

TINJAUAN PENGGUNAAN MODEL DINAMIKA SISTEM (SYSTEM DYNAMICS) DALAM KEBIJAKAN KESELAMATAN TRANSPORTASI

Elsa Tri Mukti
Mahasiswa Program Doktor
Rekayasa Transportasi FTSL ITB,
Jl. Ganesha No. 10 Bandung
Email :
elsatrimukti.faisal@gmail.com

Ade Sjafruddin
Professor, Program Doktor
Rekayasa Transportasi FTSL ITB,
Jl. Ganesha No. 10 Bandung
Email :
ades@trans.si.itb.ac.id

Aine Kusumawati
Ass. Professor Program Doktor
Rekayasa Transportasi FTSL ITB,
Jl. Ganesha No. 10 Bandung
Email :
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 needed to be able to solve problems in a comprehensive manner, so we need a form of settlement by using a systems approach. A systems approach is not only in regards to theory, but also the way of thinking and practical philosophy in solving a problem. System dynamics model under system approach methodology set completion cohesive steps to be followed systematically by understanding basic cause of every problem 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.

Keyword : *System Dynamics, Transportation Safety Policy*

Abstrak

Dalam suatu sistem yang kompleks, seperti dalam bidang keselamatan transportasi, permasalahan sebenarnya terdapat pada struktur dasar dari 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. Model dinamika sistem (*System Dynamics*) di bawah metodologi pendekatan sistem menyajikan seperangkat langkah-langkah penyelesaian kohesif yang harus diikuti secara sistematis dengan memahami akar/penyebab dasar dari 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 dari suatu sistem.

Kata kunci : *Dinamika Sistem, Kebijakan 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 3 (tiga) bagian yang saling berhubungan dengan operasi lalu lintas, yakni: *pengemudi, kendaraan, dan jalan raya*. Dalam suatu sistem yang kompleks, seperti kecelakaan lalu lintas, permasalahan sebenarnya terdapat pada struktur dasar dari 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 dari faktor manusia, jalan raya, 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 sedemikian sehingga diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode konvensional dalam mencegah kecelakaan di jalan khususnya.

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 2 langkah pemikiran, yaitu :

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

Sesuai dengan namanya, metode ini erat berhubungan 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 kepada tujuan-tujuan peningkatan pengertian tentang bagaimana tingkah laku sistem itu muncul dari strukturnya. Pengertian ini sangat penting dalam perancangan kebijaksanaan yang efektif.

Konsep dari sebuah sistem adalah :

1. Sebuah sistem adalah gabungan komponen – komponen yang teratur. “Teratur” berarti bahwa ada hubungan khusus antara komponen.
2. Sistem ‘melakukan sesuatu’ yang dengan kata lain bahwa ia menunjukkan sebuah tipe perilaku yang unik untuk sistem tersebut.
3. Tiap komponen ‘berkontribusi’ terhadap perilaku sistem dan ‘dipengaruhi’ karena berada di dalam sistem. Tidak ada komponen yang ‘independen’ dalam sistem. Perilaku dalam sistem dapat diubah jika komponen manapun dipindahkan atau meninggalkan sistem.
4. Kelompok di dalam komponen yang berada di dalam suatu sistem bisa jadi juga memiliki properti nomor (a), (b) dan (c) diatas, sehingga mereka dapat membentuk sub – sub sistem.
5. Sistem memiliki sesuatu yang berada di luar tersebut sebagai lingkungan yang memberikan input ke dalam sistem dan menerima output dari sistem.
6. Sistem telah diidentifikasi sebagai kepentingan khusus (memiliki tujuan tertentu).

Dalam memahami suatu masalah yang melibatkan sebuah sistem yang kompleks dan dinamik dibutuhkan sebuah 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 sistem secara keseluruhan. Terdapatnya banyak variabel yang mempengaruhi dampak

penerapan dari suatu kebijakan keselamatan transportasi, membutuhkan sebuah analisis yang harus dilakukan dengan suatu pendekatan yang menyeluruh.

DINAMIKA SISTEM

Dinamika sistem memiliki sejarah panjang sebagai paradigma pemodelan ini merupakan hasil karya Forrester (1961) dari Universitas Massachusetts di Amerika Serikat, yang mengembangkan subjek untuk memberikan pemahaman tentang masalah strategis dalam sistem yang kompleks dan dinamis. Model dinamika sistem, dengan memberikan wawasan ke dalam proses umpan balik, memberikan pengguna sistem dengan pemahaman yang lebih baik dari perilaku dinamis dari sistem. Ini adalah metodologi dimana interaksi yang kompleks, dinamis dan non linear dalam sistem sosial dapat dipahami dan dianalisis, dan struktur serta kebijakan baru dapat dirancang untuk meningkatkan atau memperbaiki perilaku sistem. (Kumar, M.,E., 2011).

Di dalam situs *System Dynamics Society*, *System Dynamics* (Dinamika Sistem) didefinisikan :

“System dynamics is a methodology for studying and managing complex feedback systems, such as one finds in business and other social systems. In fact it has been used to address practically every sort of feedback system. While the word system has been applied to all sorts of situations, feedback is the differentiating descriptor here. Feedback refers to the situation of X affecting Y and Y in turn affecting X perhaps through a chain of causes and effects. One cannot study the link between X and Y and, independently, the link between Y and X and predict how the system will behave. Only the study of the whole system as a feedback system will lead to correct results.”

Kata sistem telah diaplikasikan ke semua macam situasi, sedangkan kata umpan-balik di sini merupakan alat untuk mendeskripsikan suatu proses penurunan (pendiferensiasian). Umpan-balik menyatakan suatu situasi X mempengaruhi Y dan pada gilirannya Y mempengaruhi X yang mungkin melalui serangkaian rantai hubungan sebab-akibat. Seseorang tidak dapat mempelajari hubungan antara X dan Y, secara terpisah, untuk kemudian memprediksi bagaimana sistem itu berperilaku. Pemahaman yang benar terhadap sistem dapat diperoleh dengan melihat hubungan saling terkait itu secara keseluruhan dan tidak dipisah-pisahkan.

Apa bedanya pendekatan *System Dynamics* dengan pendekatan sistem yang lainnya? Hal ini dijawab oleh MIT (Massachusetts Institute of Technology - USA) *System Dynamics Group*

“What makes using system dynamics different from other approaches to studying complex systems is the use of feedback loops. Stocks and flows help describe how a system is connected by feedback loops which create the nonlinearity found so frequently in modern day problems. Computers software is used to simulate a system dynamics model of the situation being studied. Running "what if" simulations to test certain policies on such a model can greatly aid in understanding how the system changes over time.”

Persoalan yang dapat dengan tepat dimodelkan menggunakan *System Dynamics* (Dinamika Sistem) adalah masalah yang : mempunyai sifat dinamis (berubah terhadap waktu); dan struktur fenomenanya mengandung paling sedikit satu struktur umpan-balik (*feedback*

structure). Rancangan *causal loop diagram* (CLD) biasanya digunakan dalam *system thinking* (berpikir sistemik) untuk mengilustrasikan hubungan *cause-effect* (sebab-akibat). Hubungan *feedback* (umpan-balik) bisa menghasilkan perilaku yang bervariasi dalam sistem nyata dan dalam simulasi sistem nyata. Suatu struktur umpan-balik harus dibentuk karena adanya hubungan kausal (sebab-akibat). Dengan perkataan lain, suatu struktur umpan-balik adalah suatu *causal loop* (lingkar sebab-akibat). Struktur umpan-balik ini merupakan blok pembentuk model yang diungkapkan melalui lingkaran-lingkaran tertutup. Lingkaran umpan-balik (*feedback loop*) tersebut menyatakan hubungan sebab-akibat variabel-variabel yang melingkar, bukan menyatakan hubungan karena adanya korelasi-korelasi statistik. Hubungan sebab-akibat antar sepasang variabel harus dipandang bila hubungan variabel lainnya terhadap variabel tersebut di dalam sistem dianggap tidak ada. Sedangkan suatu korelasi statistik antara sepasang variabel diturunkan dari data yang ada dalam keadaan variabel-variabel tersebut mempunyai hubungan dengan variabel lainnya di dalam sistem dan kesemuanya berubah secara simultan.

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

1. mampu mensimulasikan bermacam intervensi dan dapat memunculkan perilaku sistem karena adanya intervensi tersebut;
2. memungkinkan mensimulasikan suatu intervensi yang efeknya dapat berbeda secara dramatik dalam jangka pendek, menengah dan jangka panjang (kompleksitas dinamik);
3. perilaku sistem di atas dapat 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);
4. mampu menjelaskan mengapa (*why*) suatu perilaku tertentu dapat terjadi.
5. 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”.

Dalam kasus sektor transportasi jalan, analisis dengan menggunakan dinamika sistem dapat digunakan pengambil keputusan dalam mengambil kebijakan untuk memahami dinamika yang berlaku, yang mempengaruhi perkembangan dan mengevaluasi kebijakan keselamatan transportasi.

MODEL DINAMIKA SISTEM DALAM 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 dari skenario '*What-if*'. Dinamika sistem dapat digunakan dalam proses analisis kebijakan keselamatan transportasi pada tingkat makroskopik, yaitu yang mencakup sistem yang kompleks dari analisis sistem, serta pada tingkat mikroskopis, seperti yang menjelaskan bagaimana, mengapa dan cara mengatasi suatu permasalahan keselamatan seperti kecelakaan lalu lintas, kemacetan jalan dan lain-lain.

Pembangunan ekonomi dan urbanisasi menimbulkan sejumlah dampak yang berkaitan dengan eksternalitas negative pada sistem transportasi, seperti keselamatan lalu lintas,

resiko kesehatan lingkungan, dan kemacetan lalu lintas. Beberapa penelitian dilakukan dengan tujuan untuk memberikan perspektif dinamika sistem dalam upaya memecahkan permasalahan tersebut dan memeriksa hubungan sebab-akibat (*cause-effect relations*), penundaan (*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 dari berbagai proses umpan balik yang dinamis dan penundaan yang terlibat dengan pengambilan keputusan, khususnya dalam hal keselamatan transportasi.

Goh, Y.M. dan Love, P.E.D., (2012) dalam penelitiannya mengembangkan dua model untuk menunjukkan bagaimana model dinamika sistem dapat memfasilitasi dan mendorong tingkat makro dan meso analisis kebijakan keselamatan lalu lintas. 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 dari parameter kunci seperti biaya dan manfaat dari perpajakan. Selanjutnya juga dilakukan analisa terhadap penerapan kebijakan subsidi. Model kedua, digunakan untuk mengevaluasi dampak dari kebijakan angkutan umum terhadap waktu tempuh dan pertimbangan keselamatan lalu lintas. 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 para pembuat kebijakan untuk mengembangkan kebijakan yang cocok dan tepat. Kekuatan dan kelemahan dari model dinamika sistem dalam analisis keselamatan transportasi jalan juga diperiksa. Goh 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 Lalu Lintas

Minami, N. dan Madnick, S., 2010, melakukan studi untuk menunjukkan bagaimana analisis dinamika sistem dapat digunakan untuk lebih memahami akar permasalahan yang kompleks dari kecelakaan lalu lintas. Menurut Minami penerapan analisis sistem, dan secara khusus analisis dinamika sistem dalam menangani masalah keselamatan lalu lintas bisa sangat membantu. Model makroskopik yang membahas keselamatan lalu lintas dapat membantu dalam banyak cara. Pertama, model ini dapat membantu untuk menginformasikan para pembuat kebijakan untuk mengetahui faktor penyebab apa yang dalam sistem yang 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 bagaimana konsep-konsep seperti umpan balik dan penundaan berdampak pada sistem. Model mikroskopis juga dapat membantu, terutama dalam kemampuan mereka untuk menjelaskan bagaimana kecelakaan terjadi. Model mikroskopis sederhana yang dihasilkan oleh Minami menunjukkan pentingnya pemantauan tingkat stres pengemudi, bahwa pelatihan dan pengetahuan sangat penting bagi seorang pengemudi untuk dapat mempraktekan cara mengemudi yang aman, dan bahwa faktor-faktor lain seperti jumlah waktu pengemudi yang dihabiskan di jalan serta sikap pengemudi juga penting 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 aman untuk semua.

Penelitian dengan menggunakan dinamika sistem untuk mengidentifikasi berbagai penyebab kecelakaan di jalan di Kota Chennai dilakukan oleh Kumar, N. dan Umadevi, G., (2011). Kumar membuat 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 akan berdampak pada pengurangan jumlah kecelakaan akan tercapai. Topolsek, D., dan Lipicnik, M., 2009, memberikan model dinamika sistem untuk mengurangi jumlah kecelakaan di jalan karena salah arah mengemudi. Kecelakaan jalan raya sering berakibat fatal karena kecepatan tinggi dan salah satu alasan kecelakaan yang terjadi adalah akibat dari mengemudi ke arah 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 pengemudi dari mengemudi di arah yang salah di jalan raya adalah mengurangi jumlah manuver *U-turn* yang mengakibatkan mengemudi ke arah yang salah dan mempengaruhi tingkat keselamatan di jalan raya.

Kebijakan Keselamatan Yang Berhubungan Dengan Kemacetan Lalu Lintas

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

Penelitian dalam rangka mengatasi kemacetan, dengan menggunakan dinamika sistem juga dilakukan oleh Prasetyawan Y., dan Fitriana I., (2011). Dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik dicoba untuk diketahui dampak dari 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. Adapun tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kemacetan lalu lintas, dan menganalisis kebijakan yang diberikan pemerintah terkait dengan sistem kemacetan lalu lintas sehingga dapat diketahui kebijakan yang tepat untuk mengatasi kemacetan. Tahapan dalam pembuatan model adalah penentuan batasan model, pengidentifikasian *causal loop*, pembuatan *causal loop*, formulasi model, dan simulasi serta validasi dari model sistem dinamik. Pada penelitian ini dibuat 4 skenario model yang dibandingkan dengan kondisi eksisting saat ini dimana kota Surabaya belum memiliki busway. Skenario 1 terdapat pengguna kendaraan bermotor seperti lyn, bus, angkutan umum lain, mobil dan motor yang beralih menggunakan busway. Skenario 2, pemerintah Surabaya menentukan adanya re-routing lyn dan bus yang berarti sepanjang jalur utara – selatan tidak terdapat lyn maupun bus yang beroperasi. Skenario 3 dan 4 terdapat re-routing lyn dan bus namun pada skenario 3 terdapat pembatasan motor

sedangkan skenario 4 terjadi pembatasan motor dan mobil. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kebijaksanaan yang terbaik adalah dengan skenario 4, yaitu re-routing lyn dan bus serta pembatasan penggunaan 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 Pemeliharaan Perkerasan Jalan

Kondisi perkerasan jalan juga berpengaruh dalam keselamatan lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapisan jalan yang sesuai dengan kebutuhan lalu lintas dan menghindari kecelakaan selip tidak kurang pentingnya dibanding pemilihan untuk konstruksi. Tempat-tempat yang mempunyai permukaan dengan bagian tepi yang rendah koefisien gaya geseknya akan mudah mengalami kecelakaan selip dibanding lokasi-lokasi lain yang sejenis yang mempunyai nilai yang tinggi. Hal ini penting bila pengereman atau pembelokan sering terjadi, misalnya pada bundaran, jalan melengkung, persimpangan, pada saat mendekati tempat pemberhentian bis, penyeberang dan pada jalan-jalan miring, maka perlu diberi permukaan jalan yang cocok. Linard, K., T., (2009) menggunakan dinamika sistem untuk membuat suatu model pemeliharaan perkerasan jalan. Menurut Linard kebanyakan sistem manajemen pemeliharaan perkerasan cenderung berupa database non - analitis atau model korelasi statistik. Namun, pemeliharaan perkerasan merupakan bagian dari sistem yang kompleks yang terdiri dari perkerasan jalan, lingkungan, pengguna yang beragam, dan otoritas pemeliharaan Daerah/Negara/Pemerintah federal. Sistem ini memiliki komponen yang signifikan, sehingga cocok untuk penyelidikan yang menggunakan dinamika sistem. Model ini menganalisis kerusakan perkerasan dari waktu ke waktu dari 530 segmen jalan pedesaan, memprioritaskan perawatan rehabilitasi berdasarkan preferensi pengguna dan keterbatasan anggaran dan mengidentifikasi konsekuensi dari pendekatan anggaran yang berbeda. Umpan balik kepada para pengambil keputusan termasuk jumlah rumah tangga yang dilayani oleh jalan yang rusak parah, jumlah keluhan pengguna, biaya kecelakaan dan biaya operasi kendaraan. Dalam penelitian ini ditemukan bahwa dinamika sistem sangat berguna dalam memahami hubungan antara aspek kualitatif dan kuantitatif dari manajemen aset jalan, dimana 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/kandungan kerikil pada perkerasan jalan) implikasi dari tahun dimana terjadi kurangnya pendanaan menjadi jelas, dan kerangka waktu yang panjang untuk memperbaiki situasinya menjadi dapat dipahami.

KESIMPULAN

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

Dan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh keuntungan/kelebihan dari penggunaan metode dinamika sistem bila dibandingkan dengan pemodelan korelasi statistik yang lebih tradisional, yaitu :

1. Dihasilkan grafik yang dapat menggambarkan dengan jelas hubungan antara variabel-variabel kunci, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan oleh para pengambil keputusan.

2. Kualitatif data, yang berperan penting dalam pengambilan keputusan, dapat langsung dimasukkan ke dalam model .
3. Hubungan umpan balik mendasar dalam sistem ini adalah bahwa penasihat teknis dapat menggunakan model simulasi untuk memberikan saran, dari sudut pandang politik dan sosial yang relevan, kepada pembuat kebijakan, berdasarkan skenario yang telah mereka identifikasikan.

Bagaimanapun dinamika sistem memiliki sejumlah keterbatasan. Simulasi merupakan komponen integral dari dinamika sistem dan karena itu bergantung pada dimensi waktu untuk merumuskan alternatif kebijakan. Akibatnya aspek spasial dan efek distribusi tidak terlalu diperhitungkan. Selain itu, kebanyakan model dinamika sistem cenderung deterministik dan karena itu tidak memperhitungkan ketidakpastian dan variabilitas. Validitas struktural adalah keterbatasan utama dari banyak model dinamika sistem yang dikembangkan. Validitas struktural diperlukan untuk membangun kepercayaan dalam output model, dimana dasar dari model dinamika sistem adalah model kausalitas. Validitas struktural diperlukan sebelum validitas perilaku (yaitu seberapa baik model meniru perilaku yang diamati dari sistem nyata) dapat dibentuk. Inti dari proses pemodelan dinamika sistem adalah untuk mengidentifikasi bagaimana struktur dan kebijakan keputusan membantu menghasilkan pola yang dapat diamati dari perilaku sistem, dan kemudian mengidentifikasi struktur dan keputusan kebijakan tersebut untuk dapat dilaksanakan.

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

DAFTAR PUSTAKA

- Armah, F.A., et al., 2010, A Systems Dynamics Approach to Explore Traffic Congestion and Air Pollution Link in the City of Accra, Ghana, *Journal Sustainability*, Vol. 2, 252-265, 13 Januari 2010, ISSN 2071-1050
- Goh, Y.M. dan Love, P.E.D., 2012, Methodological Application Of System Dynamics For Evaluating Traffic Safety Policy, *Journal Safety Science* Volume 50, Issue 7, Pages 1594-1605
- Kumar, N., dan Umadevi, G., 2011, Application of System Dynamic Simulation Modeling in Road Safety, diakses dari :<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2011/RSS/2/Kumar,N.pdf>
- Linard, K.T., 2009, Application of System Dynamics to Unsealed Road Maintenance Management, *Conference Proceedings, The 27th International Conference of the System Dynamics Society*, July 26 – 30, 2009, Albuquerque, New Mexico, USA, ISBN 978-1-935056-03-04
- Minami, N. dan Madnick, S., 2010, Using Systems Analysis to Improve Traffic Safety, Working Paper CISL 2010-04, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

- Prasetyawan Y., dan Fitriana I., 2011, Analisis Dampak Rencana Pembangunan Busway terhadap Kemacetan Lalu Lintas 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, SAPPK ITB, 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, Vol. 21, pp. 85-91.
- Torres, M.D.S., Lechon, R.F., dan Soto, P.F., 2012, Road Safety Strategies: An Analysis with System Dynamic, Diakses dari : <http://www.systemdynamics.org/conferences/2012/proceed/papers/P1181.pdf>