. Pada akhirnya analisis sistem kecelakaan dapat membantu untuk memberikan wawasan baru dan inovatif yang meningkatkan budaya keselamatan dan yang membuat jalan lebih berkeselamatan.

Penelitian dengan menggunakan dinamika sistem untuk mengidentifikasi berbagai penyebab kecelakaan di jalan di Kota Chennai dilakukan oleh Kumar dan Umadevi (2011). Pada penelitian tersebut dibuat beberapa skenario kebijakan untuk mengurangi jumlah kecelakaan dan lebih meningkatkan keselamatan di jalan. Diperoleh hasil bahwa faktor pelatihan dan pengetahuan tentang keselamatan serta kesadaran masyarakat merupakan hal yang penting dan dapat berpengaruh dalam mengurangi jumlah kecelakaan. Besarnya biaya yang dikeluarkan untuk kebijakan ini juga berdampak pada pengurangan jumlah kecelakaan terjadi.

Topolsek dan Lipicnik (2009) menggunakan model dinamika sistem untuk mengurangi jumlah kecelakaan di jalan karena salah arah dalam mengemudi. Kecelakaan jalan sering berakibat fatal karena kecepatan tinggi dan salah satu alasan kecelakaan yang terjadi adalah karena mengemudi kearah yang salah. Model dinamika sistem menyediakan simulasi untuk mengurangi jumlah kecelakaan di jalan dalam kaitannya dengan perilaku manuver U-turn yang salah dan mengemudi ke arah yang salah. Kemungkinan penanggulangan yang diberikan untuk mencegah terjadinya mengemudi di arah yang salah di jalan adalah mengurangi jumlah manuver U-turn.

### **Kebijakan Keselamatan yang Berhubungan dengan Kemacetan Lalulintas**

Armah et al. (2010) melakukan penelitian di kota Accra (ibukota Ghana) yang menghadapi masalah dalam perencanaan kota, seperti seperti kemacetan lalulintas dan polusi udara. Melalui diagram *causal loop* alternatif-alternatif diusulkan untuk membatasi efektivitas *loop* negatif. Tujuannya adalah untuk meningkatkan minat masyarakat terhadap penggunaan angkutan umum dan sekaligus mengurangi penggunaan mobil pribadi. Berdasarkan hasil analisis ditunjukkan bahwa kebijakan, terutama instrumen ekonomi, diusulkan untuk dapat digunakan dalam mengurangi permasalahan kemacetan lalulintas di kota Accra. Tiga langkah utama yang dapat dipertimbangkan oleh pembuat kebijakan adalah mengembangkan sistem angkutan umum, memperluas dan meningkatkan jaringan jalan, dan menerapkan manajemen kebutuhan perjalanan (*travel demand management*).

Penelitian dalam rangka mengatasi kemacetan, dengan menggunakan dinamika sistem, juga dilakukan oleh Prasetyawan dan Fitriana (2011). Dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik dicoba untuk diketahui dampak rencana Pemerintah Kota Surabaya untuk mengoperasikan suatu transportasi massal, yang disebut *Bus Rapid Transit* atau yang lebih dikenal dengan *busway*, terhadap kemacetan lalu lintas yang terjadi di Surabaya. Tujuan penelitian tersebut adalah mengidentifikasi variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kemacetan lalu lintas dan menganalisis kebijakan yang dibuat oleh pemerintah terkait dengan sistem kemacetan lalu lintas sehingga dapat diketahui kebijakan yang tepat untuk mengatasi kemacetan tersebut. Tahapan pembuatan model ini adalah penentuan batasan model, pengidentifikasian *causal loop*, pembuatan *causal loop*, formulasi model, dan simulasi serta validasi model sistem dinamik. Pada penelitian ini dibuat 4 skenario model yang dibandingkan dengan kondisi eksisting, yaitu Kota Surabaya yang belum memiliki *busway*. Pada Skenario 1 terdapat pengguna kendaraan bermotor seperti bis, angkutan umum lain, mobil, dan motor yang beralih menggunakan *busway*. Pada Skenario 2 Pemerintah Kota Surabaya menentukan adanya *re-routing* bis yang berarti sepanjang jalur utara-selatan tidak dilayani oleh bis yang beroperasi. Pada Skenario 3 dan Skenario 4 terdapat *re-routing* bis namun pada Skenario 3 terdapat pembatasan sepeda motor sedangkan pada Skenario 4 terdapat pembatasan sepeda motor dan mobil. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kebijaksanaan yang terbaik adalah dengan skenario 4, yaitu *re-routing* dan bis serta pembatasan penggunaan sepeda motor dan mobil pribadi. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa dengan kebijaksanaan ini kemacetan lalu lintas mengalami penurunan dan masyarakat yang menggunakan *busway* mengalami peningkatan setiap tahunnya.

### **Kebijakan Keselamatan yang Berhubungan dengan Perkerasan Jalan**

Kondisi perkerasan jalan juga berpengaruh terhadap keselamatan lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapisan jalan yang sesuai dengan kebutuhan lalu lintas dan menghindari kecelakaan akibat selip tidak kurang pentingnya dibandingkan dengan pemilihan untuk konstruksi. Tempat-tempat yang mempunyai permukaan dengan bagian tepi dengan koefisien gaya gesek yang rendah akan mudah mengalami kecelakaan selip dibandingkan dengan lokasi-lokasi lain yang sejenis yang mempunyai nilai koefisien gaya gesek yang tinggi. Hal ini penting bila pengereman atau pembelokan sering terjadi, misalnya pada bundaran, jalan menikung, persimpangan, pada saat mendekati tempat pemberhentian bis, penyeberang, dan pada jalan-jalan miring, sehingga pada lokasi-lokasi tersebut perlu diberi permukaan jalan yang sesuai.

Linard (2009) menggunakan dinamika sistem untuk membuat suatu model pemeliharaan perkerasan jalan. Model ini menunjukkan bahwa kebanyakan sistem manajemen pemeliharaan perkerasan cenderung berupa database non-analitis atau model korelasi statistika. Namun pemeliharaan perkerasan merupakan bagian sistem yang kompleks yang terdiri atas perkerasan jalan, lingkungan, pengguna yang beragam, dan otoritas pemeliharaan jalan, baik di Pusat maupun di daerah. Sistem ini memiliki komponen yang signifikan, sehingga cocok untuk penyelidikan yang menggunakan

dinamika system. Selain itu model ini menganalisis kerusakan perkerasan dari waktu ke waktu terhadap 530 segmen jalan perdesaan, memprioritaskan perawatan rehabilitasi berdasarkan preferensi pengguna dan keterbatasan anggaran, dan mengidentifikasi konsekuensi pendekatan anggaran yang berbeda. Umpan balik diberikan kepada pengambil keputusan, yang meliputi jumlah rumah tangga yang dilayani oleh jalan yang rusak parah, jumlah keluhan pengguna, biaya kecelakaan, dan biaya operasi kendaraan. Pada penelitian ini ditemukan bahwa dinamika sistem sangat berguna dalam memahami hubungan antara aspek kualitatif dan kuantitatif manajemen aset jalan, dengan pemodelan dinamika sistem menggunakan seperangkat teknik yang memungkinkan dimasukkannya faktor kuantitatif dan kualitatif. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa dengan berfokus pada variabel kunci (terutama jumlah atau kandungan kerikil pada perkerasan jalan) implikasi dari tahun yang terjadi karena kurangnya pendanaan menjadi jelas dan kerangka waktu yang panjang untuk memperbaiki situasi tersebut menjadi dapat dipahami.

## **KESIMPULAN**

Dinamika sistem dikenal karena kemampuannya untuk mengungkap kompleksitas dan untuk membantu eksperimen kebijakan. Dalam kasus sektor transportasi jalan, dinamika sistem dapat digunakan dalam pembuatan kebijakan dan dapat digunakan oleh pengambil keputusan untuk memahami dinamika yang berlaku, yang mempengaruhi perkembangan, dan mengevaluasi kebijakan keselamatan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kelebihan penggunaan metode dinamika sistem bila dibandingkan dengan pemodelan korelasi statistika yang lebih tradisional. Walaupun demikian dinamika sistem juga memiliki sejumlah keterbatasan. Simulasi merupakan komponen integral dinamika sistem dan karena itu bergantung pada dimensi waktu untuk merumuskan alternatif kebijakan. Akibatnya aspek spasial dan efek distribusi tidak terlalu diperhitungkan.

Meskipun memiliki keterbatasan dinamika sistem dianggap metodologi yang cocok dan sesuai untuk memeriksa kebijakan keselamatan transportasi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan model yang dapat secara efektif digunakan untuk mengembangkan kebijakan, khususnya yang berkaitan dengan validitas struktural dan perilaku. Pemodelan dinamika sistem juga tidak harus dianggap sebagai pengganti pendekatan pemodelan keselamatan transportasi jalan yang telah ada, tetapi sebagai metodologi komplementer untuk mengembangkan dan menguji alternatif suatu kebijakan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Armah, F.A, Yawson, D.O, dan Pappoe, A.A.N.M. 2010. *A Systems Dynamics Approach to Explore Traffic Congestion and Air Pollution Link in the City of Accra, Ghana*. *Journal Sustainability*, 2 (1): 252-265.

- Goh, Y.M. dan Love, P.E.D. 2012. *Methodological Application of System Dynamics For Evaluating Traffic Safety Policy*. Journal Safety Science, 50 (7): 1594-1605.
- Linard, K.T. 2009. *Application of System Dynamics to Unsealed Road Maintenance Management*. Conference Proceedings. Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, NM.
- Minami, N. dan Madnick, S. 2010. *Using Systems Analysis to Improve Traffic Safety, Working Paper CISL 2010-04*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Prasetyawan Y., dan Fitriana I. 2011. *Analisis Dampak Rencana Pembangunan Busway terhadap Kemacetan Lalulintas pada Jalur Utara-Selatan dengan Pendekatan Sistem Dinamik*. Seminar Nasional Teknologi Industri XV. Surabaya.
- Tasrif, M. 2013. *Analisis Kebijakan Menggunakan Model System Dynamics (Dinamika Sistem): Suatu Pengantar, Bahan Kuliah, Program Magister Studi Pembangunan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Topolsek, D. dan Lipicnik, M. 2009. *System Dynamic Model of Measures for Reducing the Number of Road Accidents Due to Wrong-way Movement on Motorways*. Journal Traffic &Transportation, 21 (2): 85-91.
- Torres, M.D.S., Lechon, R.F., dan Soto, P.F. 2012. *Road Safety Strategies: An Analysis with System Dynamic*. (Online), (<http://www.systemdynamics.org/conferences/2012/proceed/papers/P1181.pdf>).