

MODEL SIMULASI UNTUK PERGERAKAN KENDARAAN PADA RUANG DUA DIMENSI KONTINU DENGAN PENDEKATAN PEMODELAN BERBASIS AGEN

TARI SAPUTRI, CAHYADI NUGRAHA, KHURIA AMILA

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: saputritari@gmail.com

ABSTRAK

Sistem yang melibatkan pergerakan kendaraan, seperti sistem lalu lintas, merupakan sistem kompleks yang melibatkan interaksi kompleks antara kendaraan, pengendara, desain jalan, dan aturan lalu lintasnya. Kompleksitas tersebut mengisyaratkan diperlukannya suatu alat analisis berupa model simulasi untuk mengevaluasi rancangan sistem tersebut. Sistem tersebut sulit untuk dimodelkan menggunakan perangkat lunak simulasi yang banyak tersedia saat ini. Makalah ini menyajikan suatu pemodelan simulasi dan kerangka pemrogramannya untuk pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu dengan menggunakan pendekatan pemodelan berbasis agen. Ukuran performansi sistem yang diestimasi dari model simulasi tersebut adalah rata-rata waktu tempuh aktual kendaraan-kendaraan di dalam sistem tersebut.

Kata kunci: pergerakan kendaraan, model, simulasi, pemodelan berbasis agen

ABSTRACT

The system that involves the movement of vehicles, such as a traffic system, is a complex system that involves complex interactions among vehicles, drivers, roadway design, and traffic rules. The complexity indicates the need for an analysis tool in the form of a simulation model to evaluate the system design. Such systems are difficult to be modeled using currently available simulation softwares. This paper presents a simulation modeling and the programming framework for the movement of vehicles on a continuous two-dimensional space by using agent-based modeling approach. The system's performance measure obtained from the simulation model is the average of vehicles' actual travel time within the system.

Keywords: vehicles movement, model, simulation, agent-based modeling

* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbingan penulis kedua dan ketiga. Makalah ini merupakan draft awal dan akan disempurnakan oleh para penulis untuk disajikan pada seminar nasional dan/atau jurnal nasional.

1. PENDAHULUAN

1.1 Pengantar

Kendaraan merupakan salah satu bentuk alat transportasi. Kendaraan dapat berupa kendaraan di jalan raya maupun kendaraan di lantai produksi pabrik (*material handling*) seperti, *forklift* dan *handtruck*. Pergerakan kendaraan merupakan perilaku yang tidak dapat terlepas dari suatu kendaraan. Salah satu contoh terjadinya pergerakan kendaraan yaitu pada sistem lalu lintas.

Pada sistem lalu lintas, setiap pergerakan kendaraan dapat mempengaruhi pergerakan kendaraan lainnya. Hal tersebut merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan kemacetan lalu lintas. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu analisis dan pengaturan lalu lintas terhadap pergerakan kendaraan tersebut agar kendaraan dapat berjalan secara efektif dan efisien, dengan tingkat kemacetan yang minimum. Sistem yang melibatkan pergerakan kendaraan ini, seperti sistem lalu lintas, merupakan sistem yang kompleks karena melibatkan banyak elemen yang mempengaruhi sistem tersebut seperti pengendara, kendaraan dan desain jalan. Kompleksitas permasalahan dalam memodelkan sistem mengisyaratkan dibutuhkannya model simulasi (Law, 2007).

Makalah ini menyajikan suatu model simulasi untuk pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu. Pendekatan yang cocok digunakan pada model simulasi ini adalah pendekatan pemodelan berbasis agen (North & Macal, 2007). Dengan menggunakan model simulasi ini, dapat diketahui efek skala besar (makro) dari proses mikro melalui interaksi antar agen yang satu dengan agen lainnya. Pada makalah ini yang berperan sebagai agen dalam model simulasi yaitu kendaraan.

1.2 Identifikasi Masalah

Pada sistem lalu lintas setiap pergerakan kendaraan dapat mempengaruhi pergerakan kendaraan lainnya. Hal tersebut merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kemacetan lalu lintas, sehingga perlu dilakukan analisis dan pengaturan lalu lintas. Salah satu alat analisis yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan model simulasi.

Pada penelitian Suwardi (2007) telah dilakukan analisis mengenai model simulasi sistem lalu lintas dua jalur dua arah. Namun, pada penelitian tersebut hanya terdapat satu dimensi variabel yang bersifat kontinu yaitu arah pergerakan. Sementara jalur pergerakan masih dianggap sebagai sesuatu yang bersifat diskrit, sehingga sulit untuk memodelkan kondisi di beberapa bagian jalan, seperti persimpangan. Oleh karena itu, pada makalah ini dikembangkan suatu model simulasi mengenai sistem pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu, yaitu dimensi arah sumbu x (mendatar) dan dimensi arah sumbu y (vertikal). Dua dimensi tersebut bersifat kontinu.

Dalam pengembangan model simulasi ini terdapat beberapa pendekatan yang dapat digunakan seperti *Discrete Event* dan *Agent Based* (Borshchev & Filippov, 2004). Pendekatan *Discrete Event* tidak cocok digunakan karena pendekatan ini diperuntukan bagi sistem yang memiliki tahapan proses dalam waktu tertentu dan untuk kejadian-kejadian yang muncul secara diskrit pada saat-saat tertentu, sedangkan pergerakan kendaraan tidak dapat ditentukan secara pasti melalui suatu tahapan proses. Oleh karena itu pendekatan yang digunakan adalah pendekatan *Agent Based* atau pendekatan pemodelan berbasis agen karena pendekatan ini melihat interaksi dari beberapa agen sehingga dapat mempengaruhi agen yang lainnya maupun sistem secara keseluruhan.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Sistem, Model, dan Simulasi

Sistem adalah kumpulan beberapa komponen yang terorganisir (Daellenbach & McNickle, 2005). Masing-masing komponen tersebut saling berinteraksi satu sama lain. Komponen-komponen tersebut memberikan kontribusi terhadap perilaku sistem dan perilaku komponen itu sendiri dipengaruhi oleh keberadaannya di dalam sistem. Sistem memiliki suatu lingkungan luar yang memberikan *input* ke dalam sistem tersebut dan menerima *output* dari sistem.

Model adalah suatu deskripsi atau analogi yang digunakan untuk membantu menggambarkan sesuatu yang tidak dapat diamati secara langsung (*Webster's Collegiate Dictionary* dalam Daellenbach & McNickle, 2005). Pada umumnya model didefinisikan sebagai suatu representasi sistem nyata. Sistem nyata adalah sistem yang sedang berlangsung di dunia nyata dan menjadi titik permasalahan yang sedang diteliti. Dengan demikian, pemodelan adalah proses membangun atau membentuk sebuah model dari suatu sistem nyata. Menurut Buede (2009) model diklasifikasikan menjadi 3 kategori yaitu model definitif, model deskriptif atau prediktif, dan model normatif. Sedangkan menurut Ragsdale (2012) kategori model terdiri dari model preskriptif, model prediktif, dan model deskriptif.

Model simulasi merupakan salah satu bentuk model matematis yang bersifat deskriptif atau prediktif. Simulasi didefinisikan sebagai sekumpulan metode dan aplikasi untuk menirukan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata, yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu (Law, 2007). Model simulasi sangat efektif digunakan untuk sistem yang relatif kompleks untuk pemecahan masalah dari model tersebut.

Menurut Borshchev & Filippov (2004) Pendekatan utama yang umum digunakan pada pemodelan simulasi yaitu *System Dynamics*, *Discrete Event* dan *Agent Based*. *System Dynamic* adalah suatu metode yang digunakan untuk menggambarkan sistem yang dinamis (berubah dari waktu ke waktu), dimana dalam sistem tersebut terdapat hubungan sebab akibat antar variabel yang terjadi dalam sistem umpan balik. *Discrete Event* adalah pendekatan simulasi untuk sistem yang memiliki tahapan proses dalam waktu tertentu. *Agent Based* adalah suatu metode pemodelan yang menggambarkan sistem dengan melihat interaksi antar komponen terkecil suatu sistem tersebut yang dapat mempengaruhi sistem secara keseluruhan.

2.2 Agent Based Modeling (ABM)

Menurut Borshchev & Filippov (2004) *Agent Based Model* (ABM) adalah suatu metode yang digunakan untuk eksperimen dengan melihat pendekatan dari bawah ke atas (*bottom-up*) bagaimana interaksi perilaku-perilaku individu dapat mempengaruhi perilaku sistem, dengan simulasi berbasis komputer untuk memodelkan semua perilaku entitas (agen) yang terlibat dalam dunia nyata dengan harapan interaksi antar entitas dapat menghasilkan atau menggambarkan sifat utama yang dapat digunakan lagi sebagai alat bantu untuk eksplanatori, eksplanatori atau prediksi dalam mengambil keputusan di dunia nyata.

Agen merupakan komponen pengambil keputusan dalam suatu sistem kompleks. Agen memiliki satu set aturan atau perilaku yang memungkinkan untuk menerima informasi, memproses *input*, dan mempengaruhi lingkungan luar.

2.3 Lalu Lintas

Lalu lintas (*traffic*) adalah kegiatan lalu-lalang atau gerak kendaraan, orang, atau hewan di jalanan (Warpani, 2002). Masalah yang biasa timbul dalam sistem lalu lintas yaitu keseimbangan antara kapasitas jalan dengan jumlah orang atau kendaraan yang menggunakan jalan tersebut. Jika kapasitas jalan sudah tidak memadai atau tidak dapat menampung jumlah orang dan kendaraan yang berlalu-lalang, maka akan timbul masalah kemacetan lalu lintas. Komponen lalu lintas terdiri dari manusia, kendaraan, dan pengaturan lalu lintas.

2.4 Intelligent Driver Model (IDM)

IDM adalah suatu konsep model untuk mensimulasikan mobil yang mengikuti, dimana mobil-mobil tersebut berada pada dua jalur dua arah yang bebas hambatan (Kesting, *et al*, 2007). Dalam penggunaan IDM terdapat beberapa parameter deskriptif yang digunakan seperti kecepatan, percepatan, perlambatan, jarak minimum antar kendaraan, dan waktu reaksi kendaraan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Urutan proses atau tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, yaitu:

(i). Tahapan Identifikasi Masalah

Pergerakan kendaraan dapat dilihat pada suatu sistem lalu lintas. Pada sistem tersebut setiap pergerakan kendaraan dapat mempengaruhi pergerakan kendaraan lainnya. Hal tersebut merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kemacetan lalu lintas, sehingga perlu dilakukan analisis dan pengaturan lalu lintas. Proses analisis dan pengaturan tersebut dapat dilakukan dengan uji coba pada sistem nyata. Namun banyak kendala jika uji coba tersebut dilakukan pada sistem nyata. Selain itu, sistem yang melibatkan pergerakan kendaraan ini, seperti sistem lalu lintas, merupakan sistem yang kompleks karena melibatkan banyak elemen yang mempengaruhi sistem tersebut.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat analisis agar memudahkan dalam melihat perilaku pergerakan kendaraan. Salah satu alat analisis yang dapat digunakan yaitu dengan memakai suatu model simulasi.

(ii). Tahapan Studi Literatur

Pada penelitian ini studi literatur digunakan sebagai landasan dan acuan peneliti dalam melakukan tahap-tahap perancangan model simulasi. Beberapa literatur yang digunakan pada penelitian ini yaitu mengenai konsep sistem, model, dan simulasi, klasifikasi model dan model simulasi, kelebihan dan kekurangan model simulasi, tingkat abstraksi dalam pemodelan, langkah-langkah simulasi, *agent based modelling and simulation* (ABMS), konsep lalu lintas, dan *intelligent driver model* (IDM).

(iii). Tahapan Identifikasi Sistem

Pada tahap identifikasi sistem akan dijelaskan mengenai sistem yang akan dimodelkan. Sistem yang akan dimodelkan yaitu mengenai pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu. Selain itu, pada tahap ini akan dijelaskan perilaku-perilaku yang mungkin dilakukan oleh setiap kendaraan dalam pergerakannya.

(iv). Tahapan Perumusan Konsep Pemodelan

Konsep pemodelan yaitu penjabaran atau rumusan teknis yang akan dibuat dalam merancang suatu model simulasi. Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai rancangan teknis dari langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan model simulasi sistem pergerakan

kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu.

(v). Tahapan Penentuan Variabel *Input* dan *Output* Model

Pada tahap ini dijelaskan mengenai variabel *input* apa saja yang dibutuhkan dalam sistem yang akan dibuat. Variabel *input* tersebut yang akan berpengaruh terhadap *output* model yang dihasilkan atau suatu ukuran performansi dari model simulasi yang akan dibuat.

(vi). Tahapan Identifikasi Atribut dan Perilaku Agen

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan beberapa atribut yang dimiliki oleh setiap agen kendaraan dalam melakukan pergerakan. Selain itu, akan dijelaskan mengenai perilaku-perilaku yang mungkin dilakukan oleh setiap agen kendaraan dalam setiap proses pergerakannya.

(vii). Tahapan Perancangan Algoritma Simulasi

Perancangan algoritma simulasi merupakan suatu tahap dalam pembuatan model simulasi yang menjelaskan bagaimana alur logika simulasi yang akan dibuat. Pada tahap ini alur logika tersebut dijelaskan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). Alur logika yang akan dijelaskan yaitu alur logika simulasi secara global dan alur logika untuk setiap perilaku agen.

(viii). Tahapan Implementasi Rancangan Algoritma

Tahap implementasi rancangan algoritma merupakan tahap pengaplikasian alur logika yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Proses implementasi ini dilakukan dengan menuangkan alur logika tersebut ke dalam suatu bahasa pemrograman dalam bentuk program. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa *Visual Basic .NET*.

(ix). Tahapan Pengujian Model dan Analisis

Tahap pengujian model adalah tahap verifikasi (validasi internal) dalam proses pembuatan model simulasi ini. Bentuk verifikasi yang dilakukan yaitu dengan membuat beberapa konsep skenario simulasi dengan mengubah aturan atau parameter sistem tersebut. Setelah dilakukan verifikasi, kemudian dilakukan analisis berdasarkan beberapa skenario yang telah dibuat.

(x). Tahapan Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan pengujian model dan analisis yang telah dilakukan. Setelah itu, dapat dirumuskan saran-saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini, baik itu untuk dijadikan implementasi pada sistem nyata maupun usulan untuk penelitian selanjutnya.

4. PERANCANGAN MODEL

4.1 Identifikasi Sistem

Sistem yang akan dimodelkan pada penelitian ini yaitu sistem pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu. Pergerakan yang dimaksud dapat berupa pergerakan kendaraan di jalan raya maupun pergerakan kendaraan *material handling* di lantai produksi suatu pabrik. Kendaraan tersebut mempunyai perilaku yang berbeda-beda yang dapat saling mempengaruhi antara satu kendaraan dengan kendaraan lainnya. Setiap kendaraan mempunyai beberapa identitas yang menjelaskan nilai ataupun keterangan dari kendaraan itu sendiri seperti nomor ID, titik awal, titik tujuan, kecepatan, vektor arah gerakan, vektor posisi kendaraan, percepatan, dan perlambatan. Identitas yang dimiliki oleh setiap kendaraan dapat berupa identitas tetap (ditentukan pada awal simulasi) dan identitas berubah (ditentukan ketika program berjalan). Nilai dari identitas berubah dapat dipengaruhi oleh perilaku dari kendaraan lainnya. Proses berpengaruhnya perilaku suatu kendaraan terhadap kendaraan lainnya dapat terjadi ketika kendaraan tersebut mengalami pergerakan. Dalam proses pergerakan tersebut memungkinkan adanya interaksi antar kendaraan,

sehingga timbul beberapa perilaku yang dihasilkan oleh masing-masing kendaraan.

4.2 Konsep Pemodelan

Area simulasi kendaraan berada pada ruang dua dimensi kontinu. Kendaraan dapat bergerak bebas dalam ruang tersebut. Area simulasi ini berupa kumpulan dari beberapa *grid*. Setiap *grid* mewakili suatu ukuran terkecil area tertentu yang dimodelkan. Dalam komputasi, kumpulan *grid* dapat dinyatakan dalam array 2 dimensi. *Grid* tersebut berukuran $P_{area} \times L_{area}$, dimana P_{area} dan L_{area} berupa integer. Setiap *grid* pada area yang akan digunakan untuk pergerakan kendaraan dibuat sama dengan nol yang menandakan bahwa area tersebut tidak ditempati oleh objek apapun, sedangkan jika terdapat halangan maka wilayah *grid* tersebut dibuat sama dengan (-1). Jika suatu kendaraan sedang menempati suatu wilayah maka wilayah *grid* tersebut dibuat sama dengan nomor ID kendaraan tersebut. Contoh wilayah yang ditempati oleh kendaraan dan halangan dapat dilihat pada Gambar 1.

54	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62

Gambar 1. Contoh Wilayah yang Ditempati Oleh Kendaraan dan Halangan

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa kendaraan dengan ID=4 yang berukuran 4 x 2 m berada pada posisi (60,50) dan halangan berada pada posisi posisi (43,52) s/d (53,54). Setiap kendaraan memiliki identitas masing-masing. Di dalam identitas tersebut diantaranya terdapat titik tujuan, kecepatan, dan titik asal. Setiap kendaraan memiliki titik tujuan, titik asal, dan kecepatan yang berbeda-beda. Terdapat waktu tempuh yang dicapai oleh masing-masing kendaraan untuk menuju titik tujuan. Ketika akan memulai pergerakan, terdapat perhitungan langkah pergerakan untuk setiap kendaraan dengan vektor kecepatan yang berbeda-beda. Kendaraan melakukan proyeksi terhadap langkah pergerakan tersebut untuk memprediksi adanya halangan dalam pergerakannya. Jika terdapat halangan kendaraan akan melakukan perubahan arah. Wilayah yang sedang ditempati oleh kendaraan ditandai dengan nomor ID objek tersebut dan wilayah yang telah ditinggalkan akan dibuat sama dengan nol. Dalam pergerakannya, kendaraan akan berpindah sebesar sudut arah kendaraan (θ kendaraan).

Dalam mencapai tujuannya, kendaraan memiliki beberapa titik tahap tujuan yang berbeda-beda untuk setiap kendaraan. Ketika kendaraan tersebut telah sampai di titik tujuan akhir maka nomor indeks dari kendaraan tersebut akan dihapus dan wilayah yang sebelumnya ditempati akan dibuat nol.

4.3 Penentuan Variabel Input dan Output Model

Variabel-variabel *input* yang digunakan pada pembuatan model simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Input

No	Variabel Input	Keterangan	Satuan	Sifat
1	Desain Jalan	Layout dan ukuran jalan yang dibuat pada simulasi	-	<i>Controllable</i>
2	Aturan Lalu Lintas	Aturan untuk menentukan pergantian pergerakan kendaraan pada jalur tertentu	-	<i>Controllable</i>
3	Ukuran Kendaraan	Ukuran masing-masing kendaraan berupa p x l	m ²	<i>Uncontrollable</i>
4	Kecepatan Ideal	Kecepatan ideal yang dimiliki oleh setiap kendaraan	m/s	<i>Uncontrollable</i>
5	Kecepatan pada saat t	Kecepatan yang dimiliki kendaraan pada saat t	m/s	<i>Uncontrollable</i>
6	Jarak Kewaspadaan	Jarak dari sisi depan objek menuju titik waspada terhadap halangan atau objek lain	m	<i>Uncontrollable</i>
7	Titik Awal	Titik dimana kendaraan itu memulai pergerakan	Koordinat	<i>Uncontrollable</i>
8	Titik Tujuan	Titik dimana kendaraan akan berhenti	Koordinat	<i>Uncontrollable</i>
9	Titik Tahap Tujuan	Langkah-langkah daerah yang harus dilalui oleh masing-masing kendaraan untuk menuju titik tujuan	Koordinat	<i>Uncontrollable</i>
10	Titik Belakang Kendaraan	Titik bagian belakang masing-masing kendaraan.	Koordinat	<i>Uncontrollable</i>

Output model yang dihasilkan pada model simulasi pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu yaitu rata-rata selisih antara waktu tempuh aktual dengan waktu tempuh ideal. Waktu tempuh aktual adalah waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk bergerak dari titik awal ke titik tujuan dengan adanya interaksi antar kendaraan maupun halangan. Sedangkan waktu tempuh ideal adalah waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk bergerak dari titik awal ke titik tujuan dengan menggunakan kecepatan ideal kendaraan tanpa adanya interaksi dengan kendaraan maupun halangan.

4.4 Identifikasi Atribut dan Perilaku Agen

Hasil identifikasi atribut agen dan hasil identifikasi perilaku agen dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Identifikasi Atribut Agen

No	Atribut	Keterangan	Satuan
1	ID	Nomor identitas kendaraan	-
2	Titik Posisi	Titik keberadaan suatu kendaraan	Koordinat
3	Ukuran	Ukuran setiap kendaraan (p x l)	m ²
4	Kecepatan Ideal	Kecepatan ideal yang dimiliki oleh setiap kendaraan	m/s
5	Kecepatan pada saat t	Kecepatan yang dimiliki kendaraan pada saat t	m/s
6	Percepatan	Percepatan yang dialami oleh setiap kendaraan	m/s ²
7	Percepatan Maksimum	Percepatan maksimum yang dimiliki oleh setiap kendaraan	m/s ²
8	Perlambatan	Perlambatan yang dialami oleh setiap kendaraan	m/s ²
9	Titik Tujuan	Titik dimana kendaraan akan berhenti	Koordinat
10	Jarak Kewaspadaan	Jarak antara kendaraan dengan titik waspada untuk mengidentifikasi apakah ada halangan atau tidak	m
11	Jarak Minimum Antar Kendaraan	Jarak minimum antara kendaraan satu dengan kendaraan lainnya	m
12	<i>Current Distance</i>	Jarak dari titik posisi menuju titik tujuan	m
13	Sudut Arah (<i>theta</i>)	Sudut yang dibentuk oleh posisi kendaraan dengan vektor acuan 0°	Derajat atau Radian

Tabel 3. Hasil Identifikasi Perilaku Agen

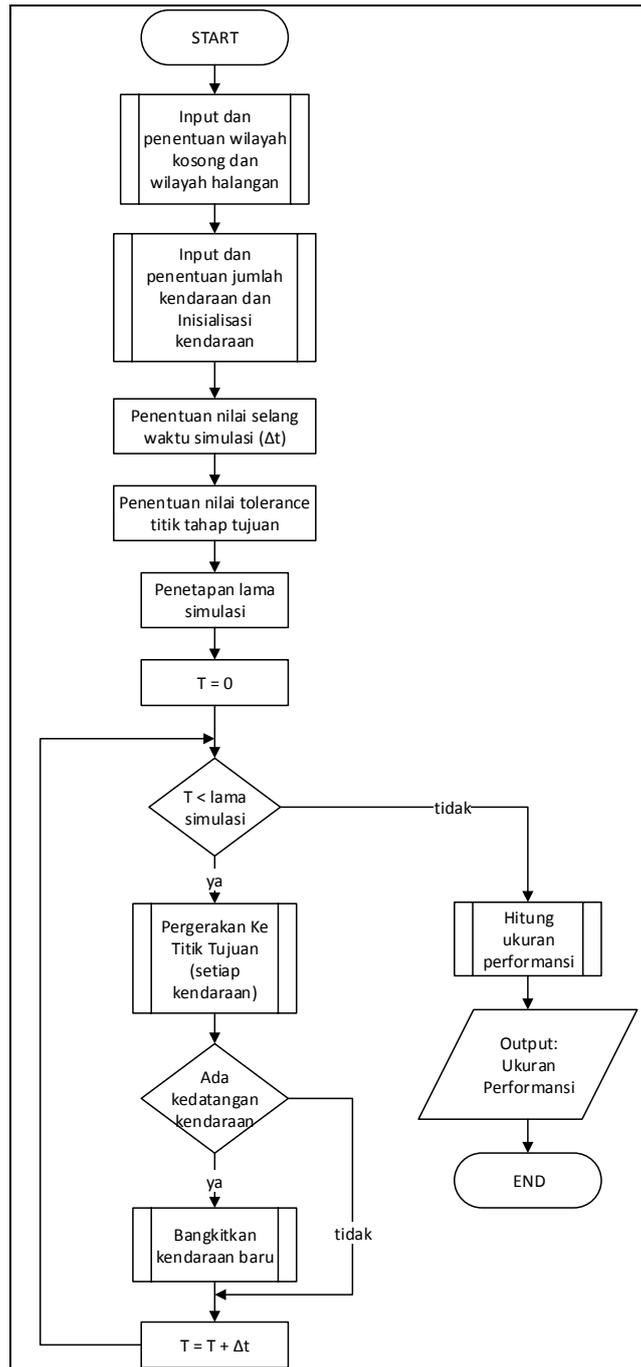
Model Simulasi untuk Pergerakan Kendaraan pada Ruang Dua Dimensi Kontinu dengan Pendekatan Pemodelan Berbasis Agen

No	Perilaku	Keterangan
1	Pergerakan Ke Titik Tujuan	Proses pergerakan kendaraan menuju titik tujuan. Pergerakan tersebut dapat dilakukan ke berbagai arah, termasuk dengan melakukan perpindahan jalur.
2	Perubahan Arah Pergerakan	Suatu proses dimana kendaraan mengubah arah pergerakannya dikarenakan kendaraan tersebut bertemu dengan kendaraan lain atau objek lainnya (selain kendaraan) yang berada di jalan. Sudut perubahan arah sebesar 22.5° atau -22.5° atau 45° atau -45°
3	Peningkatan Kecepatan	Suatu proses dimana kendaraan menambah tingkat kecepatannya dikarenakan tidak adanya halangan apapun atau jarak antara kendaraan satu dengan kendaraan lainnya masih jauh dari jarak minimum antar kendaraan.
4	Penurunan Kecepatan	Suatu proses dimana kendaraan memperlambat atau mengurangi kecepatannya dikarenakan telah mendekati kendaraan yang lainnya atau hampir mencapai jarak minimum antar kendaraan
5	Pengembalian Arah Tujuan	Proses mengembalikan arah ke titik tujuan ketika kendaraan tersebut telah menjauhi titik tujuan akibat perubahan arah pergerakan yang dilakukan.

4.5 Rancangan Algoritma Simulasi

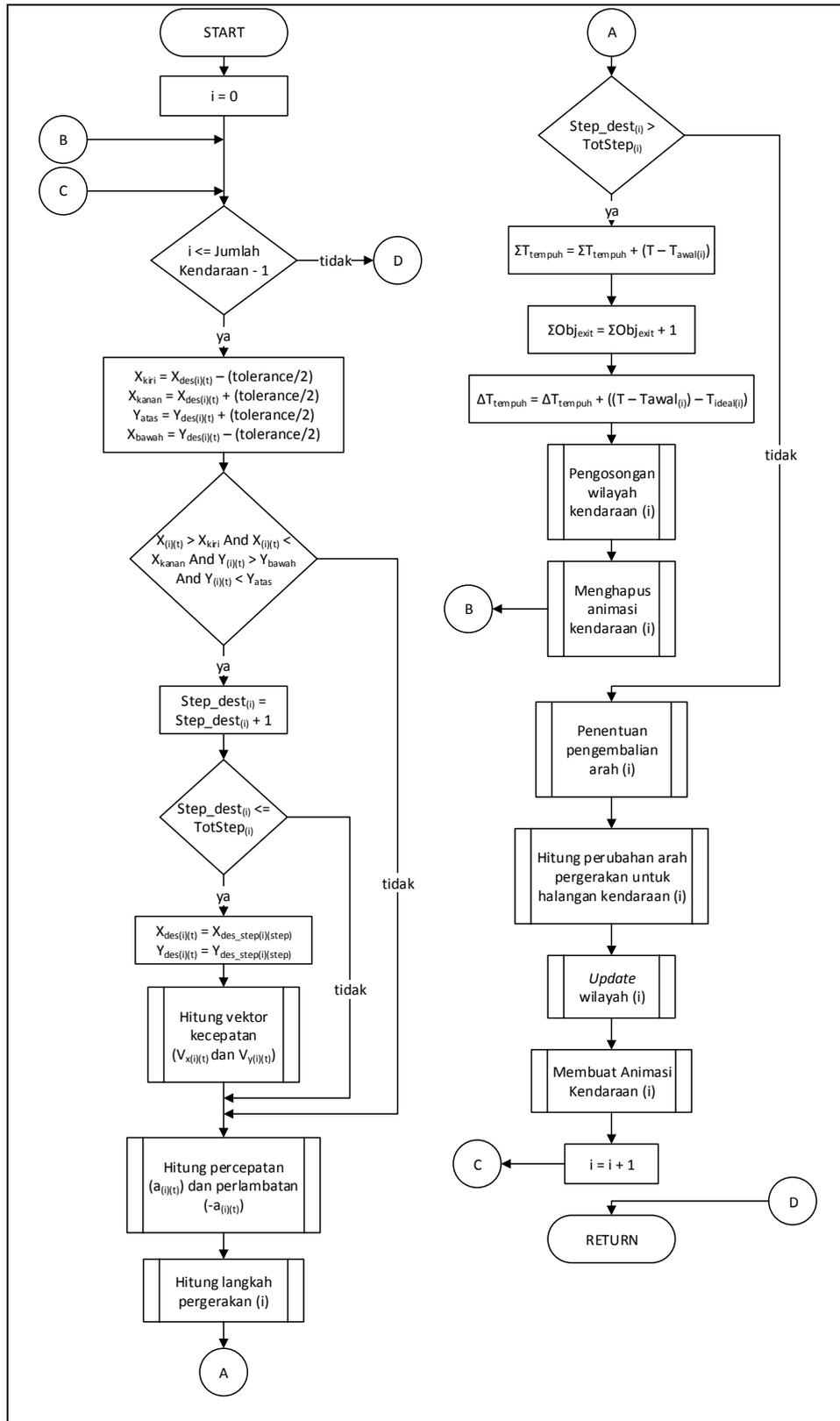
Langkah awal dalam pembuatan model simulasi yaitu dengan membuat rancangan atau gambaran logika dari program simulasi yang akan dibuat. Rancangan ini berupa *flowchart* model secara global dan *flowchart* perilaku kendaraan, serta rumus-rumus yang digunakan seperti, perubahan vektor kecepatan dan sudut posisi kendaraan ketika berbelok. Total *flowchart* yang menggambarkan alur logika dari perilaku-perilaku yang terjadi yaitu sebanyak 21 buah.

Flowchart global merupakan gambaran alur program simulasi secara garis besar, mulai dari penentuan wilayah awal dan penentuan nilai atribut kendaraan sampai menghitung ukuran performansi. *Flowchart* global dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Global

Sedangkan *flowchart* perilaku merupakan gambaran alur program untuk masing-masing perilaku agen. Salah satu contoh *flowchart* perilaku yaitu *flowchart* perilaku pergerakan ke titik tujuan yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Perilaku Pergerakan Ke Titik Tujuan

4.6 Implementasi Rancangan Algoritma

Pada tahap implementasi ini, seluruh konsep pemodelan dan algoritma yang telah dirancang akan dituangkan dalam bentuk bahasa pemrograman. Contoh penuangan tersebut adalah

implementasi alur program secara global yang dapat dilihat pada Gambar 4.

```

RUN
Click

deltaT = 0.5

Call inisialisasi(s)

tolerance = 0.9

T = 0

selisih_waktu = 0
jml_waktu_tempuh = 0
total_obj_keluar = 0
rata2_selisih_waktu = 0
rata2_waktu_tempuh = 0

Do While T < 600
  num = 0

  Call pergerakan_titik_tujuan()

  T = T + deltaT

Loop

rata2_waktu_tempuh = jml_waktu_tempuh / total_obj_keluar
rata2_selisih_waktu = selisih_waktu / total_obj_keluar

MsgBox("rata-rata waktu tempuh aktual =" & rata2_waktu_tempuh)
MsgBox("rata-rata selisih waktu tempuh=" & rata2_selisih_waktu)
MsgBox("selesai")

```

Gambar 4. Implementasi Alur Program Secara Global

5. PENGUJIAN MODEL DAN ANALISIS

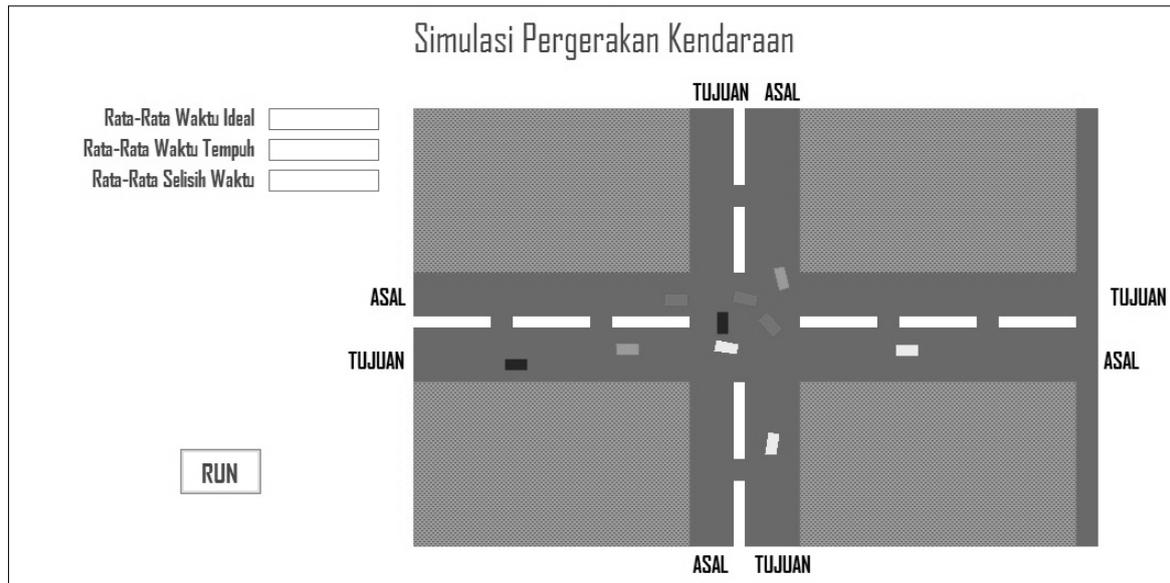
5.1 Pengujian Model

Pengujian model bertujuan untuk mengetahui apakah konsep dan rancangan model dapat digunakan untuk merepresentasikan dunia nyata yang dimodelkannya. Pengujian ini dilakukan dengan membuat beberapa skenario dengan parameter tertentu. Seluruh skenario dibuat dalam kondisi kendaraan berada di persimpangan jalan. Selang waktu simulasi (Δt) yang digunakan yaitu sebesar 0.5. Rekapitulasi *output* tiap skenario dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi *Output* Tiap Skenario

Skenario	Penjelasan	Hasil			
		Deskripsi Perilaku yang Terjadi	Waktu Tempuh Aktual (detik)	Waktu Tempuh Ideal (detik)	Selisih Waktu (detik)
1a	Pengujian pergerakan ke titik tujuan	Kendaraan bergerak ke titik tujuan masing-masing	6.75	4.3	2.45
1b	Pengujian perilaku peningkatan kecepatan	Kendaraan yang memiliki kecepatan lebih tinggi mendahului kendaraan yang memiliki kecepatan yang lebih rendah	7.25	4.97	2.28
1c	Pengujian kendaraan mengantri	Kendaraan yang memiliki kecepatan lebih tinggi mengantri karena terdapat kendaraan yang berjalan lambat di depan kendaraan tersebut	10.8	5.09	5.71
1d	Pengujian perbandingan Δt dengan skenario 1a	Kendaraan bergerak ke titik tujuan masing-masing, namun pergerakannya lebih lambat dibandingkan skenario 1a	6.78	4.3	2.48
1e	Pengujian perilaku penurunan kecepatan	Suatu kendaraan melambat karena didepan kendaraan tersebut terdapat kendaraan yang memiliki kecepatan yang lebih rendah	39.87	10.96	28.92
1f	Pengujian perilaku pengembalian arah	Suatu kendaraan berbelok kembali ke titik tahap tujuan setelah beberapa saat menjauh dari titik tahap tujuan tersebut akibat kendaraan tersebut berpapasan dengan kendaraan lain	7.65	5.4	2.25
1g	Pengujian perilaku perubahan arah kendaraan	Kendaraan melakukan perubahan arah (berbelok) dikarenakan kendaraan tersebut berpapasan dengan kendaraan lainnya	7.21	4.58	2.63
2	Pengujian penerapan aturan lampu lalu lintas	Kendaraan berhenti jika lampu lalu lintas pada jalur tersebut berwarna merah dan berjalan jika lampu lalu lintas berwarna hijau	13.89	5.01	8.88

Contoh tampilan animasi kendaraan pada Skenario 1g dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Animasi Kendaraan Pada Skenario 1g

5.2 Analisis

Berdasarkan hasil pengujian Skenario 1a, 1e, 1f, dan 1g dapat disimpulkan bahwa model simulasi ini telah mengakomodasi beberapa perilaku yang telah dimodelkan, yaitu pergerakan ke titik tujuan (Skenario 1a), penurunan kecepatan (Skenario 1e), pengembalian arah (Skenario 1f), dan perubahan arah pergerakan kendaraan (Skenario 1g). Pada pengujian Skenario 1b dan 1c terdapat perbedaan selisih waktu, dimana selisih waktu pada Skenario 1c lebih besar dibandingkan selisih waktu pada Skenario 1b.

Pada pengujian Skenario 1d terdapat perbedaan selisih waktu sebesar 0.03 detik antara penggunaan $\Delta t = 0.1$ (Skenario 1a) dan $\Delta t = 0.05$ (Skenario 1d). Hal tersebut dikarenakan adanya ketidaksesuaian dalam masalah komputasi. Namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan karena perubahan waktu tempuh aktual hanya mengalami perubahan sebesar 0.44% , sehingga tidak banyak berpengaruh terhadap sistem. Pada pengujian skenario 2 menunjukkan bahwa jika terdapat pengaturan lalu lintas, seperti adanya lampu lalu lintas, maka kondisi lalu lintas tersebut akan semakin teratur tanpa adanya kendaraan yang bertabrakan atau berpapasan dengan kendaraan lainnya yang dapat menyebabkan kemacetan.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah menghasilkan suatu model simulasi untuk pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu dengan pendekatan pemodelan berbasis agen. Model simulasi ini bersifat generik, sehingga dapat diadaptasi untuk berbagai kasus sistem nyata yang melibatkan pergerakan kendaraan. Model simulasi ini juga dapat merepresentasikan perilaku-perilaku yang terjadi pada sistem lalu lintas, seperti pada persimpangan jalan.

6.2 Saran

Saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk dijadikan arah penelitian selanjutnya yaitu:

1. Model simulasi pergerakan kendaraan yang dapat memprediksikan proyeksi langkah kendaraan lainnya.
2. Model simulasi pergerakan kendaraan yang dapat mengakomodasi perilaku gerakan mendahului, jika suatu kendaraan berada tepat di belakang kendaraan lainnya.
3. Model simulasi pergerakan kendaraan yang dapat mengakomodasi perilaku mundur yang dilakukan oleh kendaraan.
4. Model simulasi pergerakan kendaraan yang dapat mengakomodasi alternatif untuk pemilihan titik tujuan kendaraan.

REFERENSI

Borshchev, A. dan Filippov, A., 2004. *From System Dynamics and Discrete Event To Practical Agent Based Modelling : Reasons, Techniques, Tools*. Oxford, England.

Buede, D. M., 2009. *The Engineering Design Of Systems : Models and Methods, 2nd Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, Canada.

Daellenbach, H. G. & McNickle, D. C., 2005. *Management Science : Decision Making Through Systems Thinking*. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

Law, A. M. 2007., *Simulation Modeling and Analysis, 4th ed.* McGraw-Hill, New York.

North, M. J. dan Macal, C. M. 2007., *Managing Business Complexity*, Oxford University Press, New York.

Ragsdale, C.T. 2012., *Spreadsheet Modelling Decision Analysis*, South-Western Cengage Learning, USA.

Suwardi, A. 2007., *Model Simulasi Sistem Lalu Lintas Dua Jalur Dua Arah*, Program Sarjana Institut Teknologi Nasional, Bandung.

Kesting, A., Treiber, M., dan Helbing, D. 2007., "General Lane-Changing Model MOBIL for Car-Following Models", [Online]. Available: http://www.akesting.de/download/-MOBIL_TRR_2007.pdf, [2014, July 2]

Warpani, S. P., 2002. *Pengelolaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Penerbit ITB, Bandung.