

MODEL SIMULASI UNTUK PERGERAKAN MANUSIA DI RUANG DUA DIMENSI DENGAN PENDEKATAN PEMODELAN BERBASIS AGEN^{*}

BULAN YUANDANI, CAHYADI NUGRAHA, KHURIA AMILA

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: bulanyuandani@yahoo.com

ABSTRAK

Banyaknya aktivitas pergerakan manusia menuntut perancangan fasilitas yang baik agar manusia merasa aman dan nyaman dalam bergerak. Adanya pengaruh pergerakan manusia membuat penentuan desain fasilitas menjadi tidak mudah. Kompleksitas permasalahan dalam memodelkan sistem pergerakan manusia mengisyaratkan dibutuhkannya model simulasi. Salah satu model simulasi yang cocok digunakan dalam merepresentasikan sistem kompleks adalah dengan pendekatan berbasis agen. Pendekatan berbasis agen dilakukan karena adanya agen dalam sistem dan aktivitas-aktivitas agen yang mempengaruhi sistem, meskipun dalam kasus ini hanya ada satu agen yang bergerak pada sistem. Makalah ini menyajikan suatu kerangka pemrograman untuk mewujudkan model simulasi mengenai pergerakan manusia di ruang dua dimensi.

Kata kunci: model simulasi, pergerakan manusia, ruang dua dimensi, pendekatan berbasis agen, alat simulasi

ABSTRACT

Many activities of human movement requires good design facilities so that people feel safe and comfortable in moving. The influence of the human movement make the determination of design facility becomes not easy. The complexity of the problems in modeling human movement system implies the need for a simulation model. One of the simulation model that is suitable for use in complex system is represented by an agent based modeling. Agent based modeling is done because of the agents in the system and the activities of agents that affect the system, although in this case there is only one agent that moves the system. This paper presents a programming framework to create a simulation model of human movement in two dimensional space.

Keywords: simulation model, human movement, two-dimensional space, ABM, simulation tool

^{*} 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

Banyaknya aktivitas pergerakan manusia menuntut perancangan fasilitas yang baik agar manusia merasa aman dan nyaman dalam bergerak. Fasilitas-fasilitas tersebut misalnya fasilitas keluar/masuk area dan fasilitas yang berhubungan dengan ruang gerak manusia, misal: lorong-lorong, gang, dan sebagainya.

Pergerakan manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti dimensi manusia, usia manusia, posisi manusia, dan waktu respon manusia. Selain itu terdapat juga unsur kerandoman (probabilistik) dalam perilaku manusia misalnya memilih jalan untuk mencapai tujuan.

Untuk mempermudah proses pengambilan keputusan dari perancangan suatu sistem yang kompleks seperti ini, maka diperlukan pengembangan model yang dapat merepresentasikan objek dari sistem yang akan diteliti. Kompleksitas permasalahan dalam memodelkan sistem pergerakan manusia mengisyaratkan dibutuhkannya model simulasi (Law, 2007).

Salah satu model simulasi yang cocok digunakan dalam merepresentasikan sistem kompleks adalah *agent based modeling and simulation* (North & Macal, 2007) atau kadang-kadang disebut sebagai *agent based modeling* saja. *Agent based modeling* cocok dipakai untuk memodelkan sistem kompleks yang tersusun dari banyak objek-objek yang memiliki karakter dan perilaku berbeda-beda dan saling berinteraksi antar objek-objek tersebut. Dengan menggunakan model simulasi tersebut, dapat diketahui efek skala besar (makro) dari proses mikro melalui interaksi antar agen yang satu dengan agen lainnya. Manusia atau orang merupakan agen dalam sistem ini.

1.2 Identifikasi Masalah

Untuk mengetahui performansi sistem di suatu fasilitas untuk pergerakan manusia diperlukan simulasi. Hal ini dipicu karena perilaku manusia yang cenderung *random* dan juga karena adanya interaksi antar manusia dalam area pergerakan. Fasilitas untuk pergerakan manusia ditempati oleh manusia yang dapat bergerak ke berbagai arah. Sehingga pada kasus ini, simulasi dilakukan pada dua dimensi.

Perangkat lunak (*software*) simulasi yang siap pakai untuk permasalahan seperti ini belum ada. Salah satu penelitian yang pernah dipublikasikan terkait dengan jalur evakuasi darurat adalah penelitian Smith & Brokaw (2008). Namun dalam publikasi tersebut tidak dibahas secara detail mengenai simulasinya. Selain itu fokus penelitian tersebut lebih kepada rute yang diambil dari satu ruangan menuju pintu evakuasi. Pendekatan model simulasi lain misalnya *discrete event simulation* sulit dipakai untuk memodelkan objek-objek yang bergerak pada bidang yang kontinu seperti pergerakan manusia pada ruangan karena pendekatan model ini menggunakan titik-titik rute dimana *routing* suatu entitas memiliki titik-titik tertentu yang jelas. Selain itu menggunakan *software discrete event* seperti Arena (Kelton, dkk., 2007) juga sulit untuk mensimulasikan objek yang bergerak pada bidang yang kontinu. Sehingga, perlu dibuat suatu model simulasi sistem dengan fokus pada pergerakan manusia di ruang dua dimensi secara umum.

Dalam makalah ini disajikan suatu kerangka pemrograman untuk mewujudkan model simulasi sistem tersebut. Konsep model pada penelitian ini dikembangkan dari model dasar pemodelan berbasis agen (*agent based modeling*). Pendekatan dengan menggunakan *agent based modeling* dilakukan karena adanya agen dalam sistem dan aktivitas-aktivitas agen

yang mempengaruhi sistem, meskipun dalam kasus ini hanya ada satu agen yang bergerak pada sistem. Model yang dibuat pada makalah ini menjadi dasar untuk membuat *software* yang menjadi alat simulasi kasus pergerakan manusia di ruang dua dimensi.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Sistem, Model, dan Simulasi

Menurut Daellenbach & McNickle (2005), sistem merupakan kumpulan komponen-komponen yang saling berinteraksi atau saling berhubungan. Hubungan antar komponen-komponen yang mungkin terjadi yaitu hubungan searah, dan/atau hubungan sebab akibat. Pengaruh hubungan timbal balik atau sebab akibat meningkatkan kompleksitas perilaku sistem.

Model merupakan deskripsi atau analogi yang digunakan untuk membantu memvisualisasikan sesuatu yang tidak dapat diamati secara langsung, meskipun dalam beberapa kasus mungkin aspek-aspek tertentu dapat diamati secara langsung. Berdasarkan struktur, model diklasifikasikan sebagai berikut: model ikonik, model analogi, model simbolik (Daellenbach & McNickle, 2005). Model matematis adalah salah satu bentuk dari model simbolik. Model matematis dapat dikategorikan sebagai berikut (Ragsdale, 2012): model preskriptif, model prediktif, dan model deskriptif. Beberapa penulis lain menggolongkan model deskriptif dan model prediktif sebagai satu klasifikasi, misalnya menurut Buede (2009) model diklasifikasikan sebagai berikut: model deskriptif atau model prediktif, model normatif, dan model definitif.

Model simulasi merupakan salah satu bentuk model matematis yang bersifat deskriptif atau prediktif. Simulasi adalah proses merancang model matematika atau logis dari sistem untuk dilakukan eksperimen pada model tersebut untuk menggambarkan, menjelaskan, dan memprediksi kelakuan dari sistem. Simulasi berkaitan erat dengan model berbasis komputer. Model digunakan untuk berbagai eksperimen sehingga orang dapat menarik kesimpulan (keputusan) terhadap suatu sistem tanpa harus melaksanakannya secara nyata atau terhadap perubahan atas sistem yang sudah ada tanpa harus mengganggu sistem tersebut.

Beberapa macam jenis model simulasi adalah (Borshchev & Filippov, 2004): *system dynamics*, *discrete event simulation*, dan *agent based modeling*. *System dynamics* adalah suatu metode yang digunakan untuk mendeskripsikan, memodelkan, dan mensimulasikan suatu sistem yang dinamis. *Discrete event simulation* adalah model pengoperasian sistem sebagai urutan kejadian diskrit dalam waktu tertentu atau sistem dimana variabel keadaan berubah hanya pada himpunan waktu yang diskrit. *Agent based modeling* adalah suatu metode yang digunakan untuk eksperimen dengan melihat pendekatan dari bawah ke atas bagaimana interaksi perilaku-perilaku individu dapat mempengaruhi perilaku sistem.

2.2 Agent Based Modeling

Menurut North & Macal (2007), *agent based modeling* 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 atau prediksi dalam mengambil keputusan di dunia nyata.

Agen adalah suatu komponen sistem yang memiliki suatu perilaku sendiri, aturan-aturan dalam mengambil keputusan untuk dirinya, dan atribut yang dimiliki untuk berinteraksi dengan yang lain. Pada simulasi berbasis ABM, dimulai dengan menentukan entitas atau agen. Agen digunakan untuk memodelkan individu dalam sistem.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Urutan proses atau tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

(i) Tahapan Identifikasi Masalah

Perangkat lunak (*software*) simulasi yang siap pakai untuk permasalahan pergerakan manusia di ruang dua dimensi belum ada. Salah satu penelitian yang pernah dipublikasikan terkait dengan jalur evakuasi darurat adalah penelitian Smith & Brokaw (2008). Namun dalam publikasi tersebut tidak dibahas secara detail mengenai simulasinya. Selain itu fokus penelitian tersebut lebih kepada rute yang diambil dari satu ruangan menuju pintu evakuasi. Sehingga, perlu dibuat suatu model simulasi sistem dengan fokus pada pergerakan manusia di ruang dua dimensi secara umum. Dalam makalah ini disajikan suatu kerangka pemrograman untuk mewujudkan model simulasi sistem tersebut. Konsep model pada makalah ini dikembangkan dari model dasar simulasi berbasis agen (*agent based modeling*). Model yang dibuat pada makalah ini menjadi dasar untuk membuat *software* yang menjadi alat simulasi kasus pergerakan manusia.

(ii) Tahapan Studi Literatur

Studi literatur menjelaskan mengenai sistem, model, simulasi, model simulasi untuk pergerakan manusia, dan *agent based modeling*.

(iii) Tahapan Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem menjelaskan mengenai garis besar sistem yang akan dimodelkan pada makalah secara keseluruhan. Selain itu juga membahas mengenai faktor-faktor yang memiliki peranan penting dalam sistem, klasifikasi objek dalam sistem, dan perilaku objek dalam sistem.

(iv) Tahapan Pembuatan Konsep Pemodelan

Konsep pemodelan menjelaskan mengenai konsep dasar pemodelan dalam sistem pergerakan manusia di ruang dua dimensi dengan pendekatan pemodelan berbasis agen. Konsep dasar ini berupa penjelasan mengenai area atau wilayah dan objek yang digunakan pada pemodelan dan konsep pergerakan manusia.

(v) Tahapan Penentuan *Output* dan Variabel-Variabel *Input*

Variabel *output* dan variabel *input* merupakan variabel yang pasti dimiliki oleh sebuah model. Variabel *output* dan variabel *input* model digunakan sebagai alat validasi ukuran performansi sistem untuk menilai *output* model tersebut.

(vi) Tahapan Identifikasi Atribut dan Perilaku Agen

Identifikasi atribut dan perilaku agen menjelaskan mengenai suatu agen memiliki sifat, nilai, dan keterangannya masing-masing yang disebut dengan atribut. Setiap agen dalam sistem pergerakan manusia memiliki perilaku tertentu yang berbeda-beda. Perilaku masing-masing agen dapat saling mempengaruhi sehingga dapat memicu timbulnya perilaku yang lain.

(vii) Tahapan Perancangan Algoritma Simulasi

Rancangan algoritma simulasi meliputi algoritma utama simulasi dan algoritma-algoritma untuk menggambarkan perilaku masing-masing agen dengan menggunakan *flowchart*. Bagian ini juga memuat rumus-rumus yang mendasari algoritma simulasi.

(viii) Tahapan Implementasi Rancangan Algoritma

Sistem yang telah dirancang kemudian diimplementasikan kedalam bahasa pemrograman dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic.net* (VB.net) 2013. Algoritma simulasi diidentifikasi dan kemudian dibantu dengan algoritma animasi untuk memudahkan verifikasi model dan meningkatkan kredibilitas model.

(ix) Tahapan Pengujian Model dan Analisis

Validasi yang dilakukan terhadap model adalah validasi internal. Pengujian validasi sudah termasuk dengan verifikasi dengan mencocokkan algoritma simulasi dengan algoritma animasi. Kemudian, nilai *output* model akan dikaji untuk dilakukan analisis model.

(x) Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pengujian model dan analisis akan menghasilkan kesimpulan dari hasil simulasi. Berdasarkan proses simulasi, maka akan didapat saran-saran yang dapat diimplementasikan atau dikembangkan oleh pihak-pihak lain yang terkait.

4. PERANCANGAN MODEL

4.1 Identifikasi Sistem

Sistem yang akan dimodelkan pada makalah ini adalah sistem pergerakan manusia di ruang dua dimensi dengan pendekatan pemodelan berbasis agen. Suatu area adalah sebuah bidang atau daerah yang memiliki dimensi luas tertentu dan dapat diduduki oleh berbagai macam objek. Suatu area dapat diduduki oleh satu atau beberapa orang. Setiap orang memiliki tujuan yaitu pintu keluar area. Setiap orang memiliki posisi awal yang berbeda-beda, dimensi orang, dan kecepatan bergerak. Setiap orang dengan posisi dan dimensinya masing-masing akan menduduki suatu wilayah tertentu. Setiap orang akan bergerak menuju tujuan dengan kecepatannya masing-masing. Selama perjalanannya, orang-orang tersebut akan menemui hambatan, baik itu hambatan batas dinding area atau adanya orang lain. Oleh karena itu, sebelum bergerak, setiap orang akan memastikan apakah di depannya terdapat hambatan atau tidak. Jika terdapat hambatan maka orang tersebut akan memperlambat gerakannya sesuai dengan jarak kewaspadaan yang dimiliki masing-masing orang dan kemudian berhenti. Kemudian, orang tersebut akan memilih jalan lain untuk mencapai tujuan dan belok sesuai jalan yang dipilih.

4.2 Konsep Pemodelan

Ruang dua dimensi tempat pergerakan manusia dapat dimodelkan dengan pendekatan wilayah yang dibagi menjadi beberapa *grid* dengan *grid size* mewakili suatu ukuran minimum tertentu, misalnya satu *grid* mewakili 0,1 meter x 0,1 meter. Dalam komputasi, kumpulan *grid* dapat dinyatakan dalam *array* dua dimensi. Setiap *grid* diinisialisasikan dengan angka 0. Orang memiliki posisi dan dimensinya masing-masing yang menduduki suatu wilayah tertentu. Setiap bergerak, wilayah yang diduduki orang tidak lagi bernilai 0 tetapi menjadi sesuai dengan nomor ID orang tersebut. Orang diasumsikan berbentuk persegi. Contoh suatu bagian dari area, dimana ada orang di posisi (5 meter, 10 meter) dari lokasi (0,0) acuan dan ukuran panjang dan lebar orang 0,5 meter x 0,5 meter dapat dilihat pada Gambar 1.

grid size	
105	0 0 0 0 0 0 0 0 0
104	0 0 0 0 0 0 0 0 0
103	0 0 0 0 0 0 0 0 0
102	0 0 1 1 1 1 1 0 0
101	0 0 1 1 1 1 1 0 0
100	0 0 1 1 (5, 10) 1 1 0 0
99	0 0 1 1 1 1 1 0 0
98	0 0 1 1 1 1 1 0 0
97	0 0 0 0 0 0 0 0 0
96	0 0 0 0 0 0 0 0 0
95	0 0 0 0 0 0 0 0 0
94	0 0 0 0 0 0 0 0 0
93	0 0 0 0 0 0 0 0 0
92	0 0 0 0 0 0 0 0 0
91	0 0 0 0 0 0 0 0 0
90	0 0 0 0 0 0 0 0 0
	46 47 48 49 50 51 52 53 54

Gambar 1. Wilayah yang Digambarkan Sebagai Suatu Data Array Dua Dimensi

Setiap orang memiliki tujuan (*destination*) dan akan bergerak menuju tujuannya dengan kecepatan masing-masing. Perubahan posisi orang akan di-*update* setiap selang waktu tertentu yang disebut ΔT (*Time Advance Mechanism*). Posisi orang yang baru ditentukan oleh kecepatan orang dikali ΔT . Hambatan-hambatan yang terdapat di dalam area menyebabkan setiap orang akan melakukan proyeksi wilayah di depannya apakah terdapat halangan atau tidak. Proyeksi wilayah dilakukan dengan cara melakukan pengecekan setiap langkah pergerakan. Masing-masing orang memiliki jarak kewaspadaan yang akan mempengaruhi percepatan dan perlambatan pergerakan orang.

Untuk tetap sampai ke tujuan, orang yang menemui halangan harus memilih jalan lain yang tidak terhalangi. Orang harus melakukan perubahan arah gerak atau berbelok. Sebelum mengubah arah atau berbelok, setiap orang mengecek fisibilitas wilayah arah yang akan dituju. Orang berbelok artinya jarak saat ini orang tersebut dengan titik tujuan semakin jauh. Apabila jarak posisi orang saat ini dengan titik tujuan semakin jauh, maka orang akan melakukan pengembalian arah pergerakannya menuju atau mendekati titik tujuan. Titik tujuan pada pemodelan ini adalah pintu keluar (*exit gate*).

4.3 Penentuan *Output Model* dan Variabel-Variabel *Input*

Beberapa variabel *input* pada sistem pergerakan manusia di ruang dua dimensi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel-Variabel *Input*

No	Variabel <i>Input</i>	Keterangan	Satuan	Sifat
1.	Desain Ruangan	Panjang dan lebar ruangan, adanya beberapa hambatan dalam ruangan, lokasi pintu keluar	m ²	<i>Controllable Input</i>
2.	Kecepatan Ideal	Kecepatan masing-masing orang saat berjalan	m/s	<i>Uncontrollable Input</i>
3.	Titik Tujuan	Titik tujuan masing-masing orang (pintu keluar) termasuk titik-titik alternatifnya	koordinat (dalam meter)	<i>Uncontrollable Input</i>
4.	Titik Tahap Tujuan	Titik tujuan masing-masing orang sebelum menuju tujuan akhir (pintu keluar) termasuk titik-titik alternatifnya	koordinat (dalam meter)	<i>Uncontrollable Input</i>
5.	Titik Awal	Titik awal atau posisi awal setiap orang	koordinat (dalam meter)	<i>Uncontrollable Input</i>
6.	Dimensi Objek	Ukuran panjang dan lebar setiap orang	m	<i>Uncontrollable Input</i>
7.	Jarak kewaspadaan	Jarak kewaspadaan yang dimiliki setiap orang terhadap hambatan atau orang lain	m	<i>Uncontrollable Input</i>

Output pada sistem pergerakan manusia di ruang dua dimensi adalah rata-rata selisih antara waktu tempuh sesungguhnya dengan waktu tempuh ideal. Waktu tempuh sesungguhnya adalah waktu tempuh dari titik awal ke titik tujuan dengan menggunakan kecepatan objek, dan adanya interaksi dengan komponen-komponen lainnya. Waktu tempuh ideal adalah waktu tempuh dari titik awal ke titik tujuan dengan menggunakan kecepatan ideal objek, tanpa adanya interaksi dengan komponen-komponen lainnya.

4.4 Identifikasi Atribut dan Perilaku Agen

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

Tabel 2. Atribut Agen

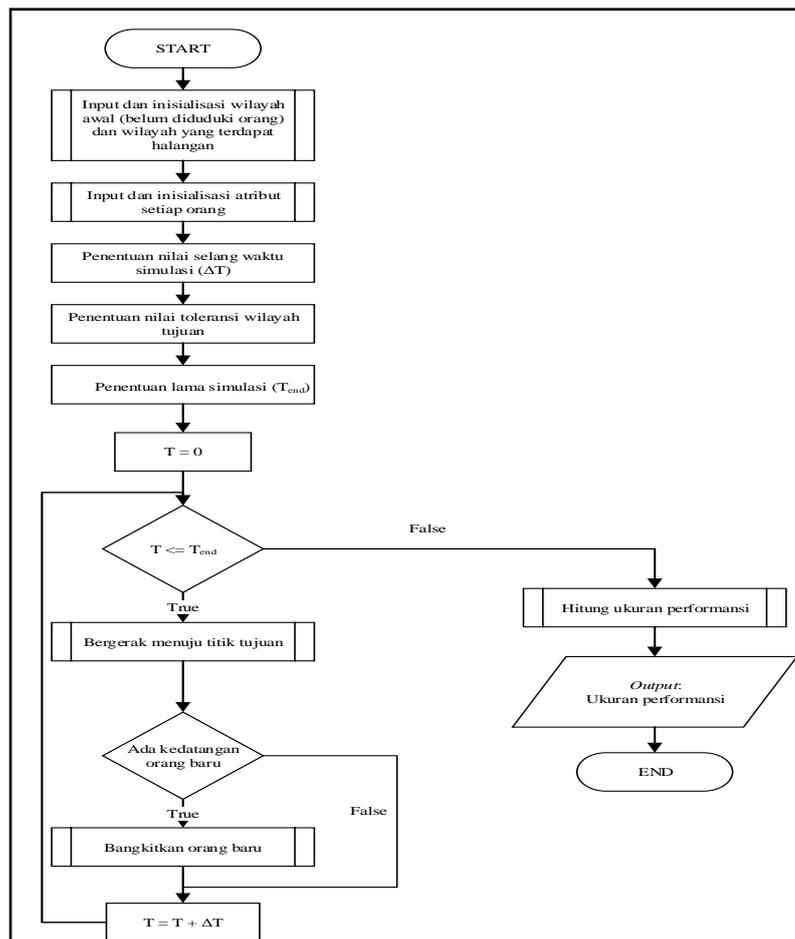
No	Nama Atribut	Keterangan	Satuan
1	ID	Nomor identitas orang	-
2	Posisi	Titik posisi (x,y) yang menunjukkan keberadaan orang saat ini	koordinat (dalam meter)
3	Posisi yang Lalu	Titik posisi (x,y) yang menggantikan posisi keberadaan orang sebelumnya setelah orang bergerak	koordinat (dalam meter)
4	Dimensi	Ukuran panjang dan lebar setiap orang	m
5	Kecepatan Ideal	Kecepatan orang saat bergerak	m/s
6	Tujuan Akhir	Titik posisi (x,y) yang menunjukkan tujuan akhir untuk setiap orang	koordinat (dalam meter)
7	Jarak Saat Ini (<i>current distance</i>)	Jarak dari titik posisi saat ini ke titik tujuan	m
8	Jarak yang Lalu (<i>past distance</i>)	Jarak yang akan menggantikan jarak saat ini apabila orang sudah bergerak	m
9	Jarak Kewaspadaan	Jarak yang dimiliki masing-masing orang untuk kewaspadaan terhadap hambatan	m
10	Jarak Terhadap Hambatan	Jarak yang dimiliki masing-masing orang terhadap hambatan	m
11	Proyeksi Kecepatan	Kecepatan orang yang diproyeksikan sebelum bergerak (saat cek rotasi sebelum melakukan belok)	m/s
12	Proyeksi Posisi	Titik posisi (x,y) yang diproyeksikan sebelum orang bergerak	koordinat (dalam meter)
13	Proyeksi Posisi Belok	Titik posisi (x,y) yang diproyeksikan apabila orang melakukan cek rotasi sebelum bergerak belok	koordinat (dalam meter)
14	Langkah Tujuan	Jumlah titik tujuan yang dicapai sebelum menuju titik tujuan akhir	jumlah
15	Titik Tahap Tujuan	Titik-titik tujuan yang akan dituju sebelum menuju titik tujuan akhir	koordinat (dalam meter)
16	Waktu Ideal	Waktu yang dibutuhkan setiap orang untuk sampai ke tujuan akhir tanpa berinteraksi dengan komponen yang ada	detik
17	Waktu Awal	Waktu dimana setiap orang mulai bergerak	detik
18	Waktu Selesai	Waktu dimana orang sudah mencapai tujuan akhir	detik
19	Jarak Minimum Orang	Jarak yang dimiliki masing-masing orang terhadap sesuatu	meter
20	Waktu Reaksi	Waktu yang dimiliki setiap orang untuk melakukan reaksi (bergerak atau berhenti)	detik
21	Percepatan maksimal	Besar percepatan yang dimiliki masing-masing orang	m/s ²
22	Jarak Orang Kembali Setelah Menjauhi Tujuan (<i>Total Lost Object</i>)	Jarak setiap orang kembali menuju ke tujuan apabila telah menjauhi titik tujuan.	meter
23	Waktu Reaksi Ubah Arah (<i>StepQ Object</i>)	Waktu yang dimiliki setiap orang untuk menunggu mengubah arah pergerakannya apabila gerakannya terhalangi oleh halangan.	detik

Tabel 3. Perilaku Agen

No	Perilaku	Keterangan
1	Memilih Jalan	Orang akan memilih jalan masing-masing untuk mencapai tujuan
2	Cek Setiap Langkah Pergerakan	Cek yang dilakukan per-langkah dari orang terhadap sesuatu di depannya (jauh dari hambatan atau dekat dengan hambatan)
3	Bergerak	Orang bergerak menuju titik tujuan
4	Mengubah Arah Pergerakan (Belok)	Orang mengubah arah pergerakannya dengan arah sudut tertentu saat menemui hambatan batas dinding, hambatan di tengah perjalanan, atau menemui orang lain
5	Mengembalikan Arah ke Tujuan	Orang mengembalikan arah ke titik tujuan apabila melakukan belok dan jarak dari posisi belok ke titik tujuan sudah semakin jauh
6	Memperlambat Gerakan	Orang akan melakukan perlambatan apabila jarak posisi orang sudah mendekati hambatan atau orang lain
7	Mempercepat Gerakan	Orang akan melakukan percepatan apabila jarak posisi orang jauh dari hambatan atau orang lain

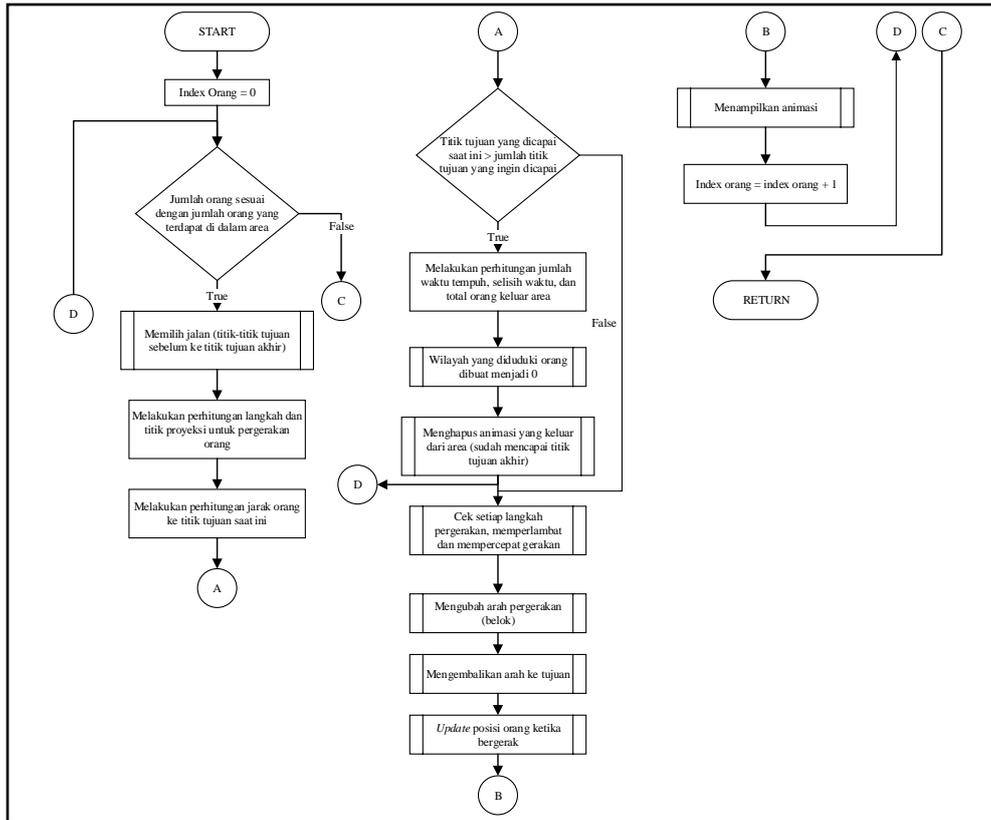
4.5 Rancangan Algoritma Simulasi

Rancangan algoritma simulasi menggambarkan perilaku masing-masing agen dengan menggunakan *flowchart*. Rancangan algoritma simulasi meliputi algoritma utama simulasi dan algoritma-algoritma untuk menggambarkan perilaku masing-masing agen. Total terdapat 13 buah *flowchart* untuk mewakili perilaku-perilaku agen. Bagian ini juga memuat rumus-rumus yang mendasari algoritma simulasi. *Flowchart* global model simulasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan salah satu *flowchart* perilaku agen yaitu perilaku agen bergerak menuju titik tujuan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Flowchart Global Model Simulasi

Model Simulasi untuk Pergerakan Manusia di Ruang Dua Dimensi dengan Pendekatan Pemodelan Berbasis Agen



Gambar 3. Flowchart Perilaku Agen Bergerak Menuju Titik Tujuan

4.6 Implementasi Rancangan Algoritma

Sistem yang telah diidentifikasi kemudian dirancang algoritma simulasi dan algoritma animasinya, diimplementasikan kedalam bahasa pemrograman dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic.net* (VB.net) 2013. Tampilan program menggunakan VB.net 2013 dapat dilihat pada Gambar 4.

```

Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
    'membaca layout wilayah msal
    Call Layout_wilayah()

    Hydrographics = No.Ruangan.Createdgraphics

    'inisialisasi posisi msal
    Call Inisialisasi_orang()

    'Call open_excel()

    deltaT = 0.5
    T = 0
    'col = 2
    tolerance = 0.9

    JumlahBerkutuTempuh = 0
    TotalOrangKeluar = 0

    'perhitungan langkah
    Do While T < 500
        a = 0

        Do While a <= LObject.Count - 1
            wkir_L_tolerance = Math.Round((LObject(a).sdest - (tolerance / 2)), 5)
            skanan_tolerance = Math.Round((LObject(a).sdest + (tolerance / 2)), 5)
        
```

Gambar 4. Tampilan Program Model Simulasi Keseluruhan Pada Program VB.net 2013

5. PENGUJIAN MODEL DAN ANALISIS

5.1 Pengujian Model

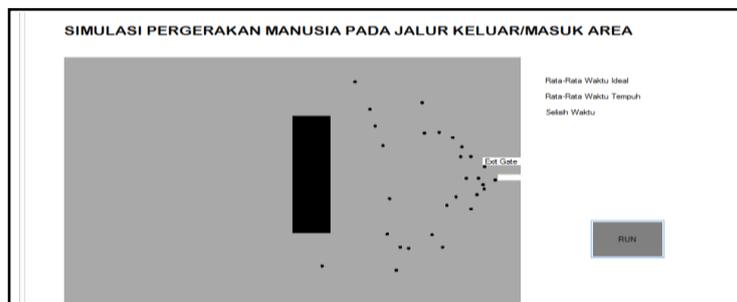
Pengujian model dilakukan untuk mengetahui apakah konsep dan rancangan model dapat digunakan untuk merepresentasikan contoh-contoh kasus di dunia nyata yang dimodelkan. Pengujian model dilakukan dengan membuat beberapa skenario simulasi untuk mengecek logika-logika yang telah dikembangkan kemudian dilakukan analisis terhadap skenario simulasi.

Skenario 1 dibuat untuk menguji perilaku-perilaku dasar sistem dalam model. Skenario 2 dibuat untuk menguji model dengan jumlah orang yang lebih banyak. Skenario 3 untuk menguji model yang memiliki fasilitas keluar/masuk yang dilewati dari dua arah. ΔT adalah nilai selang waktu simulasi dan $step_q$ adalah lama waktu reaksi seseorang untuk mengubah arah. Dalam skenario awal, akan ditampilkan beberapa pengujian dengan simulasi menggunakan $\Delta T = 0,5$ detik dan $step_q = 1,5$ detik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Skenario Pengujian Model dan Hasil Pengujian Model

Pengujian Model	Keterangan	Hasil Perilaku	Waktu Ideal (detik)	Waktu Tempuh (detik)	Selisih Waktu (detik)	WT (detik)	SW (detik)	WT (detik)	SW (detik)	WT (detik)	SW (detik)
Skenario 1a	- Simulasi dilakukan untuk 3 orang - Ukuran pintu sempit - Titik tujuan masing-masing orang sama (1 titik) - Tidak terdapat halangan di dalam area	- Orang melakukan belok karena jalannya terhalang oleh orang lain - Terjadi sedikit antrean di pintu keluar	16,382	18,167	1,785	18,167	1,785	17,833	1,452	17,833	1,452
Skenario 1b	- Simulasi dilakukan untuk 3 orang - Ukuran pintu lebar - Titik tujuan masing-masing orang berbeda-beda (terdapat beberapa titik di pintu keluar) - Tidak terdapat halangan di dalam area	Tidak terjadi orang terhalangi jalannya oleh orang lain dan tidak terjadi antrean di pintu keluar	16,364	16,5	0,136	16,5	0,136	16,25	-0,114	16,25	-0,114
Skenario 1c	- Simulasi dilakukan untuk 3 orang - Ukuran pintu lebar - Masing-masing orang akan memilih titik tujuan di pintu keluar yang memiliki jarak terdekat dengan posisinya saat ini - Tidak terdapat halangan di dalam area	- Orang melakukan belok karena jalannya terhalang oleh orang lain - Orang mencari titik tujuan terdekat dengan posisinya saat ini - Tidak terjadi antrean di pintu keluar	16,381	18	1,619	17,667	1,285	17,583	1,202	17,167	0,785
Skenario 2a	- Simulasi dilakukan untuk 30 orang - Ukuran pintu sempit - Titik tujuan masing-masing orang sama (1 titik) - Terdapat sebuah halangan di dalam area	Terjadi antrean panjang di pintu keluar	53,465	68,1	14,635	-	-	-	-	-	-
Skenario 2b	- Simulasi dilakukan untuk 30 orang - Ukuran pintu lebar - Masing-masing orang akan memilih titik tujuan di pintu keluar yang memiliki jarak terdekat dengan posisinya saat ini - Terdapat sebuah halangan di dalam area	Tidak terjadi antrean panjang di pintu keluar seperti yang terjadi pada skenario 2a	53,222	60,85	7,628	-	-	-	-	-	-
Skenario 3	- Simulasi dilakukan untuk 6 orang - Ukuran pintu lebar - Masing-masing orang akan memilih titik tujuan di pintu keluar yang memiliki jarak terdekat dengan posisinya saat ini - Terdapat beberapa halangan di dalam area - Luas area lebih luas dari skenario 1 dan skenario 2	- Terjadi perlambatan gerakan dan sedikit antrean di area yang menyempit - Tidak terjadi antrean di pintu keluar - Adanya interaksi antara orang-orang yang arahnya berlawanan	103,998	110,750	6,752	-	-	-	-	-	-

Salah satu contoh tampilan animasi skenario dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Animasi Perilaku Sistem Skenario 2a

Pengujian juga dilakukan dengan mengubah ΔT menjadi 0,25 detik, tujuannya untuk melihat pengaruh perubahan nilai selang waktu simulasi terhadap model, dan $step_q$ menjadi 0,5 detik, tujuannya untuk melihat pengaruh perubahan lama waktu reaksi seseorang untuk mengubah arah terhadap model. Pengubahan nilai ini hanya dilakukan pada skenario 1 karena hanya untuk melihat hasil perilaku-perilaku model akibat perubahan parameter-parameter tersebut. Perhitungan rata-rata persentase perbandingan waktu tempuh $\Delta T=0,5$ dengan $\Delta T=0,25$ dilakukan untuk melihat besar perubahan waktu tempuh terhadap ΔT . Hasil pengubahan nilai dan hasil rata-rata persentase tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengubahan Nilai $\Delta T = 0,25$ dan $Step_q = 0,5$ dan Hasil Rata-Rata Persentase Perbandingan Waktu Tempuh $\Delta T = 0,5$ dengan $\Delta T = 0,25$

Pengujian Model	$\Delta T = 0,25$			
	$step_q = 1,5$		$step_q = 0,5$	
	WT (detik)	SW (detik)	WT (detik)	SW (detik)
Skenario 1a	17,833	1,452	17,833	1,452
Rata-Rata Persentase Perbandingan WT $\Delta T = 0,5$ dengan $\Delta T = 0,25$	1,8%			
Skenario 1b	16,25	-0,114*	16,25	-0,114*
Rata-Rata Persentase Perbandingan WT $\Delta T = 0,5$ dengan $\Delta T = 0,25$	1,5%			
Skenario 1c	17,583	1,202	17,167	0,785
Rata-Rata Persentase Perbandingan WT $\Delta T = 0,5$ dengan $\Delta T = 0,25$	2,3%			

*Terjadi selisih nilai minus(-) akibat adanya daerah toleransi sehingga orang dianggap keluar lebih cepat walaupun belum benar-benar melewati titik batas keluar ruangan. Nilai toleransi ini merupakan suatu ukuran daerah yang dijadikan acuan dalam pencapaian titik tujuan setiap orang.

5.2 Analisis

Analisis mengenai model simulasi, baik secara perhitungan ukuran performansi maupun secara animasi, sudah menghasilkan keluaran yang baik dan sesuai dengan kasus-kasus di dunia nyata (masuk akal). Analisis yang dilakukan adalah analisis terhadap desain pintu keluar dengan hasil bahwa desain pintu yang lebih lebar memiliki waktu tempuh lebih cepat dan tidak terjadi antrean di pintu dibandingkan dengan pintu yang sempit, analisis terhadap desain ruangan dengan hasil bahwa semakin luas ruangan maka waktu tempuh yang dibutuhkan semakin besar, dan semakin banyak orang di dalam ruangan, semakin banyak perilaku berbelok dan memilih jalan.

Selain itu juga dilakukan analisis terhadap nilai waktu simulasi (ΔT) dengan hasil waktu tempuh dengan $\Delta T = 0,5$ memiliki nilai lebih besar dari waktu tempuh dengan $\Delta T = 0,25$, waktu simulasi dengan $\Delta T = 0,25$ lebih lama dari $\Delta T = 0,5$, dan persentase perbandingan waktu tempuh menunjukkan bahwa hanya terjadi sedikit perubahan sehingga simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan $\Delta T = 0,5$ atau $\Delta T = 0,25$. Analisis terhadap nilai waktu reaksi ubah arah ($step_q$) dengan hasil ukuran performansi $step_q = 1,5$ detik memiliki waktu lebih lama dibandingkan dengan $step_q = 0,5$.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dalam makalah ini adalah makalah ini telah menghasilkan suatu model simulasi yang dikembangkan dari konsep pemodelan berbasis agen untuk pergerakan manusia di ruang dua dimensi. Berdasarkan pengujian model dan verifikasi yang telah dilakukan, model simulasi dapat merepresentasikan contoh-contoh kasus di dunia nyata, model yang dihasilkan bersifat generik, bukan merupakan studi kasus, sehingga dapat digunakan untuk kasus-kasus sejenis lainnya dengan mengadaptasi model tersebut sesuai kondisi sistem yang akan dimodelkan.

6.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melibatkan proyeksi gerakan orang lain terhadap kewaspadaan orang saat bergerak.
2. Contoh-contoh kasus berdasarkan data aktual, baik dari desain fasilitas, maupun atribut-atribut setiap orang.
3. Perilaku orang bergerak menyusul orang lain.
4. Logika yang lebih kompleks dan sesuai dengan perilaku orang di dunia nyata dalam memilih alternatif-alternatif tujuan (dalam bidang yang kontinu), tidak hanya sekedar berdasarkan jarak terdekat.

REFERENSI

Borshchev & Fillipov, 2007, *From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Technique, Tools, Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society (No.22)*, Oxford, England.

Buede, D. M., 2009, *The Engineering Design of Systems: Models and Methods 2nd Edition*, Canada, Wiley.

Daellanbach, H. G., & McNickle, D. C., 2005, *Management Science: Decision Making Through Systems Thinking*, Christchurch, Palgrave Macmillan.

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sturrock, D. T., 2007, *Simulation With Arena 4th Edition*, North America, McGraw-Hill.

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

North, M. J., & 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.

Smith, J. L., & Brokaw, J. T., 2008, *Agent-Based Simulation of Human Movements During Emergency Evacuation of Facilities, Structures Congress 2008*, Applied Research Associates Inc, USA.