

Simulasi Kerumunan dengan Integrasi *Belief-Desire-Intention (BDI) Reasoning* dalam *Agent-Based Model System* Untuk Pengujian Kelayakan Jalur Evakuasi Pada Gedung

¹Dea Taradipa Ardiagianti, ²Jondri, ³Anditya Arifianto

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom

¹deataradipa@gmail.com,

Abstrak

Simulasi untuk pengujian jalur evakuasi pada gedung merupakan hal yang penting, perancangan denah gedung harus diperhatikan dengan baik untuk menekan angka korban cedera maupun korban jiwa jika terjadi situasi darurat, baik yang disebabkan oleh *natural cause* maupun *unnatural cause*. Simulasi evakuasi ini dapat dilakukan dengan banyak metode, salah satu metode yang sering digunakan adalah *Agent-Based Model System (ABMS)*. Namun, performansi dari metode ini masih dinilai kurang karena *ABMS* merupakan suatu sistem tertutup yang belum mampu beradaptasi dengan keadaan lingkungannya, hanya berfokus pada eksekusi aksi dan *low level processing*. Pengintegrasian *BDI* merupakan salah satu cara untuk meningkatkan performansi serta akurasi dari *crowd simulation*. *BDI* menambahkan tiga aspek berupa *belief* (kepercayaan/keyakinan), *desire* (keinginan), dan *intention* (tujuan) sehingga diharapkan setiap agen dalam simulasi tidak hanya mampu mengeksekusi aksi saja, namun juga melakukan *high-level processing* dalam pengambilan keputusan sehingga perilaku agen dapat mendekati perilaku manusia di dunia nyata.

Kata kunci: evakuasi, *crowd simulation*, *Agent-Based Modeling System (ABMS)*, *BDI reasoning*

Abstract

Simulation for a feasibility testing of a building's evacuation path is important, the design of the building must be considered properly to reduce the number of casualties and fatalities in the event of an emergency situation, whether it is caused by natural or unnatural cause. This evacuation simulation can be done by using many methods. A method that is frequently used is Agent-Based Model System (ABMS). However, the performance of this method is still considered low because ABMS is a closed system that has not been able to adapt to environmental conditions, this method only focuses on the execution of action and has a low-level processing. Integrating Belief-Desire-Intention Reasoning (BDI) into ABMS developed is one way to achieve better performance and accuracy in crowd simulation. BDI adds three aspects in the form of belief (trust / faith), desire, and intention (purpose), it makes every agent in the simulation environment is not only able to execute actions, but also perform high-level processing in decision making so that the behavior of agents can mimic human behavior in the real world.

Keywords: *evacuation, crowd simulation, Agent-Based Modeling System (ABMS), BDI reasoning*

1. Pendahuluan

Jalur evakuasi adalah jalur khusus yang dibuat untuk menghadapi situasi darurat atau berbahaya. Pada implementasinya perancangan jalur evakuasi merupakan salah satu hal penting yang tidak boleh dibuat dengan sembarangan dalam proses pembangunan sebuah gedung. Kesalahan perancangan jalur evakuasi dapat berakibat fatal ketika situasi darurat benar-benar terjadi.

Metode simulasi yang saat ini banyak digunakan adalah *Agent-Based Model*

System, yaitu simulasi yang berorientasi fisika dengan menghitung gaya yang bekerja pada masing-masing agen untuk menentukan arah gerakannya. Namun, metode ini ternyata memiliki kekurangan pada sudut pandang filosofi agennya untuk dapat lebih berperilaku dan bertindak seperti manusia. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan diterapkan integrasi *Belief-Desire-Intention (BDI)* ke dalam *ABMS* dengan *BDI* sebagai pengeksekusi proses *reasoning* dan *decision making*. Integrasi *BDI* dalam simulasi

evakuasi keadaan darurat dinilai dapat memodelkan kerumunan dengan tingkat kemiripan yang tinggi dengan perilaku manusia sebenarnya karena adanya penambahan tiga aspek ke dalam masing-masing *agent*/individu yaitu *belief* (kepercayaan/keyakinan), *desire* (keinginan), dan *intention* (tujuan) dalam penentuan pergerakannya.

2. Agent-Based Model System

Agent-Based Model System merupakan salah satu metode *crowd simulation* yang saat ini banyak digunakan. ABMS adalah sekumpulan *autonomous* dan *intelligent agent* yang masing-masing memiliki karakteristik seperti jenis kelamin, usia, gerakan, ukuran tubuh, dan kecepatan berjalan. Karakteristik ini dapat berubah seiring dengan perubahan keadaan *agent* serta kondisi *environment*-nya [4]. Karena

setiap *agent* memiliki karakteristik masing-masing yang berbeda satu sama lain, *agent-based model* memiliki tingkat kemiripan tinggi dengan kondisi manusia sebenarnya [1].

3. Belief-Desire-Intention

Konsep *BDI* pertama kali diajukan pada tahun 1987 oleh Michael E. Bratman. *BDI* merupakan sebuah tipe *practical reasoning* yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan mengenai aksi apa yang akan dilakukan *agent* untuk mencapai tujuan. Pada *practical reasoning* terdapat dua proses penting; *deliberation* dan *means-end reasoning*. *Deliberation* adalah proses penentuan tujuan apa yang ingin dicapai, keluaran dari proses *deliberation* adalah *intention* (tujuan). Sedangkan *means-end reasoning* adalah proses penentuan bagaimana atau dengan cara apa *intention* akan dieksekusi, dengan keluaran berupa *plan* (rencana).

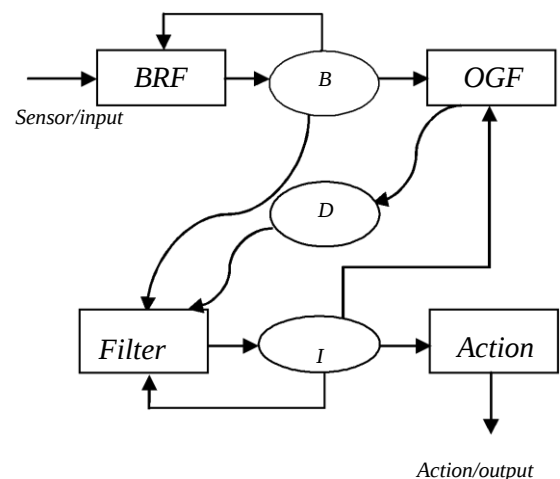
BDI terdiri dari beberapa komponen [10], yaitu:

- *Current Beliefs (B)*, merepresentasikan informasi yang diyakini oleh *agent* pada saat itu mengenai keadaan dari *agent* itu sendiri serta kondisi *environment*-nya
- *Desires (D)*, merepresentasikan aksi apa saja yang mungkin akan *agent* lakukan
- *Intentions (I)*, merepresentasikan fokus atau tujuan *agent* yang akan dicapai
- *Belief revision function (BRF)*, mengambil input berupa persepsi *agent* mengenai

keadaan di sekitarnya dan digabungkan dengan *current belief* untuk membentuk *belief* yang baru

- *Option generation function (OGF)*, menentukan opsi-opsi aksi yang mungkin dilakukan oleh *agent* berdasarkan *agent's current beliefs* dan *agent's current intentions*, fungsi ini menggabungkan keduanya untuk membentuk *desires*
- *Filter function (filter)*, menghasilkan *intentions* baru dari *current beliefs*, *desires* dan *intentions* yang dimiliki saat itu
- *Action selection function*, menghasilkan keputusan *action* mana yang akan dieksekusi berdasarkan *intentions* hasil dari *filter function*

Arsitektur *BDI*[10]:



4. Integrasi ABMS-BDI

4.1 Implementasi ABMS

Tubuh agen serta *method*-nya didefinisikan di Repast dalam bentuk *class* Human dan *class* Door. Kedua kelas ini diletakkan dalam package body.

4.2 Implementasi BDI

Agen yang menerapkan konsep *BDI* (dalam sistem ini adalah agen Human) harus didefinisikan kapabilitasnya. File kapabilitas diletakkan dalam package brain. Adapun kapabilitas tersebut adalah sebagai berikut:

a. Assesschange/ChangeTarget.capability.xml

ml: Kapabilitas ini berisi definisi bagaimana agen *BDI* mengubah targetnya. Dalam hal ini, agen *BDI* akan mengubah target apabila agen menemukan pintu lain

- yang lebih dekat. Dalam Repast, kapabilitas ini diimplementasikan dalam *class* *SwitchTarget_NHCloserPlan.java* yang berisi rencana perubahan target. Selain itu dibuat juga *class* *SwitchTarget_TNotSeenPlan.java* untuk menangani apabila target berada di luar jangkauan penglihatan agen.
- b. **Chase/Chase.capability.xml:** Kapabilitas ini mendefinisikan bagaimana agen *BDI* bergerak ke arah pintu. Dalam Repast, kapabilitas ini diterapkan dalam *class* *ChaseDoorPlan.java*
 - c. **Find/Find.capability.xml:** File ini mendefinisikan bagaimana agen *BDI* menemukan pintu yang akan dijadikan target. Kapabilitas ini menggunakan empat rencana yaitu:
 1. **ChooseNHPlan.java:** untuk melihat keadaan sekitar tanpa memindahkan lokasi agen
 2. **GetFromColleaguePlan.java:** Jika agen gagal melihat target, agen akan berkomunikasi dengan agen yang lain untuk mendapatkan informasi lokasi pintu.
 3. **AskColleaguePlan.java:** Rencana ini dipanggil oleh *GetFromColleaguePlan.java* untuk memungkinkan komunikasi antar agen dalam menemukan lokasi pintu.
 4. **SearchPlan.java:** Ketika agen gagal mendapatkan informasi lokasi itu dari ketiga rencana di atas, agen menggunakan rencana ini untuk bergerak sendiri.

Keempat rencana di atas digerakkan oleh *FindTargetGoal* yang didefinisikan selanjutnya di *Human.agent.xml*. *FindTargetGoal* akan dieksekusi ketika agen memiliki *belief* bahwa ia belum memiliki *TargetDoor*.
 - d. **RespondRequest/RespondRequest.capability.xml:** Kapabilitas ini mendefinisikan bagaimana agen menerima permintaan daftar lokasi pintu dari rekannya. Kapabilitas ini diterapkan di Repast dengan *class* *ProvideRequestPlan.java*. *ProvideRequestPlan* dijalankan ketika ada pesan dari agen lain (didefinisikan selanjutnya di *Human.agent.xml*. Sebagai balasan, agen akan mengirimkan balasan berupa *list* pintu yang disebut sebagai *DoorListM*.
 - e. **Util/Human.agent.xml:** File ini mendefinisikan agen *BDI* human. Sebuah agen Human mengetahui beberapa informasi di bawah ini:
 - *List* dari pintu yang ada di sekitarnya
 - Pintu yang menjadi target
 - Lokasi agen itu sendiri

Human.agent.xml menjadi poin koneksi utama antar file kapabilitas (*ChangeTarget*, *Chase*, *Find*, dan *RespondRequest*). Selain itu, file ini juga mendefinisikan *Goals* dan *Messages* yang juga menghubungkan kapabilitas-kapabilitas tadi.

Dalam file kapabilitas di atas, didefinisikan juga *belief*, *percept*, serta *plan* yang akan dieksekusi oleh agen.

 - a. **Agent's Belief**
Belief yang dimiliki oleh agen ditampung oleh file *Human.agent.xml*.
 - b. **Agent's Percept**
Percepts adalah persepsi agen terhadap kondisi di sekitarnya. *Percept* ditangkap oleh agen di Repast kemudian dikirimkan ke Jadex untuk diproses.

c. *Agent's Plan*

Plan dieksekusi dengan terlebih dahulu mengakses *percepts* yang dimiliki oleh agen. Cara pengaksesan *percepts* sudah dijelaskan sebelumnya

d. *Agent's Action*

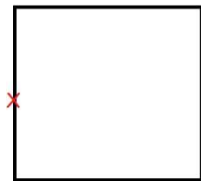
Ketika *percepts* diakses dan diproses oleh Jadex, akan dihasilkan action berdasarkan *reasoning* yang didapat dari *percept* tersebut. Kemudian action ini akan dieksekusi oleh agen di lingkungan simulasi.

5. Pengujian

5.1 Skenario Pengujian

Pengujian terhadap sistem dilakukan dengan membandingkan hasil *waktu evakuasi* dari simulasi yang telah menerapkan integrasi BDI-ABMS dengan simulasi yang hanya menggunakan ABMS. Hasil simulasi dimuat dalam tabel yang menyajikan Jumlah Manusia, Jumlah Pintu, Penempatan Agen, serta Rata-rata Waktu yang dibutuhkan oleh agen untuk dapat keluar dari lingkungan simulasi pada tiap percobaan. Dalam pengujian ini, satu kasus diujikan sebanyak seratus kali ($E_1, E_2 \dots E_{100}$).

- a. Denah 1 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x25 meter (persegi) dengan 1 pintu di salah satu sisinya.

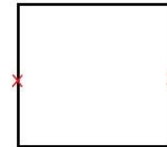


Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 1:

Tabel 0-1: Hasil Pengujian Denah 1

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	1	Random	100 s	102 s	95 s	99 s	95 s	98.2 s
50	1	Random	102 s	108 s	107 s	104 s	106 s	105.4 s
75	1	Random	110 s	99 s	103 s	106 s	110 s	105.6 s
100	1	Random	108 s	107 s	110 s	109 s	108 s	108.4 s

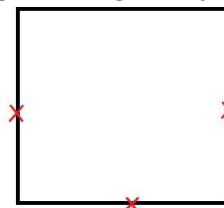
- b. Denah 2 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x25 meter (persegi) dengan masing-masing 1 pintu di dua sisi yang berseberangan.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 2:

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	2	Random	59 s	57 s	55 s	59 s	62 s	58.4 s
50	2	Random	62 s	64 s	58 s	62 s	59 s	61 s
75	2	Random	61 s	61 s	62 s	61 s	63 s	61.6 s
100	2	Random	64 s	67 s	69 s	68 s	70 s	67.6 s

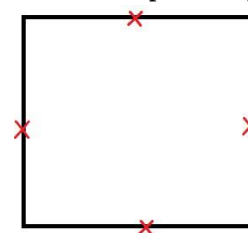
- c. Denah 3 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x25 meter (persegi) dengan masing-masing 1 pintu di tiga sisinya.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 3:

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	3	Random	49 s	56 s	59 s	49 s	52 s	53 s
50	3	Random	56 s	54 s	58 s	58 s	58 s	56.8 s
75	3	Random	66 s	64 s	58 s	57 s	57 s	60.4 s
100	3	Random	68 s	62 s	53 s	58 s	62 s	60.6 s

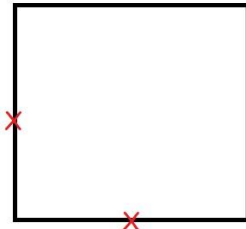
- d. Denah 4 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x25 meter (persegi) dengan masing-masing 1 pintu di keempat sisinya.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 4:

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	4	Random	43 s	47 s	46 s	44 s	40 s	44 s
50	4	Random	41 s	43 s	48 s	50 s	49 s	46.2 s
75	4	Random	47 s	48 s	44 s	50 s	46 s	47 s
100	4	Random	49 s	47 s	47 s	45 s	48 s	47.2 s

- e. Denah 5 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x25 meter (persegi) dengan masing-masing 1 pintu di dua sisi yang bersebelahan.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 5:

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	2	Random	103 s	94 s	96 s	95 s	100 s	97.6 s
50	2	Random	103 s	107 s	102 s	98 s	102 s	102.4 s
75	2	Random	102 s	102 s	98 s	104 s	106 s	102.4 s
100	2	Random	103 s	103 s	101 s	102 s	98 s	101.4 s

- f. Denah 6 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x50 meter (persegi panjang) dengan 1 pintu di salah satu sisi yang pendek.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 6:

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	1	Random	194 s	185 s	195 s	194 s	196 s	192.8 s
50	1	Random	195 s	202 s	199 s	196 s	197 s	197.8 s
75	1	Random	203 s	197 s	198 s	200 s	197 s	199 s
100	1	Random	195 s	201 s	202 s	202 s	201 s	200.2 s

- g. Denah 7 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x50 meter (persegi panjang) dengan 1 pintu di salah satu sisi yang panjang.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 7:

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	1	Random	128 s	122 s	107 s	126 s	110 s	118.6 s
50	1	Random	127 s	128 s	133 s	117 s	135 s	128 s
75	1	Random	132 s	129 s	130 s	140 s	135 s	133.2 s
100	1	Random	134 s	133 s	127 s	129 s	135 s	131.6 s

- h. Denah 8 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x50 meter (persegi panjang) dengan 1 pintu di masing-masing sisi yang pendek.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 8:

Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
25	2	Random	86 s	90 s	97 s	97 s	103 s	94.6 s
50	2	Random	103 s	105 s	104 s	102 s	105 s	103.8 s
75	2	Random	109 s	109 s	106 s	107 s	105 s	107.2 s
100	2	Random	102 s	102 s	105 s	106 s	107 s	104.4 s

- i. Denah 9 adalah gedung lantai 1 berukuran 25x50 meter (persegi panjang) dengan 1 pintu di 1 sisi yang panjang dan 1 pintu di sisi yang pendek.



Berikut merupakan hasil simulasi pada denah 9:

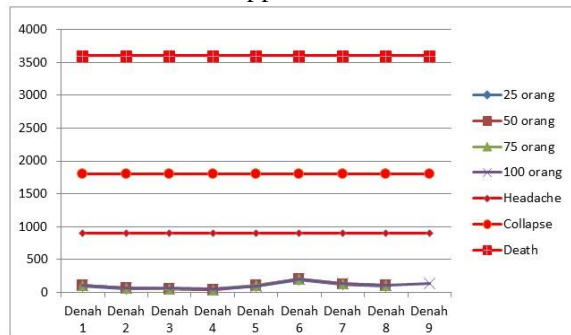
Number of Humans	Number of Exits	Human Placement	P1	P2	P3	P4	P5	Avg.
100	2	Random	133 s	136 s	123 s	132 s	134 s	131.6 s

5.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil, dapat dilakukan analisis terhadap waktu evakuasi dengan bahaya yang diinginkan. Di bawah ini adalah analisis waktu evakuasi terhadap exposure time limit dari gas berbahaya karbon monoksida.

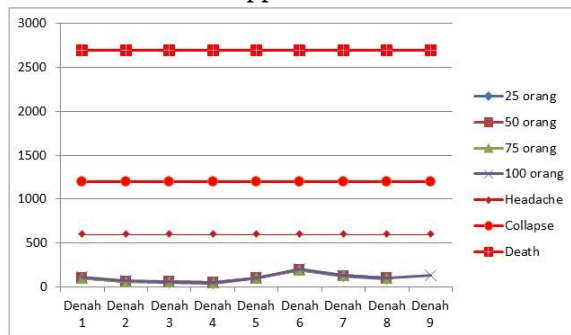
Semua garis berwarna merah menunjukkan time limit dalam sekon untuk masing-masing efek, misalnya *headache* (pusing), *collapse* (pingsan), dan *death* (kematian).

a. Kadar CO 1500 ppm



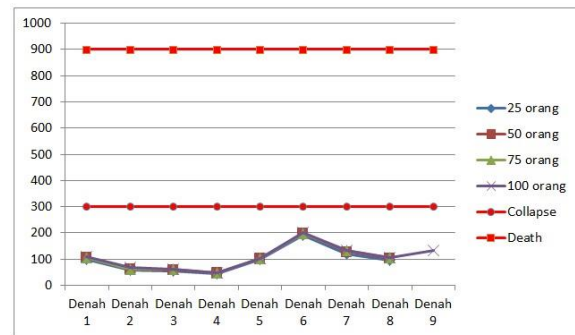
Dari grafik di atas, semua denah memenuhi kelayakan untuk evakuasi gas CO berkadar 1500 ppm karena waktu evakuasi yang dibutuhkan kurang dari *exposure time limit*.

b. Kadar CO 2000 ppm



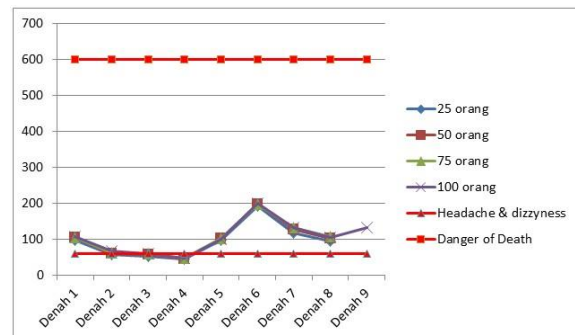
Dari grafik di atas, semua denah masih memenuhi standar kelayakan dengan waktu evakuasi kurang dari *exposure time limit*.

c. Kadar CO 3000 ppm



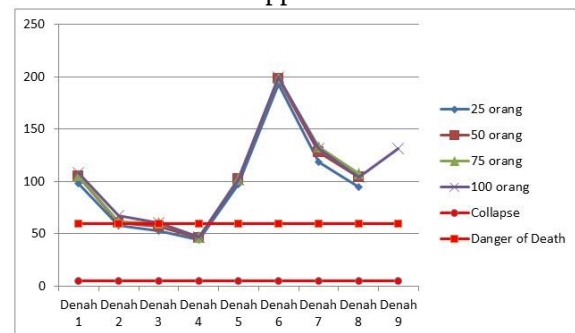
Dari grafik di atas, semua denah masih memenuhi standar kelayakan dengan waktu evakuasi kurang dari *exposure time limit* baik untuk *limit* yang menyebabkan *collapse* maupun kematian.

d. Kadar CO 6000 ppm



Dari grafik di atas, semua denah memiliki waktu evakuasi di bawah *exposure time limit* yang menyebabkan kematian, namun hanya denah 4 yang berada di bawah *exposure time limit* yang mengakibatkan manusia mengalami pusing dengan jeda waktu yang sempit.

e. Kadar CO 12800 ppm



Dari grafik di atas, semua denah tidak memenuhi kelayakan karena waktu evakuasinya lebih dari *exposure time limit* yang mengakibatkan manusia *collapse*. Dan hanya denah 3 dan 4 yang waktu evakuasinya kurang dari *exposure time limit* yang mengakibatkan

kematian, dengan jeda waktu yang sangat sedikit.

6. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Adanya integrasi BDI dapat membuat agen berpikir seperti manusia dalam memilih jalan keluar pada proses evakuasi.
- b. Integrasi BDI dalam ABMS dapat digunakan untuk menguji kelayakan jalur evakuasi gedung.

Untuk penelitian selanjutnya, beberapa hal yang perlu diperbaiki antara lain

- a. Denah gedung yang memiliki jalur evakuasi lebih rumit, tidak hanya berupa persegi dan persegi panjang, serta lebih dari satu lantai.
- b. Dapat ditambahkan objek lain, misalnya api, atau barang-barang yang jatuh akibat gempa.
- c. Dapat mengakomodasi lebih dari 100 agen manusia.
- d. Adanya penanganan terhadap *collision avoidance*.

Daftar Pustaka

- [1] Almeida, João. *Crowd Simulation Modeling Applied to Emergency and Evacuation Simulations using Multi-Agent Systems*. 2013.
- [2] Badler, Norman. 2008. *Virtual Crowds: Methods, Simulation, and Control*. Morgan & Claypool Publishers.
- [3] Banarjee, Soumya. *Emotional Ant Based Modeling of Crowd Dynamics*. 2005.
- [4] Beltaief, Olfa. *Multi-Agent Simulation model of Pedestrians crowd*. 2011.
- [5] Lee, Seungho. *Integrated human decision making model under BDI framework for crowd simulation*. 2008.
- [6] Muhdi, Rania. *Evacuation Modeling: Development, Characteristic, and Limitations*.
- [7] Padgham, Lin. *Integrating BDI Reasoning Into Agent-Based Modeling and Simulation*. 2011.
- [8] Ren, Chuanjun. *Agent-Based Modeling and Simulation on Emergency Evacuation*. 2009.
- [9] Shendarkar, Ameya. *Crowd Simulation for Emergency Response using BDI Agent Based On Virtual Reality*. 2006.
- [10] Simari, Gerardo. 2011. *Markov Decision Processes and the Belief-Desire-Intention Model: Bridging the Gap for Autonomous Agents*. Springer.
- [11] Wang, Yongwei. *Cluster-Based Partitioning for Agent-Based Crowd Simulation*. 2009.
- [12] Xiaoshan, Pan. *A Multi-agent Based Framework for the Simulation of Human and Social Behaviors during Emergency Evacuations*. 2007.
- [13] International Association of Oil and Gas Producers. *Vulnerability of Humans*. 2010.
- [14] RMIT Agents Group. *Repast-Jadex Quick Start*. 2014.