

# Pemodelan Evakuasi Pejalan Kaki di Ruang Koridor dengan Cellular Automata Studi Kasus Gempa Bumi

## *Pedestrian Evacuation Modeling in Corridor Spaces with Cellular Automata in Earthquake Case Study*

Mu'arifin<sup>1</sup>, Tri Harsono<sup>2</sup>, Ali Ridho Barakbah<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Informatika dan Komputer,  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
E-mail: <sup>1</sup>muarifin@pens.ac.id, <sup>2</sup>trison@pens.ac.id, <sup>3</sup>ridho@pens.ac.id

### **Abstrak**

Sistem Evakuasi dalam kondisi bencana adalah topik yang sangat penting untuk dikembangkan di Indonesia. Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki tingkat frekuensi terjadinya bencana cukup tinggi hal ini berkaitan dengan posisi Geografis Indonesia. Sebagai negara yang sedang berkembang penanganan ketika terjadi bencana tidak secepat negara maju. Ketika terjadi bencana jumlah korban selalu memakan jumlah korban yang cukup besar. Penting bagi Pemerintah untuk bisa memprediksi perilaku pengunjung gedung dengan kepadatan penghuni tinggi ketika terjadi Bencana Gempa Bumi untuk meminimalkan jumlah korban. Cellular Automata adalah salah satu model yang cukup sederhana dan banyak digunakan untuk memodelkan berbagai macam pemecahan permasalahan. Cellular Automata dapat digunakan untuk memodelkan pergerakan Objek. Dengan menggunakan Cellular Automata sebagai pemodelan pergerakan manusia. Pemodelan sebelumnya adalah menggunakan Ruang dan Kelas sebagai ujicoba pemodelan. Penelitian ini menggunakan ruang berkoridor sebagai tempat ujicoba. Penentuan Distribusi bobot pada Cellular Automata akan sangat memberikan pengaruh terhadap pergerakan Objek. Pada penelitian ini menggunakan penentuan titik kritis evakuasi sebagai acuan untuk menentukan distribusi bobot pada Cellular Automata. Dengan penentuan distribusi bobot ini akan dapat memberikan gambaran pergerakan manusia dalam ruangan jika terjadi bencana Gempa Bumi pada ruangan berkoridor.

Kata kunci: Gempa Bumi, Cellular Automata, Pemodelan

### **Abstract**

*Evacuation system in disaster conditions is a very important topic to be developed in Indonesia. Indonesia is one of the countries that have a fairly high frequency of disasters, this is related to Indonesia's geographical position. As a developing country, handling when a disaster occurs is not as fast as in developed countries. When a disaster occurs, the number of victims is always high. It is important for the Government to be able to predict the behavior of building visitors with high visitor density during an Earthquake Disaster to minimize the number of victims. Cellular Automata is a fairly simple model. Determination of the weight distribution on the Cellular Automata will greatly affect the movement of the object. In this study, the determination of the critical point of evacuation as a reference to determine the weight distribution in Cellular Automata is used. Determination of this weight distribution will be able to provide an overview of human movement in the room in the event of an Earthquake disaster in a corridor room.*

*Keywords: Earthquake, Cellular Automata, Modeling*

## 1. PENDAHULUAN

Sesuai dengan PP 07 Tahun 2015 yang dikeluarkan Badan Penanggulangan Bencana Nasional (BNPB) tentang Rambu dan Papan Informasi Bencana untuk meningkatkan kewaspadaan terhadap resiko bencana dalam daerah rawan bencana. Hal ini menunjukkan bahwa sangat penting mematuhi prosedur evakuasi ketika terjadi bencana. Sehingga sangat dikhawatirkan ketika terjadi bencana khususnya gempa bumi maka akan mengakibatkan banyak korban jika prosedur evakuasi bencana tidak dipatuhi. Tidak hanya faktor struktur bangunan gedung yang dapat mengakibatkan timbulnya banyak korban akan tetapi perilaku manusia ketika terjadi gempa bumi juga bisa menjadi faktor timbulnya banyak korban. Ketika terjadi bencana banyak sekali pihak yang dirugikan. Selain kerugian secara individual yang terjadi pada korban, pihak perusahaan dan pemerintah juga. Selain penanganan korban hal yang membutuhkan sumberdaya besar adalah pemulihan kondisi pasca kejadian.

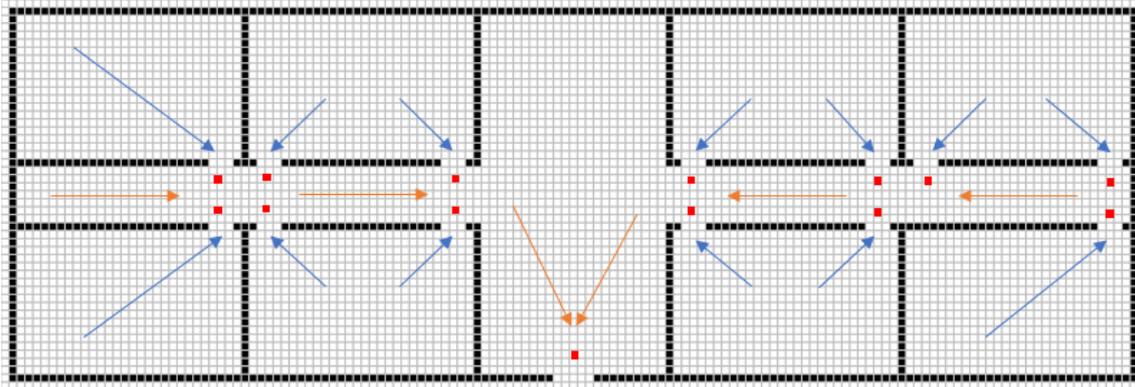
Evakuasi di dalam ruangan memiliki sebuah permasalahan tersendiri. Selain faktor dari struktur bangunan itu sendiri perilaku manusia itu sendiri juga menjadi permasalahan dalam evakuasi. Ketika terjadi bencana gempa bumi kebanyakan korban yang jatuh adalah korban didalam bangunan karena ketika korban berada didalam ruangan waktu evakuasi juga akan terbatas sebelum bangunan rusak terkena gempa bumi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan bagaimana membuat aplikasi simulasi sistem evakuasi dalam gedung berbasis perilaku manusia dalam mencari lokasi yang aman. Dapat diketahui ketika terjadi bencana khususnya gempa bumi kepanikan setiap orang pada keramaian menjadi sebuah masalah tersendiri dalam melakukan evakuasi. Penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak atau efek dari perilaku manusia khususnya perilaku kepanikan dalam sebuah sistem simulasi evakuasi dalam gedung.

## 2. METODE PENELITIAN

Cellular Automata (CA) adalah model dasar yang akan digunakan sebagai model dasar dari pemodelan sistem ini. Pemilihan Cellular Automata sebagai metode dasar karena metode ini adalah sebuah metode yang cukup banyak digunakan dalam pemodelan pejalan kaki (pedestrian). Ketika terjadi sebuah bencana khususnya dalam sebuah Gedung rasa panik yang dialami oleh korban akan menjadi sebuah permasalahan sendiri. Ketika korban mengalami kepanikan akan mengakibatkan dia sendiri menjadi korban atau dia yang menyebabkan korban lain jatuh.

Pada penelitian sebelumnya adalah menggunakan 1 ruangan sebagai model ujicoba. Keterbaruan dari penelitian ini adalah menerapkan model pembobotan yang terdistribusi ke dalam beberapa ruangan. Ruangan dapat digambarkan sebagai ruang kelas ataupun ruang fasilitas umum. Model dalam penelitian ini adalah distribusi pembobotan setiap cel adalah terdistribusi ke dalam titik kritis arah petunjuk jalur evakuasi.



Gambar 1 Model titik evakuasi

Pendekatan baru yang digunakan dalam penelitian ini adalah memberikan distribusi Bobot yang terdistribusi berdasarkan titik kritis Evakuasi. Sel yang berwarna merah adalah titik kritis evakuasi yang ditentukan. Arah tanda panah berwarna orange adalah arah distribusi bobot pada sel di ruang koridor. Perlu diketahui bahwa semakin mendekati pintu keluar maka distribusi bobot adalah semakin besar. Kemudian dari setiap ruangan distribusi boto akan mengarah kepada titik kritis evakuasi terdekat dengan arah panah sesuai dengan arah panah warna biru. Pendekatan digunakan untuk simulasi pada gedung pendidikan yang pada umumnya terdiri dari banyak kelas dan koridor. Sehingga dengan perbaikan distribusi bobot ini dapat memberikan solusi untuk sistem evakuasi dalam ruangan berkoridor.

### 2.1 Update Rule

Update Rule dalam pemodelan ini adalah sebuah aturan yang digunakan oleh setiap objek (pedestrian) dalam diskrit satuan waktu dari  $t \rightarrow t+1$ . Secara umum teknik untuk update rule ada dua yaitu secara paralel (parallel) dan sekuensial (sequential).

Dalam update rule secara paralel perpindahan semua objek dilakukan secara simultan. Ini memungkinkan terjadinya konflik antara dua atau lebih objek yang menempati tempat yang sama dalam satuan waktu time step. Dalam kondisi ini hanya objek yang menang yang berhak melakukan perpindahan. Ini kontras sekali dengan metode update rule secara sekuensial yang mana perpindahan objek dilakukan satu persatu secara sequential sehingga tidak terjadi konflik antar objek. Terjadinya konflik adalah suatu hal yang juga merepresentasikan perilaku pejalan kaki dinamis (pedestrian dynamics) maka dalam penelitian ini menggunakan update rule secara paralel Stochastic Parallel Update.

$$T = \begin{pmatrix} 0 & p_{10} & 0 \\ p_{01} & p_{11} & p_{21} \\ 0 & p_{12} & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Stochastic Paralel Update secara umum model inilah yang sering digunakan untuk memodelkan pejalan kaki dinamis. Setiap objek akan memilih cell/grid ke mana obyek akan berpindah. Setiap objek memiliki matrik T untuk melakukan perpindahan (matrix transition) yang dihitung sebagai probabilitas obyek untuk berpindah ke grid tetangga. Dalam contoh di bawah ini menggunakan bentuk ketetanggaan Von-Neumann yang mana obyek hanya dapat berpindah secara horizontal dan vertikal. Berikut langkah untuk Update Rule dengan Stochastic Paralel Update.

1. Buat matrik transisi dan normalisasi T
2. Tentukan nilai matrik transisi dari semua objek T : T11→T12→..... → T33.
3. Obyek akan berpindah pada grid tetangga Tij yang memiliki nilai terbesar. Jika ada nilai tetangga yang memiliki dua atau lebih tetangga grid yang memiliki nilai terbesar maka yang pertama muncul yang di pilih.
4. Simpan Tij pada matrik C untuk menyimpan yang terjadi konflik.

Untuk semua matrik yang terjadi konflik.

1. Cari nilai terbesar nilai matrik C.
2. Jika ada dua atau lebih objek yang memiliki nilai terbesar maka yang pertama muncul yang menang.
3. Jalankan semua objek secara paralel.

## 2.2 Floor Field Model

Pada penjelasan sebelumnya bahwa dalam pemodelan ini metode dasar yang digunakan adalah Cellular Automata yang diimplementasikan kedalam bentuk grid. Dasar dari CA adalah perpindahan objek dari grid ke grid tetangga di sekitarnya dengan aturan tertentu pada satuan waktu diskrit. Dalam aturan menentukan perpindahan objek ke grid tetangga dibutuhkan nilai dari grid tersebut sebagai acuan. Dalam pemodelan ini menggunakan pendekatan dua macam model grid yaitu static floor field dan dynamic floor field. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada penjelasan berikut.

*Static Floor Field* [1] digunakan untuk merepresentasikan tingkat pengetahuan objek terhadap pintu keluar yang biasanya dinotasikan dengan simbol S. Sehingga untuk bobot dari static floor field adalah semakin mendekati dengan pintu keluar nilai bobot akan semakin tinggi. Static floor field tidak berpengaruh terhadap keberadaan objek dan waktu. Untuk mengisi nilai dari setiap grid static floor field dapat dilakukan dengan menggunakan cara berikut.

$$\tilde{S}_{ij} = \min_l \sqrt{(x_{ij} - x_{E_l})^2 + (y_{ij} - y_{E_l})^2} \quad (2)$$

Setelah semua jarak nilai dari setiap grid telah dihitung maka akan dicari nilai maksimal dari setiap grid.

$$m := \max_{ij} \tilde{S}_{ij} \quad (3)$$

Dengan didapatkannya nilai maksimal grid maka akan dilakukan tahap berikutnya yaitu penghitungan bobot setiap grid dari static floor field dengan menggunakan persamaan.

$$S_{ij} = m - \tilde{S}_{ij} \quad (4)$$

Dengan demikian untuk static floor field telah didapatkan distribusi bobot sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu semakin mendekati pintu keluar nilai bobot akan semakin tinggi.

*Dynamic Floor Field* [1] digunakan untuk merepresentasikan interaksi antara objek (pedestrian) dan untuk dynamic floor field dinotasikan dengan D. Nilai awal dari dynamic floor field adalah 0, ketika ada sebuah objek yang meninggalkan grid(i,j) untuk berpindah ke cell tetangga maka nilai grid(i,j) akan bertambah 1.

Dengan menggunakan pemodelan dynamic floor field ini maka akan memberi efek jika sebuah cell sering dilewati oleh obyek pejalan kaki maka cell tersebut akan memiliki peluang yang lebih besar untuk dilewati oleh objek lain. Ini sangat relevan dalam proses evakuasi untuk memberikan efek saling mengikuti objek lain jika terjadi bencana, kondisi ini terkait dengan sifat panik yang memiliki kecenderungan mengikuti pejalan kaki yang lain.

Untuk dynamic floor field akan dipengaruhi oleh diffusion dan decay. Untuk diffusion dan decay dipengaruhi juga dengan probabilitas, untuk diffusion dipengaruhi dengan probabilitas  $\alpha[0,1]$ , sedangkan untuk decay dipengaruhi dengan probabilitas  $\delta[0,1]$ . Diffusion adalah proses yang mana sebuah salah satu dari cell tetangga akan bertambah nilainya 1. Decay adalah proses untuk membuat nilai dari cell menjadi 0, ini relevan dengan kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya ketika obyek meninggalkan sebuah (nilai cell bertambah 1) jejak maka jejak tersebut akan diikuti oleh objek lain yang dekat dengannya, akan tetapi dalam beberapa waktu ada kemungkinan jejak itu akan menghilang dan tidak lagi diikuti oleh objek lain.

### 2.3 Probabilitas Perpindahan

Metode dasar dari pemodelan ini adalah menggunakan Cellular Automata yang pada dasarnya metode ini bagaimana memberikan sebuah cara atau aturan untuk berpindah ke cell tetangga. Untuk merepresentasikan pergerakan pejalan kaki tentunya untuk menentukan perpindahan ke cell tetangga memiliki aturan tersendiri. Dalam penelitian sebelumnya C. Burstedde<sup>[1]</sup> memperkenalkan sebuah persamaan untuk menentukan probabilitas objek untuk bergerak ke cell tetangga dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{ij} = NM_{ij}D_{ij}S_{ij}(1 - n_{ij}) \quad (5)$$

$P_{ij}$  : Probabilitas untuk berpindah.

$N$  : Nilai Normalisasi.

$M_{ij}$  : Matrik preferences.

$D_{ij}$  : Nilai dynamics floor field pada index i,j.

$S_{ij}$  : Nilai static floor field pada index i,j.

$n_{ij}$  : Indikator untuk cel tetangga. 1 jika cell tetangga terisi objek lain dan 0 jika kosong.

### 2.4 Penelitian terkait

Penelitian yang dilakukan C. Burstedde[1] “*Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton*” adalah mensimulasikan pergerakan dan interaksi pejalan kaki. Dalam penelitiannya C. Burstedde menggunakan ruangan yang luas sebagai model untuk simulasi. Dalam penelitian yang dilakukan C Burstedde pemodelan dilakukan dalam 1 ruangan. Dalam pengembangan penelitian ini adalah dengan mengatur distribusi bobot static floor field untuk sebagai parameter pengetahuan pejalan kaki terhadap pintu keluar ataupun petunjuk evakuasi.

Penelitian yang dilakukan dengan Ansgar Kirchner[2] adalah menggunakan model Pedestrian Dynamics[1] diterapkan pada ruang kelas(satu ruang) dengan penghalang(meja). Dalam aplikasi ini adalah melakukan ujicoba apakah dengan menambahkan meja sebagai penghalang pejalan kaki dapat keluar ruangan untuk melakukan evakuasi. Pada Uji coba ini menggunakan 1 pintu sebagai tempat untuk keluar sehingga distribusi bobot sel lantai mengarah pada satu titik. Pada Uji coba ke 2 adalah melakukan optimasi dengan menambahkan 2 pintu keluar. Dengan model ujicoba ini maka distribusi bobot sel lantai adalah menjadi 2 titik, sehingga pejalan kaki akan memiliki kecenderungan untuk memilih pintu terdekat saat evakuasi.

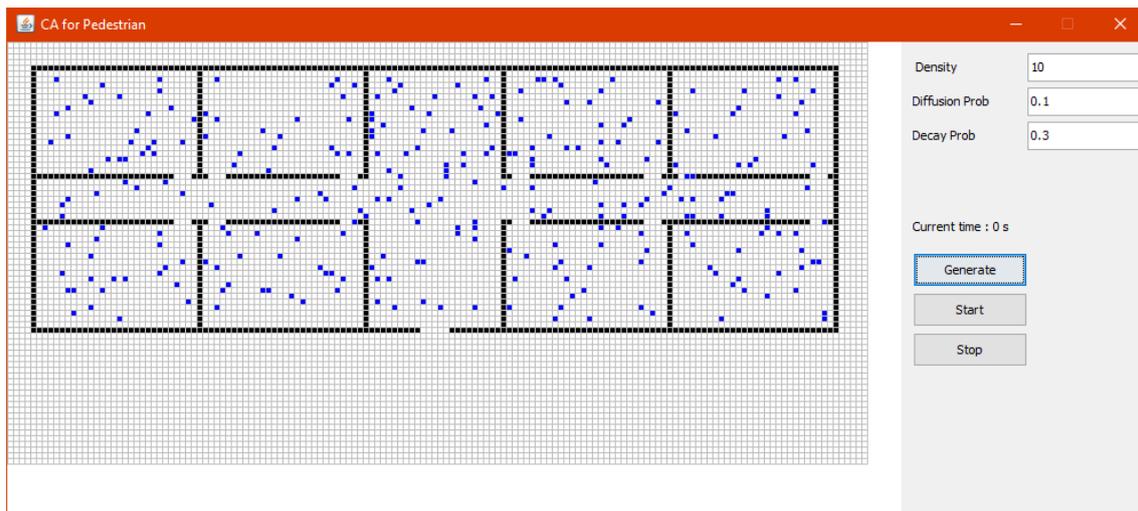
Dirk Helbing[3] melakukan penelitian terkait efek kerumunan dalam sebuah sistem evakuasi. Efek kerumunan ini bisa menyebabkan proses evakuasi terhambat karena kepadatan yang berlebihan pada titik tertentu. Dos Santos Robson F[4] melakukan penelitian peran agen dalam

sistem evakuasi. Agen bisa memberikan peran membantu percepatan dalam proses evakuasi. J Shi[13] melakukan penelitian model sistem evakuasi dalam kasus bencana kebakaran. Dalam kasus kebakaran tentu saja memiliki karakter yang berbeda dalam sistem evakuasi karena kasus kebakaran letak titik api sangat berpengaruh dalam sistem evakuasi. Penelitian yang dilakukan oleh Liu Tianyu[14], Jiayang Li[15] adalah menggunakan Fuzzy sebagai metode untuk optimasi dalam melakukan evakuasi.

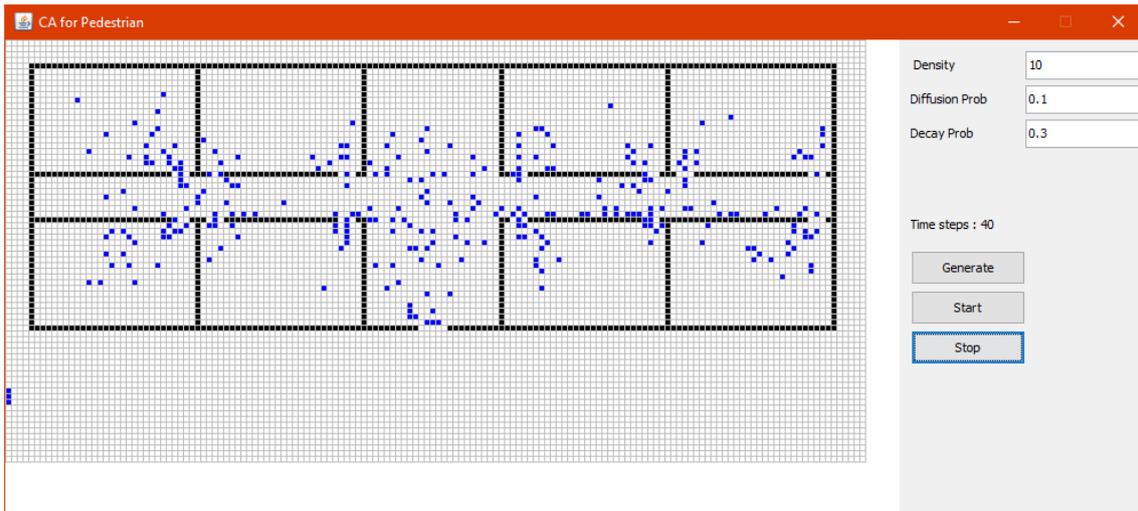
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian aplikasi dalam penelitian ini menggunakan spesifikasi komputer menengah. Dalam uji coba membutuhkan spesifikasi komputer kelas menengah karena dalam menjalankan program ini menggunakan multithreading untuk pergerakan objek secara paralel. Dengan menggunakan cara ini maka semakin banyak dan besar jumlah objek yang dijalankan kerja komputer akan semakin berat.

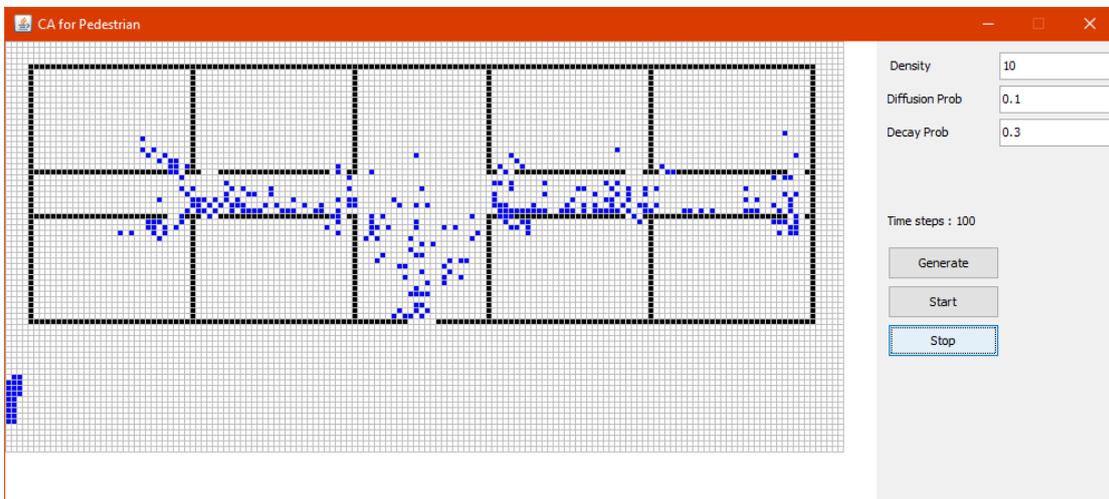
Dalam pengujian ini adalah menggunakan studi kasus ruang kerja di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya di gedung D3 lt 1. Dengan asumsi menggunakan pintu keluar Utama sebagai titik Evakuasi. Ruang kerja di Gedung D3 PENS lt 1 sangat cocok dengan model Koridor yang diajukan. Dalam Ujicoba ini menggunakan kepadatan 10 % dengan Diffusion Probability 0.1 dan Decay Probability 0.3.



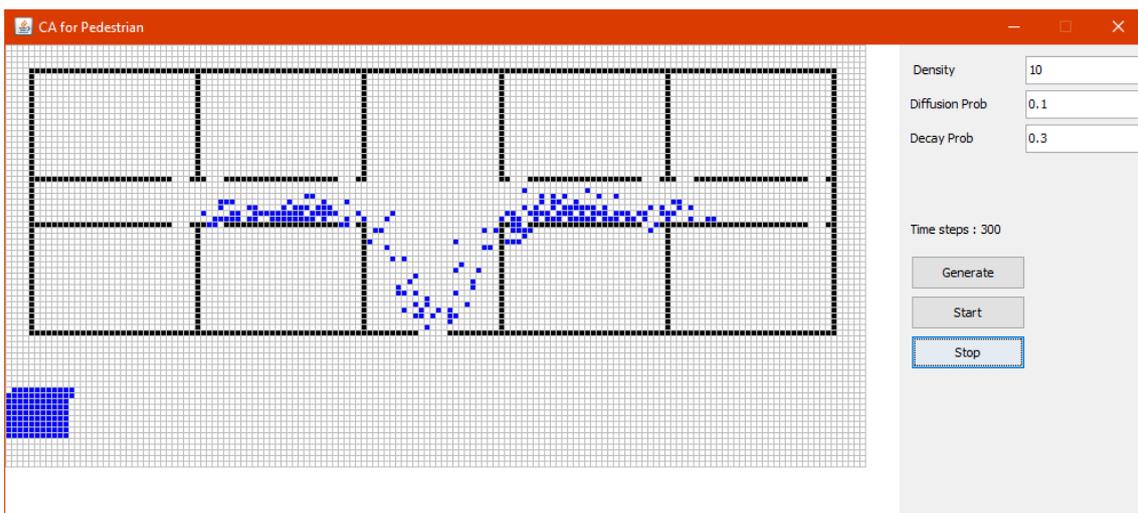
Gambar 2 Inisialisasi awal dengan kepadatan objek pejalan kaki 10%



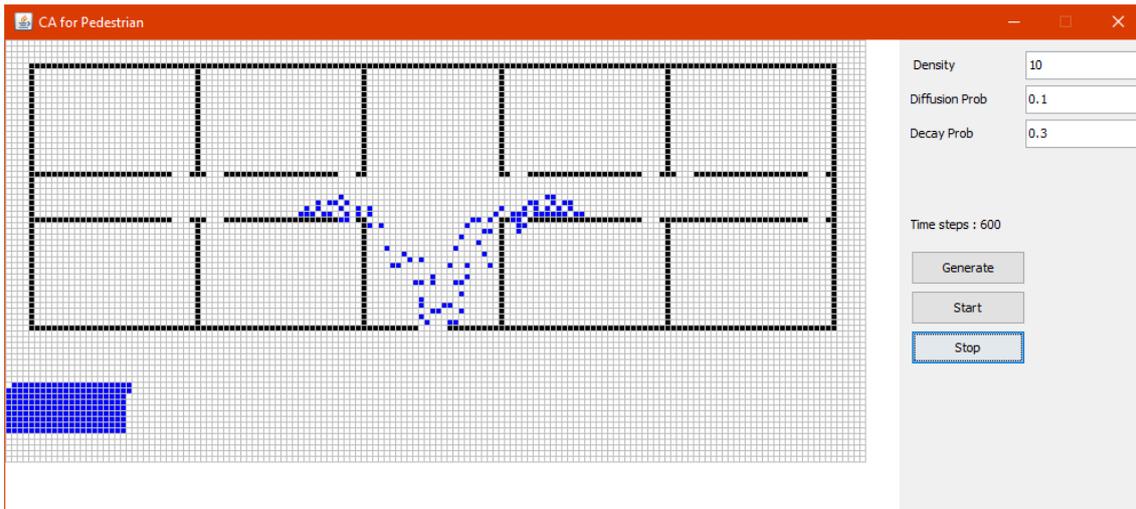
Gambar 3 Proses Evakuasi sedang berjalan pada waktu 40 time step



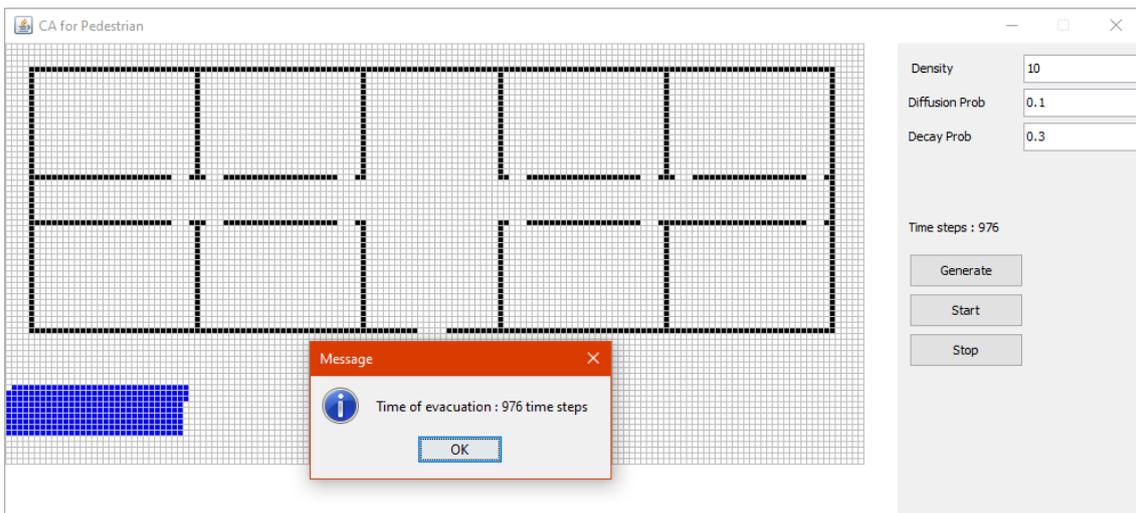
Gambar 4 Proses Evakuasi sedang berjalan pada waktu 100 time step



Gambar 5 Proses Evakuasi sedang berjalan pada waktu 300 time step



Gambar 6 Proses Evakuasi sedang berjalan pada waktu 600 time step



Gambar 7 Proses Evakuasi selesai pada 976 time step

Gambar di atas adalah hasil ujicoba dengan menggunakan aplikasi dengan kepadatan 10% dengan hasil capture berbagai macam tahapan proses dari aplikasi saat sedang berjalan. Terlihat dari tahapan saat program berjalan objek manusia berjalan ke pintu tengah sebagai salah satu pintu utama untuk evakuasi. Kondisi ini juga akan memiliki 2 kondisi dari objek pejalan kaki yaitu:

1. Pejalan kaki yang sudah memiliki pengetahuan lokasi. Objek ini adalah pejalan kaki yang sudah hafal denah lokasi misalkan pegawai yang bekerja di tempat studi kasus. Untuk objek ini rambu dan papan informasi bencana relative tidak diperlukan karena objek sudah memiliki pengetahuan ini.
2. Pejalan kaki yang belum memiliki pengetahuan dengan baik mengenai lokasi misalkan pengunjung yang baru pertama kali datang. Untuk Objek ini maka keberadaan rambu dan papan informasi bencana sangat diperlukan.

Spesifikasi dari Model dalam aplikasi di atas adalah sebagai berikut :

1. Setiap cell dari Cellular Automata berukuran  $40 \text{ cm}^2$  .
2.  $40 \text{ cm}^2$  sesuai dengan ukuran objek manusia sebenarnya.
3. Ukuran cell tersebut dapat digunakan sebagai patokan skala pada kondisi sebenarnya.

4. Kecepatan pejalan kaki adalah 1.34 m/s.

Jika dalam 1 detik kecepatan pejalan kaki normal adalah 1,34 meter. Dengan asumsi besar cell adalah 40 cm<sup>2</sup> maka dalam 1 detik pejalan kaki melakukan 3 kali langkah(time step). Detail dari perhitungan bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil eksperimen dengan berbagai macam kepadatan

NO	Density	Waktu (time step)	Waktu (menit)
1	2%	604	3
2	5%	765	4
3	10%	976	5
4	15%	1195	7
5	20%	1397	8
6	25%	1653	9
7	30%	1878	10

Data pada tabel di atas adalah hasil eksperimen dengan menggunakan berbagai macam parameter kepadatan yaitu dari kepadatan antara 2% sd 30%. Ujicoba dengan parameter kepadatan ini dapat mewakili dari keadaan yang normal sampai keadaan yang padat. Keadaan dengan kepadatan Normal misalkan seperti kondisi perkantoran tempat studi kasus ini di jalankan, keadaan padat adalah keadaan misalkan dalam pelayanan sedang padat pengunjung atau tempat perbelanjaan saat jam padat.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil eksperimen ini dapat diberikan kesimpulan bahwa dengan menggunakan Cellular Automata dan Model dari C. Burstedde[1][2] dapat digunakan untuk memodelkan pergerakan Objek Pejalan Kaki dalam kasus terjadi bencana. Dalam kasus terjadi bencana maka penempatan dari Papan dan Informasi bencana dapat diaplikasikan dengan nilai distribusi dari Static Floor Field dari Model C. Burstedde[1][2]. Pada penelitian sebelumnya adalah menggunakan ruangan sebagai tempat ujicoba. Pemodelan ini akan mendapatkan kendala jika digunakan pada tempat yang memiliki banyak ruangan. Penentuan distribusi bobot pada Cellular Automata sangat berpengaruh terhadap pengetahuan objek untuk menuju pintu keluar/titik aman evakuasi. Dengan menggunakan pendekatan menentukan titik kritis evakuasi sebagai acuan untuk menentukan distribusi bobot Cellular Automata dapat dapat memberikan solusi memberikan pengetahuan terhadap objek sehingga objek tidak terjebak(local optima).

Saran untuk penelitian ini adalah melakukan improvisasi terkait model yang telah dibuat. Karena menggunakan Static Floor Field dan menggunakan satu pintu utama sebagai jalan keluar terlihat pejalan kaki cenderung menggerombol di sebagian sisi koridor. Jika di dalam keadaan evakuasi sesungguhnya, pejalan kaki bisa memilih opsi untuk kesamping untuk mendapatkan jalan yang lebih leluasa. Ujicoba bisa dilakukan dengan menggunakan beberapa opsi pintu keluar untuk memberikan opsi kepada pejalan kaki keluar melalui pintu terdekat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Burstedde C, Klauck K. "Simulation of Pedestrian Dynamics Using a Two-dimensional Cellular Automaton", *Physica A* 295, 507–525, June 2001.
- [2] Burstedde C, Ansgar K, Kai Klauck, Andreas Schadschneider, Johannes Zittartz, Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics, "Applications, Pedestrian and Evacuation Dynamics", M. Schreckenberg and S.D. Sharma (Eds.), PP. 87 ,Springer, 2001.
- [3] D. Helbing, A. Jhohansson, "Pedestrian, Crowd and Evacuation", *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* 16, 6476-6495, 2010.
- [4] Dos Santos Robson F, Das Gracas Maria B, Born Margarethe S., "Simulating Collective Behavior in Natural Disaster Situations : A Multi Agent Approach", *Earthquake Research and Analysis*,P 436 – 460, 2012.
- [5] Cristian Pablo T, Printista marcela, Luis Marcelo E, "Evacuation Simulation using Cellular Automata", *JCS&T Vol. 7 No. 1*, 2007.
- [6] Nan GAO, Wengguo Weng, Wei MA, Shunjiang NI, Quanyi HUANG, Hong Yong YUAN, "Fire Spread Model for Old Towns Based on Cellular Automaton, *Tsinghua Science and Technology*, 13(5): 736-740, October. 2008.
- [7] Vorst Harrie C.M., "Evacuation Models and Disaster Psychology", *H.C.M. Vorst / Procedia Engineering* 3, P 15–21, 2010.
- [8] Murphy, Brown K, Sreenan C, "Problem Decomposition for Evacuation Simu-lation using Network Flow. Department of Computer Science", *IEEE/ACM*, 2012.
- [9] Nitzsche C, "Cellular Automata Modeling for Pedestrian Dynamics", *Mathematics Naturwissenschaftliche Fakultat, Universitat Greifswald, Bachelor Thesis*, 2013.
- [10] Nishinari Katsuhiko, "Extend Floor Field CA Model for Pedestrian Dynamics", *IEICE Transactions on Information and Systems E87-D(3)*, July. 2013.
- [11] Harsono Tri, "Human Behavior Based Evacuation in A Large Room Using Cellular Automata Model For Pedestrian Dynamics", *EEPIS, KCIC* 2014.
- [12] L.Z. Yang, D.L. Zhao, J. Li, and T.Y. Fang, "Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on cellular automaton". *Building and Environment*, vol. 40, no. 3, pp. 411-415, March 2005.
- [13] J. Shi, A. Ren and, C. Chen, "Agent-based evacuation model of large public buildings under fire condition". *Automation in Construction*, vol. 18, no. 3, pp. 338-347, May 2009.
- [14] Liu Tianyu, Yang Xiaoxia, & Wang Qianling. A Fuzzy-Theory-Based Cellular Automata Model for Pedestrian Evacuation From a Multiple-Exit Room. *IEEE* , 8, 106334–106345, 2020.
- [15] Jiayang Li, Changkun Luo, Xin Li, Songqi Sun, "A Simulation Model of Pedestrian Evacuation Considering the Fuzzy Visual Range by Fuzzy Cellular Automata", *Chinese Control and Decision Conference (IEEE Explorer)*, P 3788 – 3793, June. 2019.