

MODEL SIMULASI UNTUK SISTEM LALU LINTAS KENDARAAN PADA RUANG DUA DIMENSI KONTINU DENGAN PEMODELAN BERBASIS AGEN DAN BERORIENTASI OBJEK*

Muhammad Hafiz Islami, Cahyadi Nugraha, Lisye Fitria

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: muhammadhafizislami@gmail.com

ABSTRAK

Rancangan sistem lalu lintas yang kurang baik dapat menyebabkan antrean kendaraan pada jalan raya. Pemecahan masalah antrean kendaraan tersebut tidak dapat dipecahkan hanya dengan menggunakan metode teori antrean karena antrean kendaraan yang terjadi pada jalan raya bukan berupa antrean yang dilakukan pada sebuah server. Hal tersebut menandakan sistem yang dikaji merupakan sistem yang kompleks. Kompleksitas permasalahan dalam memodelkan sistem mengisyaratkan dibutuhkannya model simulasi. Makalah ini menyajikan model simulasi mengenai sistem lalu lintas kendaraan dengan menggunakan model simulasi berbasis agen dan berorientasi objek. Kendaraan yang dimodelkan dapat memprediksikan langkah pergerakan kendaraan lain yang lintasannya berpotongan dengan kendaraan tersebut.

Kata kunci: sistem lalu lintas, model, simulasi, pemodelan berbasis agen, berorientasi objek

ABSTRACT

An improperly-designed traffic system can cause the queue of vehicles on the highway. To solve the queuing problem of vehicles can not be done simply by using the queueing theory because the line of vehicles that occurred on the road is not a line that is done on a server. This indicates that the system studied is a complex system. The complexity of the problems in the system modeling suggests the need for simulation models. This paper presents a simulation model of the vehicular traffic system by using agent-based and object-oriented simulation model. The model of a particular vehicle can predict the movement of other vehicles that may intersect with the vehicle in its trajectory.

Keywords: traffic systems, model, simulation, agent-based modeling, object-oriented

*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

Sistem lalu lintas merupakan hal yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, hampir beberapa kegiatan masyarakat setiap harinya pasti menggunakan sistem lalu lintas. Sistem lalu lintas yang kurang baik akan menimbulkan beberapa resiko seperti kemacetan atau antrean kendaraan pada jalan raya yang menyebabkan terjadinya pemborosan waktu, bahan bakar dan tenaga pengendara.

Masalah antrean kendaraan tersebut tidak dapat dipecahkan hanya dengan menggunakan metode teori antrean karena antrean kendaraan yang terjadi pada jalan raya bukan berupa antrean yang dilakukan pada sebuah *server*. Masalah lainnya yaitu definisi mengantre ini sulit untuk didefinisikan karena mengantre pada jalan raya bukan merupakan mengantre yang dilakukan dengan kecepatan kendaraan sama dengan nol tetapi saat kecepatan kendaraan sangat pelan atau padat merayap dapat dikatakan juga sebagai antrean atau kemacetan. Selain itu sistem yang dikaji memiliki banyak elemen yang saling berinteraksi seperti kendaraan, area, aturan lalu lintas dan lain-lain. Hal-hal tersebut menandakan sistem yang dikaji merupakan sistem yang kompleks. Kompleksitas permasalahan dalam memodelkan sistem mengisyaratkan dibutuhkan model simulasi (Law, 2007).

Terdapat beberapa pendekatan konsep model simulasi menurut Borshchev & Filippov (2004) diantaranya, *discrete event* dan *Agent Based Modeling*. Pendekatan *discrete event* tidak cocok digunakan pada penelitian ini karena pergerakan kendaraan bukan merupakan sebuah tahapan kejadian yang diskrit melainkan tahapan kejadian yang kontinu. Sedangkan pendekatan model simulasi *Agent Based Modeling* (ABM) atau pemodelan berbasis agen merupakan salah satu model simulasi yang cocok digunakan dalam merepresentasikan sistem lalu lintas alat transportasi yang kompleks. Makalah ini menyajikan suatu model simulasi sistem lalu lintas kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu dengan pendekatan model simulasi berbasis agen.

1.2 Identifikasi Masalah

Pada penelitian Saputri dkk. (2014) telah dilakukan pengembangan model simulasi sistem pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu dengan pendekatan ABM, namun model simulasi belum dapat memprediksikan langkah pergerakan kendaraan lain. Sementara perilaku simulasi yang dapat memprediksikan pergerakan langkah kendaraan lain merupakan salah satu faktor penting. Oleh karena itu diperlukan dikembangkan metode pemodelan untuk memodelkan sistem yang dapat merepresentasikan kondisi tersebut.

Selain itu dalam pemodelan berbasis agen teknik pendekatan *object oriented simulation* cocok digunakan sebagai basis dalam perancangan model dan pembuatan program karena dalam pemodelan berbasis agen setiap agen akan dikaitkan sebagai objek yang dibangun dari sebuah *class* objek sehingga dalam perancangan model *agent based* sangat cocok jika perancangan dilakukan dengan menggunakan teknik *object oriented simulation*. Pengembangan model simulasi ini akan menghasilkan model simulasi yang bersifat deskriptif sehingga model simulasi dapat digunakan sebagai alat analisis untuk membantu menggambarkan dan memprediksi dalam mengatasi masalah kemacetan atau antrean lalu lintas pada jalan raya.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Definisi Sistem, Model dan Simulasi

Sistem berasal dari bahasa Latin *systema* atau bahasa Yunani *systema*. Sistem adalah kumpulan beberapa komponen yang terorganisir (Daellenbach & McNickle, 2005). Model adalah suatu deskripsi atau analogi yang digunakan untuk membantu menggambarkan sesuatu yang tidak dapat diamati secara langsung. Simulasi merupakan 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).

Menurut Ragsdale (2012) terdapat 3 kategori model yaitu model preskriptif, model prediktif dan model deskriptif. Pada penelitian ini berdasarkan literatur tersebut model simulasi yang digunakan yaitu model deskriptif atau prediktif, karena simulasi ini bertujuan untuk menggambarkan hasil atau perilaku yang dapat terjadi dari suatu pergerakan kendaraan pada sistem lalu lintas, dan model simulasi ini diharapkan dapat digunakan sebagai pengambilan keputusan karena dapat menggambarkan keadaan kendaraan pada sistem lalu lintas.

2.2 Agent Based Modelling and Simulation (ABMS)

Menurut Borshchev & Filippov (2004) *Agent Based Model* (ABM) adalah suatu metode yang digunakan untuk eksperimen dengan melihat pendekatan dari bawah ke atas (*bottom-up*). Pendekatan ini melihat bagaimana interaksi agen dapat mempengaruhi perilaku sistem. 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 (North dan Macal, 2007). Simulasi digunakan berbasis komputer untuk memodelkan agen-agen di dalam sistem, hasil yang diharapkan dapat menggambarkan sifat utama dan dapat digunakan sebagai alat bantu dalam melakukan prediksi untuk pengambilan kebijakan/keputusan di dunia nyata.

2.3 Lalu Lintas

Menurut Warpani (2002), lalu lintas (*traffic*) adalah kegiatan lalu-lalang atau gerak kendaraan, orang, atau hewan di jalanan. Masalah yang biasa timbul dalam sistem lalu lintas yaitu keseimbangan antara kapasitas jalan dengan jumlah 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 dan antrean lalu lintas.

2.4 Object Oriented Programming dan Object Oriented Simulation

Tujuan utama dari pengembangan *Object Oriented Programming* (OOP) adalah untuk menghilangkan beberapa kelemahan yang terdapat pada pendekatan *procedural*. Pada OOP data diperlakukan sebagai elemen yang penting dan tidak boleh mengalir secara bebas dalam program. Data terikat kepada *function* dan harus dilindungi terhadap kemungkinan perubahan dari luar *function*. *Object Oriented Simulation* (OOS) merupakan konsep OOP yang digunakan dalam pembuatan model simulasi.

Menurut Law (2007) terdapat beberapa keuntungan menggunakan konsep OOS. Keuntungan yang pertama yaitu membantu dalam mengatur sistem yang kompleks dengan memecah sistem menjadi beberapa objek yang berbeda. Keuntungan kedua yaitu objek yang ada dapat dengan mudah digunakan kembali atau dimodifikasi. Keuntungan yang ketiga yaitu lebih mudah membuat perubahan pada model ketika memodifikasi objek utama dan objek

lainnya menyadari modifikasinya. Keuntungan yang terakhir yaitu OOS menyediakan suatu kerangka kerja baik untuk kode *library* yang mana menyediakan komponen *software* yang mudah dapat disesuaikan dan dimodifikasi oleh programmer.

2.5 Unified Modeling Language (UML)

UML (*Unified Modeling Language*) adalah sebuah bahasa yang berdasarkan grafik/gambar untuk memvisualisasi, menspesifikasikan, membangun, dan pendokumentasian dari sebuah sistem pengembangan *software* berbasis *Object-Oriented* (Pressman, 2005). Pada penelitian ini konsep pemodelan akan dikembangkan menjadi berorientasi terhadap objek, oleh karena itu dibutuhkan bahasa UML dalam perancangan model.

UML sendiri terdiri atas diagram-diagram sistem yang dikelompokkan menurut aspek atau sudut pandang tertentu. Diagram adalah yang menggambarkan permasalahan maupun solusi dari permasalahan suatu model. UML mempunyai 9 diagram, yaitu; *use-case*, *class*, *object*, *state*, *sequence*, *collaboration*, *activity*, *component*, dan *deployment diagram*. Pada penelitian ini digunakan *class diagram*, *state diagram* dan *activity diagram* dalam melakukan perancangan model.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan dan pengembangan model simulasi ini adalah sebagai berikut:

(i). Tahapan Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah dari latar belakang masalah pada sistem lalu lintas, dimana sistem lalu lintas yang kurang baik dapat menyebabkan beberapa resiko yang ditimbulkan seperti antrean kendaraan atau kemacetan.

(ii). Tahapan Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan literatur sebagai landasan dan acuan peneliti dalam melakukan tahap-tahap perancangan model simulasi yang akan dilakukan. Literatur yang digunakan pada penelitian ini diantaranya mengenai konsep sistem, model, dan simulasi, *Agent Based Modelling and Simulation* (ABMS), konsep lalu lintas, Pengenalan Konsep *Object Oriented Programming*, dan Konsep diagram UML.

(iii). Tahapan Identifikasi Sistem

Pada tahap ini dijelaskan mengenai sistem yang akan dimodelkan. Sistem yang akan dimodelkan yaitu mengenai pergerakan kendaraan pada ruang dua dimensi kontinu. Setiap kendaraan mempunyai beberapa identitas yang menjelaskan nilai ataupun keterangan dari kendaraan itu sendiri. Saputri dkk. (2014) telah membuat beberapa identitas tersebut diantaranya seperti nomor ID, titik awal, titik tujuan, kecepatan, dan lain-lain.

(iv). Tahapan Konsep Pemodelan

Pada tahap ini dilakukan penjabaran konsep pemodelan 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. Saputri dkk. (2014) telah merancang konsep pemodelan simulasi sistem lalu lintas kendaraan dan akan disempurnakan kembali pada makalah ini.

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

Pada tahap ini dilakukan penentuan variabel *input* apa saja yang dibutuhkan dalam sistem yang akan dibuat. Variabel *input* tersebut akan berpengaruh terhadap *output* model yang dihasilkan atau suatu ukuran performansi dari model simulasi yang akan dibuat dimana *output* yang dihasilkan berupa rata-rata selisih waktu antara waktu ideal dan waktu tempuh

aktual. Beberapa variabel *input* dan *output* akan digunakan dan disempurnakan kembali dari penelitian Saputri dkk. (2014).

(vi). Tahapan Identifikasi Awal Class

Pada tahap ini dilakukan identifikasi *class* untuk keseluruhan sistem simulasi pergerakan kendaraan pada bidang dua dimensi kontinu. Dilakukannya identifikasi *class* karena model yang akan dibuat menggunakan pendekatan berorientasi objek.

(vii). Tahapan Identifikasi Awal Atribut Class

Pada tahap ini dilakukan identifikasi awal atribu *class*, atribut-atribut *class* diidentifikasi berdasarkan kebutuhan dasar objek yang akan dibuat berdasarkan *class* tersebut, atribut tersebut seperti nomor identitas, dimensi, posisi awal, posisi tujuan dan lain-lain.

(viii). Tahapan Identifikasi Perilaku Class

Dalam pemodelan simulasi berbasis agen (ABMS) dan berorientasi terhadap objek, setiap agen atau objek akan dibangun dari sebuah *class* yang memiliki perilakunya masing-masing. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan perilaku kendaraan yang dapat memprediksikan langkah kendaraan lain. Pada tahap ini akan dilakukan identifikasi perilaku *class*. Dalam melakukan identifikasi perilaku terdapat *state diagram*, *activity diagram* dan persamaan-persamaan matematik.

(ix). Tahapan Identifikasi Akhir Class

Setelah dilakukan beberapa identifikasi, yaitu identifikasi *class*, atribut, dan perilaku, hasil dari identifikasi tersebut direkap untuk memperjelas dan memudahkan proses implementasi rancangan. Rekapitulasi ini ditampilkan dalam sebuah *class diagram* dimana *class diagram* ini akan berisi mengenai *class* beserta atribut dan perilaku/metode masing-masing *class*.

(x). Tahapan Implementasi Rancangan Algoritma

Pada tahap ini dilakukan implementasi rancangan sistem dan algoritma ke dalam bahasa pemrograman *visual basic .net* (VB.net). Algoritma tersebut diimplementasikan ke dalam bentuk animasi untuk memudahkan verifikasi model dan meningkatkan kredibilitas model.

(xi). Tahapan Pengujian Model dan Analisis

Pada tahap ini akan dilakukan verifikasi (validasi internal) dalam proses pembuatan model simulasi. Verifikasi adalah suatu proses pemeriksaan alur logika atau rumus matematis yang sebelumnya dirancang untuk digunakan dalam model simulasi ini. Bentuk verifikasi yang dilakukan yaitu dengan membuat beberapa konsep skenario simulasi.

(xii). Tahapan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan pengujian model dan analisis yang telah dilakukan.

4. PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN MODEL

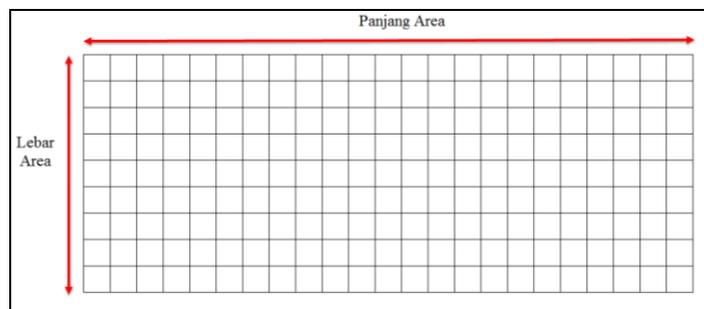
4.1 Identifikasi Sistem

Pada penelitian Saputri dkk. (2014) telah dilakukan identifikasi sistem pergerakan kendaraan pada jalan raya, pada penelitian ini sistem akan dikembangkan kembali. Setiap objek kendaraan mempunyai beberapa identitas atau atribut yang menjelaskan nilai atau keterangan dari kendaraan itu sendiri seperti nomor ID kendaraan, titik awal, titik tujuan, kecepatan, percepatan dan perlambatan. Setiap kendaraan memiliki identitas tetap yang ditentukan pada awal simulasi dan identitas berubah yang nilainya akan berubah-ubah ketika program dijalankan. Saat terjadi pergerakan kendaraan-kendaraan di jalan raya maka akan terjadi interaksi dan menyebabkan perubahan perilaku pada setiap kendaraan, selain itu lintasan jalan raya dan halangan juga berpengaruh terhadap perilaku dari kendaraan.

4.2 Konsep Pemodelan

Pada penelitian Saputri dkk. (2014) telah dibuat konsep pemodelan simulasi pergerakan kendaraan, pada penelitian ini konsep pemodelan akan dikembangkan kembali dimana area

simulasi disimbolkan dengan *array* 2 dimensi yang memiliki ukuran $P_{\text{area}} \times L_{\text{area}}$, dimana $P_{\text{area}} \times L_{\text{area}}$ berupa bilangan bulat atau integer. Sedangkan untuk kendaraan dibuat dengan bentuk persegi panjang berukuran $P_{\text{kendaraan}} \times L_{\text{kendaraan}}$. Contoh wilayah area simulasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh Wilayah Area Simulasi

Setiap *grid* pada area simulasi dapat digunakan untuk area kosong sebagai tempat pergerakan kendaraan, area halangan dan wilayah kendaraan yang menempati area. Untuk area kosong sebagai tempat pergerakan kendaraan maka nilai *grid* dibuat sama dengan Nol (0). Untuk area halangan maka nilai *grid* dibuat sama dengan (-1) dan untuk wilayah kendaraan yang menempati area maka *grid* dibuat sama dengan nomor ID kendaraan tersebut.

4.3 Penentuan Variabel *Input* Dan *Output* Model

Penentuan *variabel input* dan *output* model merupakan hal penting yang harus ada dalam suatu perancangan model simulasi. Pada penelitian Saputri dkk. (2014) telah ditentukan beberapa variabel *input* diantaranya seperti ukuran kendaraan, kecepatan ideal, kecepatan awal, jarak kewaspadaan, titik awal, titik tujuan, titik tahap tujuan, aturan lalu lintas dan halangan jalan. *Output* yang ditentukan dari model simulasi ini yaitu selisih antara waktu tempuh aktual dengan waktu tempuh ideal. *Output* ini dapat digunakan untuk mengetahui performansi dari rancangan sistem lalu lintas kendaraan. Digunakan *output* ini karena sulitnya mendefinisikan mengantre pada sistem ini karena yg disebut antre belum tentu benar-benar diam (kecepatan=0).

4.4 Identifikasi Awal *Class*

Suatu simulasi *berorientasi-objek* memodelkan perilaku dari objek-objek yang saling berinteraksi dalam selang waktu tertentu. *Class* merupakan sesuatu yang menjelaskan atribut umum sebuah objek, termasuk tipe setiap atribut yang dapat mengoperasikan objek tersebut. Dalam penelitian ini sistem diklasifikasikan ke dalam empat buah *class* yaitu *class vehicle*, *class area*, *class simulasi* dan *class simulasi interface*. *Class vehicle* berisikan mengenai atribut dan perilaku dari objek kendaraan, *class area* berisikan mengenai atribut dan perilaku dari area simulasi seperti jalan raya dan halangan pembatas jalan, *class simulasi* berfungsi untuk menjalankan simulasi dan melihat interaksi dari objek-objek dan untuk *class simulasi interface* berfungsi untuk menampilkan interaksi objek-objek kelayar komputer.

4.5 Identifikasi Awal Atribut *Class*

Atribut *class* dapat berupa sifat, nilai, dan keterangan yang dimiliki oleh masing-masing *class*. Setelah dilakukan identifikasi awal *class* maka dilakukan identifikasi atribut awal *class* untuk setiap *class* yang telah dibuat. Contoh penjelasan mengenai awal atribut untuk *class vehicle* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penjelasan Atribut Class Vehicle

No.	Atribut Teridentifikasi	Nama Atribut	Satuan
1	Nomor identitas kendaraan	ID	-
2	Ukuran panjang dan lebar setiap kendaraan	Panjang	m
3		Lebar	
4	Titik posisi (x,y) yang menunjukkan keberadaan orang saat ini	X	Koordinat (dalam meter)
5		Y	
6	Titik posisi (x,y) yang menunjukkan step menuju titik tujuan	Xdest_step()	Koordinat (dalam meter)
7		Ydest_step()	
8	Jalur yang akan digunakan menuju titik tujuan	Jalur_step()	-
9	Kecepatan kendaraan yang digunakan ketika bergerak	V	m/s
10	Kecepatan ideal kendaraan saat bergerak	V_ideal	m/s
11	Percepatan maksimum yang dapat dilakukan oleh suatu kendaraan	Percepatan_max	m/s ²
12	Jumlah titik tujuan yang dicapai sebelum menuju titik tujuan akhir	StepFinished	-
13	Jarak yang dimiliki masing-masing kendaraan untuk kewaspadaan terhadap hambatan di depannya	dA	m
14	Jarak minimum antar kendaraan Satu dengan kendaraan lainnya	Jarak_minimum_kendaraan	m
15	Waktu yang dibutuhkan pengemudi dari keadaan diam hingga melakukan reaksi terhadap kemudi	t_traksi	detik

Contoh penjelasan mengenai awal atribut untuk *class area* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penjelasan Atribut Class Area

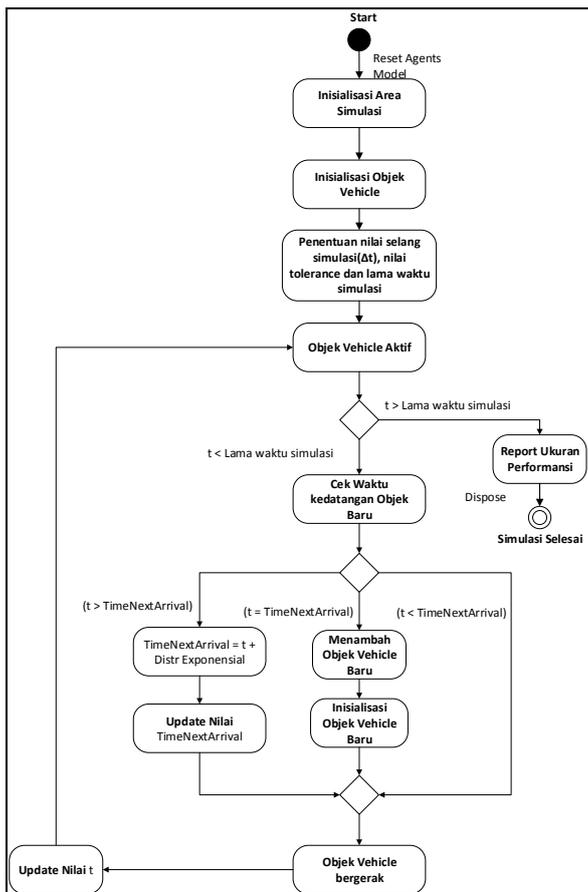
No.	Atribut Teridentifikasi	Nama Atribut	Satuan
1	Menunjukkan titik koordinat pada area simulasi	Wilayah(,)	koordinat
2	Konversi satuan nilai grid pada simulasi	SG	detik
3	Besarnya panjang area simulasi	Panjang_area	m
4	Besarnya lebar area simulasi	Lebar_area	m

4.6 Identifikasi Perilaku

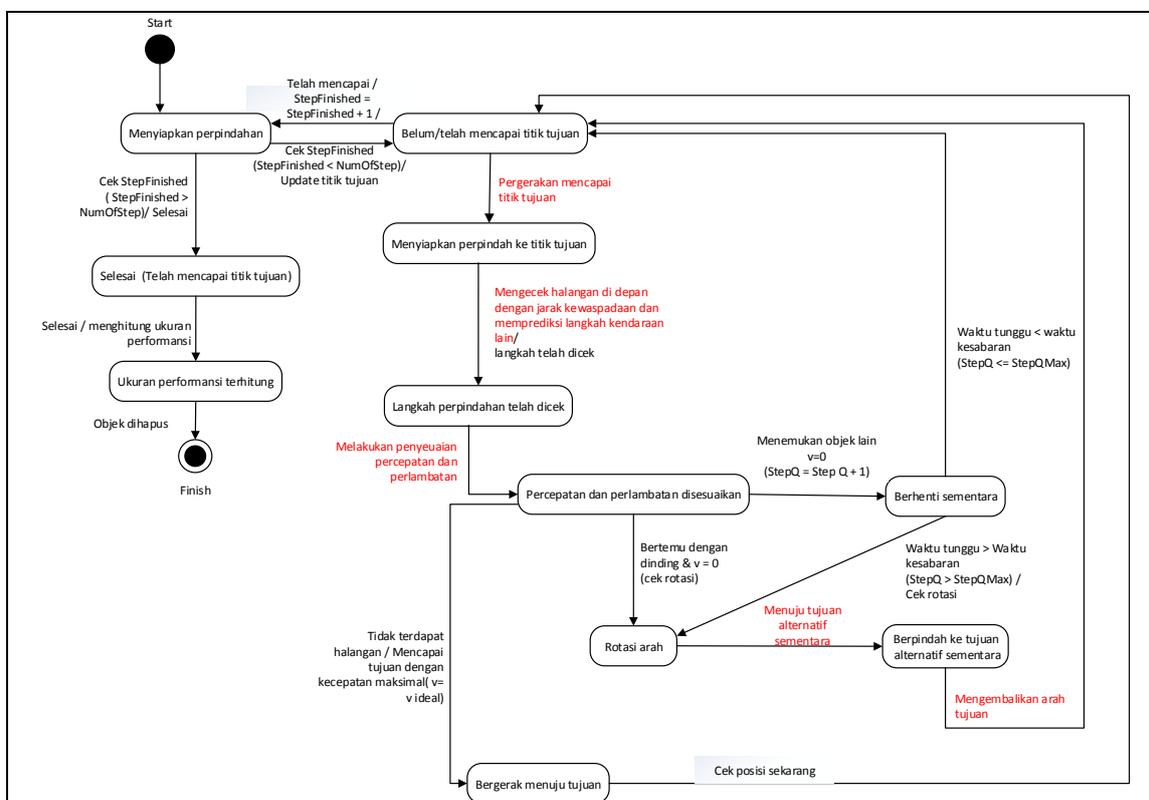
Dalam pemodelan simulasi berbasis agen (ABMS), setiap agen atau objek akan dibangun dari sebuah *class* yang memiliki perilakunya masing-masing. Perilaku tersebut dapat mempengaruhi perilaku agen lain maupun sistem secara global. Pada pemodelan berorientasi objek dalam mendeskripsikan perilaku sistem secara global dapat menggunakan *state diagram* sedangkan dalam memodelkan perilaku agen secara rinci dapat menggunakan *activity diagram*. Untuk contoh salah satu perilaku *class simulasi* yaitu perilaku *run_simulation* dapat dilihat pada *activity diagram* Gambar 2.

Class vehicle merupakan *class* utama, karena merupakan objek yang ingin diamati dalam penelitian ini, *class vehicle* memiliki perilaku yang sangat luas sehingga dibutuhkan identifikasi perilaku menggunakan *state diagram* agar dapat membantu dalam melakukan identifikasi perilaku *class vehicle*. Untuk gambar *state diagram class vehicle* dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada makalah ini dilakukan pengembangan dari penelitian Saputri dkk. (2014) mengenai perilaku memprediksi langkah kendaraan lain, karena perilaku ini merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi tingkat antrean pada sistem lalu lintas. Untuk *activity diagram* perilaku prediksi langkah pergerakan kendaraan lain dapat dilihat pada Gambar 4.

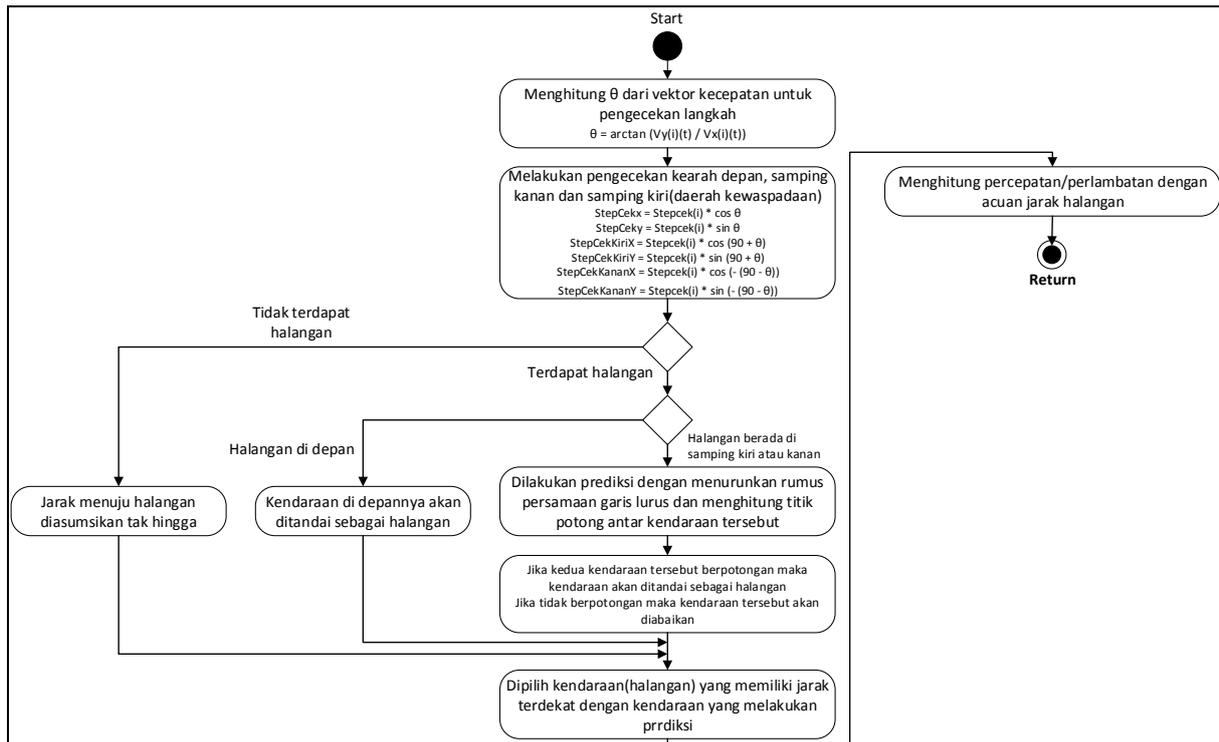


Gambar 2. Perilaku Run Simulation (Class Simulasi)



Gambar 3. State Diagram Perilaku Class Vehicle

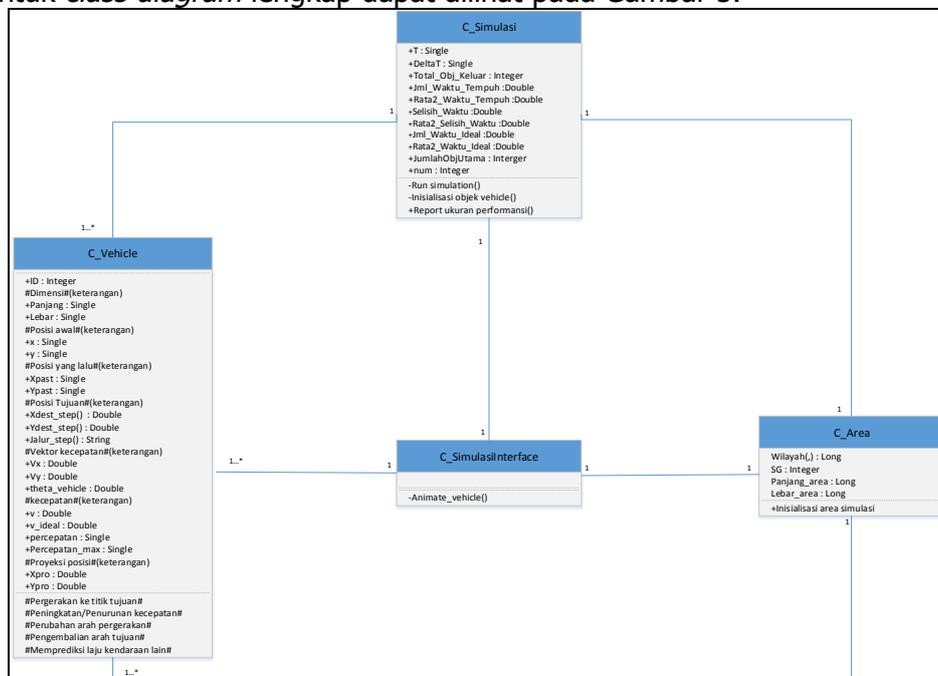
Model Simulasi untuk Sistem Lalu Lintas Kendaraan pada Ruang Dua Dimensi Kontinu dengan Pemodelan Berbasis Agen dan Berorientasi Objek



Gambar 4. Activity Diagram Perilaku Prediksi Langkah Kendaraan Lain

4.7 Identifikasi Akhir Class

Setelah dilakukan identifikasi atribut dan perilaku class maka telah didapatkan atribut dan perilaku yang terdapat pada *class* simulasi, *class* area, *class* simulasi *interface* dan *class* *vehicle*. Untuk *class diagram* lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Class Diagram Akhir

4.8 Implementasi Rancangan Algoritma

Algoritma yang telah dirancang kemudian diimplementasikan ke dalam suatu program dengan menggunakan suatu bahasa pemrograman. Bahasa pemrograman yang digunakan

pada penelitian ini yaitu bahasa *Visual Basic.Net* yang dituangkan dalam *software Visual Studio 2013*, serta dalam memasukan data *input* atau inialisasi awal kendaraan menggunakan *software Microsoft Excel 2010*.

5. PENGUJIAN MODEL DAN ANALISIS

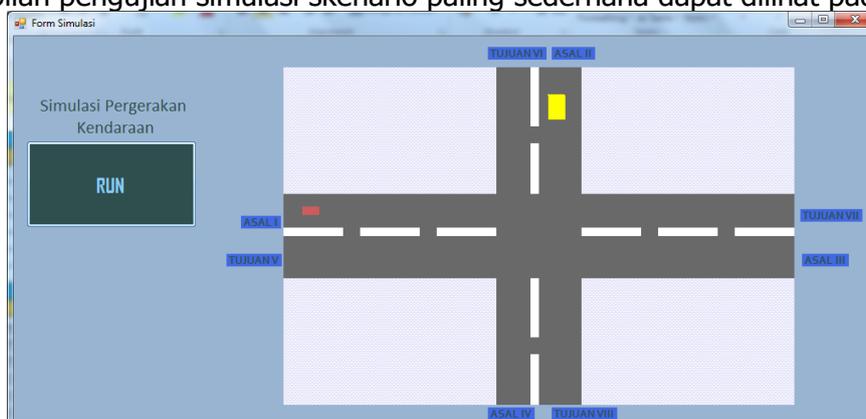
5.1 Pengujian Model

Pengujian model bertujuan untuk mengetahui apakah konsep dan rancangan model yang dibuat dapat digunakan untuk merepresentasikan dunia nyata yang dimodelkannya. Terdapat 9 skenario yang dibuat untuk melakukan pengujian terhadap model simulasi. Pengujian ini dilakukan dengan membuat beberapa skenario dengan parameter tertentu. Seluruh skenario dibuat dalam kondisi kendaraan berada di area persimpangan jalan.

Skenario dibuat mulai dari pengujian yang paling sederhana hingga pengujian yang kompleks, dimana pengujian pada skenario yang paling sederhana dilakukan dengan menggunakan dua buah kendaraan dengan ukuran kendaraan, posisi awal, dan tujuan yang berbeda. Tujuannya dilakukan pengujian pada skenario ini untuk memastikan rancangan model dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan dimana kendaraan dapat berjalan dari titik awal menuju titik tujuannya. Setelah simulasi dijalankan skenario tersebut telah berjalan sesuai dengan tujuan yang diinginkan.

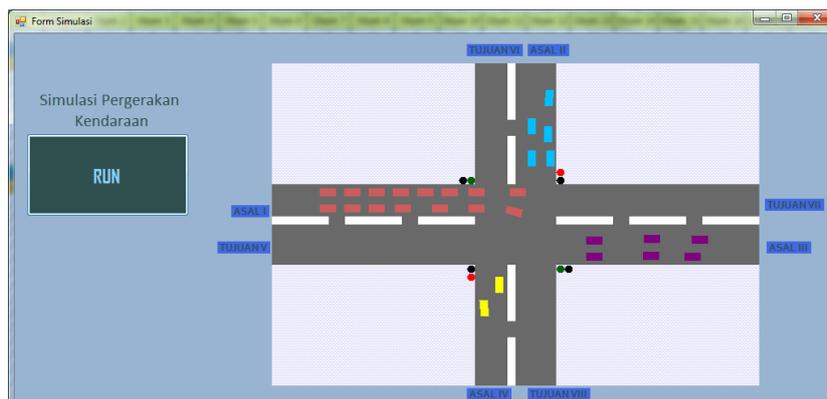
Untuk pengujian skenario yang kompleks dibuat dengan menambahkan lampu lalu lintas pada persimpangan jalan dan menambahkan kedatangan objek baru pada waktu tertentu tujuannya dilakukan pengujian ini untuk melihat perilaku objek terhadap pengaruh aturan lalu lintas dan kedatangan objek baru. Setelah simulasi dijalankan skenario tersebut telah berjalan sesuai dengan tujuan yang diinginkan.

Contoh tampilan pengujian simulasi skenario paling sederhana dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Skenario 1e

Output yang didapatkan pada simulasi skenario paling sederhana untuk rata-rata waktu ideal adalah sebesar 3 detik, untuk rata-rata waktu aktual adalah sebesar 9.7 detik dan untuk rata-rata selisih waktu sebesar 6.7 detik. Dan dapat disimpulkan dari skenario 1e kendaraan telah memiliki perilaku perlambatan kecepatan karena kendaraan tidak saling mendahului dan menabrak walaupun kecepatan kendaraan diset berbeda-beda. Selain itu model simulasi juga dapat digunakan dalam beberapa studi kasus terkait sistem lalu lintas kendaraan khususnya di perempatan jalan. Untuk contoh tampilan penggunaan model dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Contoh Tampilan Penggunaan Model Simulasi

5.2 Analisis

Setelah dilakukan pengujian dan contoh penggunaan model maka akan dilakukan analisis berdasarkan hal tersebut. Analisis dilakukan sebagai gambaran apakah model simulasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Berdasarkan hasil pengujian terhadap skenario-skenario yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa model simulasi ini telah mengakomodasi beberapa perilaku yang telah dimodelkan, yaitu yaitu pergerakan ke titik tujuan, peningkatan kecepatan, penurunan kecepatan, melakukan prediksi langkah pergerakan kendaraan lain dan pengembalian arah serta perubahan arah pergerakan.

Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil menggunakan *time step simulation* atau $\Delta t = 0.1$ dengan $\Delta t = 0.05$, selisih yang didapatkan hanya sebesar 0.10 detik, hal ini disebabkan karena terdapat ketidaksesuaian pada masalah komputasi, namun perbedaan tersebut tidak terlalu besar sehingga tidak terlalu banyak berpengaruh terhadap sistem.

Pengujian model simulasi menunjukkan dapat menambahkan kedatangan objek baru secara random pada waktu-waktu tertentu, hal ini diharapkan dapat membuat model menggambarkan sistem yang lebih nyata.

Pada pengujian skenario kompleks menunjukkan jika kondisi lalu lintas ditambahkan dengan pengaturan lalu lintas seperti lampu lalu lintas maka kondisi lalu lintas akan semakin teratur dibandingkan tanpa pengaturan lalu lintas, sebab tanpa digunakannya pengaturan lampu lalu lintas dapat menyebabkan tabrakan dan antrean pada jalan raya.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah penelitian ini telah menghasilkan suatu model simulasi mengenai sistem lalu lintas kendaraan pada bidang dua dimensi kontinu yang dapat memprediksikan pergerakan langkah kendaraan lain dengan menggunakan model simulasi berbasis agen (*Agent Based Modeling and Simulation*) yang berorientasi objek.

Model simulasi yang dihasilkan telah memiliki perilaku memprediksi langkah kendaraan lain sehingga simulasi lebih dapat mempresentasikan dunia nyata. Model simulasi yang dihasilkan telah dirancang dengan menggunakan konsep *Object Oriented Programming* (OOP), sehingga model simulasi lebih fleksibel terhadap perubahan dan modifikasi serta lebih terstruktur dan sistematis. Model simulasi ini bersifat generik, sehingga dapat digunakan untuk berbagai kasus sistem nyata yang melibatkan pergerakan kendaraan. Model simulasi ini dapat

merepresentasikan perilaku-perilaku yang terjadi pada sistem lalu lintas, seperti pada persimpangan jalan.

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

1. Mengembangkan perilaku mundur ketika kendaraan akan mengubah arah pergerakannya.
2. Mengembangkan perilaku kendaraan yang dapat mengakomodasi gerakan mendahului, jika kendaraan tersebut berada tepat di belakang kendaraan lainnya.
3. Membuat alternatif untuk pemilihan titik tujuan.
4. Memperbaiki algoritma perancangan yang masih kurang efisien, karena jika jumlah objek kendaraan disimulasikan dalam jumlah yang banyak maka program akan berjalan lambat dan memakan banyak memori.

REFERENSI

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

Daellenbach, H. G. dan 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.

Pressman, R.S., 2005. *Software Engineering Sixth Edition*, Singapore, McGraw-Hill.

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

Saputri, T., Nugraha, C., dan Amila, K.. 2014., *Model Simulasi Untuk Pergerakan Kendaraan Pada Ruang Dimensi Kontinu Dengan Pemodelan Berbasis Agen*, *Jurnal Online Reka Integra Institut Teknologi Nasional*, No.04 Vol.02, ISSN: 2338-5081.

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