

# Analisa Tata Letak Objek pada Ruang Koridor dengan Cellular Automata berbasis Perilaku Manusia

*Analysis of Object Layout in Corridor Space with Cellular Automata based on Human Behavior*

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

Sebuah Sistem evakuasi yang baik diharapkan dapat memberikan dampak minimalnya korban ketika terjadi bencana. Penelitian ini menganalisis dampak dari tata letak objek dalam ruangan terhadap proses evakuasi pejalan kaki. Data simulasi dari dampak objek dalam ruangan akan dilakukan analisa pengaruhnya terhadap kepanikan. Perilaku panik ini dituangkan ke dalam perubahan parameter Ks dan Kd. Simulasi pengaruh objek dalam ruangan ini dituangkan ke dalam aplikasi simulasi dengan pemetaan berbentuk koridor. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter Ks dan Kd memiliki pengaruh objek dalam melakukan evakuasi. Model dengan penghalang akan membawa pengaruh jika penghalang yang dibuat tegak lurus dengan pintu keluar. Hal ini terjadi karena perpindahan objek ditentukan dengan probabilitas perpindahan pada grid Cellular Automata.

Kata kunci: Penghalang, Panik, Perilaku, Cellular Automata, Pemodelan

## Abstract

*A good evacuation system is expected to have a minimal impact on casualties when a disaster occurs. This research analyzes the impact of indoor object layout on pedestrian evacuation process. Simulation data from the impact of indoor objects will be analyzed for its effect on panic. This panic behavior is poured into changes in Ks and Kd parameters. The simulation of the effect of indoor objects is poured into a simulation application with corridor-shaped mapping. The results of this research show that the Ks and Kd parameters have an effect on the object in evacuating. Models with obstacles will have an effect if the obstacles are made perpendicular to the exit. This happens because the movement of objects is determined by the probability of movement on the Cellular Automata grid.*

*Keywords: Obstacles, Panic, Behaviour, Earthquake, Cellular Automata, Modeling*

## 1. PENDAHULUAN

Langkah utama yang harus dilakukan ketika terjadi keadaan darurat misalkan kebakaran, gempa bumi dan bencana lain adalah bagaimana meminimalkan jumlah korban jiwa. Kejadian ini akan terasa dampaknya jika terjadi pada bangunan bertingkat dan struktur yang kompleks. Meskipun standar evakuasi telah dirancang dengan sangat baik untuk memberikan petunjuk kepada korban ke area yang aman, tetapi faktor kepanikan yang dari dalam individu (Faktor Internal) yang malah menghambat proses tersebut[1,2]. Rasa takut yang luar biasa memicu kepanikan yang mengakibatkan perilaku yang tidak rasional dan sulit dikendalikan[1]. Jika ini terjadi maka cenderung mengabaikan prosedur keselamatan, bertindak impulsif, dan menyebabkan jumlah korban semakin meningkat[3,4].

Sepanjang sejarah dimasa lalu kepanikan dalam evakuasi telah menyebabkan banyak tragedi, jumlah orang yang banyak dan berdesak-desakan pada jalur evakuasi telah banyak menimbulkan korban jiwa. Perencanaan evakuasi yang matang dan ketenangan dapat mengurangi kepanikan massal saat terjadi keadaan darurat. Penelitian lebih lanjut terhadap dampak kepanikan dalam sistem evakuasi perlu terus dilakukan agar tercipta strategi pencegahan jumlah korban yang baik. C. Burstedde[5] dalam penelitiannya dengan judul "*Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton*" adalah simulasi pergerakan dan interaksi pejalan kaki menggunakan Cellular Automata. Penelitian ini menentukan model dalam mencari nilai probabilitas perpindahan objek dengan menggunakan model lantai statis dan dinamis dalam menentukan bobot setiap cell/grid.

Penelitian yang telah dilakukan oleh C. Burstedde[6] dikembangkan oleh Ansgar Kirchner dan Andreas Schadschneider [6,7]. Penelitian C. Burstedde fokus pada bagaimana pejalan kaki bisa menemukan jalan keluar seperti manusia pada umumnya jika terjadi bencana. Pada penelitian Burstedde ini adalah dalam kondisi idel, maksud kondisi idel ini adalah mengesampingkan kondisi ruangan saat terjadi bencana. Ketika terjadi bencana tentu kondisi ruangan sangat memungkinkan dalam kondisi tidak ideal. Kondisi tidak ideal ini salah satunya disebabkan oleh kepanikan. Hal tersebut digunakan sebagai ide dasar oleh Ansgar Kirchner dengan menambahkan parameter ke dalam objek yaitu  $K_s$  dan  $K_d$ [6,7]. Parameter ini sangat sensitif terhadap perilaku objek evakuasi yaitu berfungsi memberikan karakter kepanikan kepada objek. Selain kepanikan kerumunan dalam sebuah sistem evakuasi juga menjadi penyebab tidak idealnya sistem evakuasi. Dirk Helbing[8] dengan penelitiannya menyimpulkan efek kerumunan dalam sebuah sistem evakuasi menyebabkan proses evakuasi terhambat karena kepadatan yang berlebihan pada titik tertentu. Dengan penambahan parameter  $K_s$  dan  $K_d$ [9,10,11] pada kombinasi tertentu dapat mewakili karakter panik dalam objek evakuasi.

Pada ruangan kosong yang ideal model evakuasi dapat berjalan menemukan titik aman evakuasi meskipun ada kekurangan dalam bentuk penghalang tertentu objek evakuasi terjebak dan lama dalam menemukan titik keluar. Hal ini disebabkan karena distribusi bobot cell yang menjadi tidak seimbang[11]. Dalam penelitian sebelumnya ruangan studi kasus adalah ideal ruangan kosong tanpa ada objek di dalamnya karena memang fokus dari penelitian sebelumnya adalah pada model perilaku kepanikan. Pada kondisi riil ruangan-ruangan tersebut terdapat objek (lemari, meja, kursi, dll) barang perkantoran yang memiliki potensi menjadi penghalang dalam proses evakuasi[12,13,14]. Hal inilah yang menjadi kesenjangan dalam penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.

Solusi model evakuasi pada ruang penghalang dengan studi kasus jumlah objek yang sangat banyak[15,16]. Tentu jika objek sangat padat dalam kondisi normal juga akan menimbulkan masalah dalam proses evakuasi[17,18]. Setiap kasus bencana tentu perilaku objek yang melakukan evakuasi akan berbeda misalkan kebakaran, tentu sumber titik api akan sangat berpengaruh terhadap proses evakuasi[19,20]. Begitu juga jika kondisi di luar ruangan misalnya pada model lalu lintas tentu model yang digunakan sebagai dasar pendekatan menyelesaikan masalah sangat berbeda[21,22]. Permasalah di dalam ruangan saat ini menarik untuk dikaji karena secara struktur bentuk layout akan lebih mudah untuk dibuat.

Emiliano menggunakan Particle Swarm Optimization untuk melakukan optimalisasi sehingga dampak kepadatan objek terhadap penghalang dapat diminimalkan. penelitian pemodelan pejalan kaki di dalam ruang berkoriidor dengan metode dasar Cellular Automata dengan judul "*Simulation of bi-direction pedestrian flow in corridor based on direction fuzzy visual field*". Fokus pada penelitian ini adalah bagaimana membuat model dengan fuzzy untuk

menentukan arah gerak pejalan kaki[23]. Dalam kondisi darurat pergerakan pejalan kaki adalah memiliki berbagai macam keberagaman. Untuk menentukan arah gerak pejalan kaki yang beraneka ragam menggunakan model direction fuzzy visual field (DFVF).

Xiao-Ting Yuan[24] melakukan penelitian pemodelan simulasi dengan model dasar Cellular Automata dengan judul "A fine grid cellular automaton model for pedestrian evacuation considering the effect of an obstacle". Fokus penelitian ini adalah membuat model simulasi pada keadaan non-darurat di dalam ruangan yang berpenghalang. Analisa yang dilakukan adalah terkait pengaruh penghalang terhadap waktu evakuasi pada skenario yang sederhana.

Penelitian yang saat ini dilakukan adalah pengembangan dari penelitian sebelumnya. Fokus pada penelitian sebelumnya adalah dampak perilaku panik pada objek evakuasi[11]. Dari hasil penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa perilaku panik memiliki dampak dalam proses evakuasi[11]. Pada kasus evakuasi tata letak objek di dalam ruangan memiliki pengaruh terhadap proses evakuasi. Pengaruh ini terjadi ketika tata letak objek tidak sesuai pada tempatnya, misalkan menutupi jalur evakuasi menuju pintu keluar terdekat, menutupi petunjuk evakuasi, banyak barang berserakan, dan sebagainya. Dalam sebuah ruangan pada umumnya seiring berjalannya waktu tanpa disadari orang yang menempati ruangan tersebut tidak menyadari bahwa dia sedang menggeser objek di dalam ruangan. Pergeseran sedikit demi sedikit ini lambat laun akan berpotensi menutup jalur evakuasi ke titik terdekat pintu keluar.

## 2. METODE PENELITIAN

Ide dasar penelitian ini adalah mengembangkan penelitian sebelumnya yaitu menganalisis dampak perilaku panik dalam ruang berkorpor dengan menambahkan objek sebagai penghalang di dalam ruangan. Penelitian sebelumnya studi kasus yang digunakan adalah ruangan dalam keadaan kosong tanpa penghalang. Tujuan penelitian sebelumnya adalah menguji efektivitas model kepanikan dalam evakuasi ruangan kosong dan hasilnya membuktikan berhasil.

### 2.1 Model

Model Sistem evakuasi pada penelitian adalah sama dengan penelitian sebelumnya (Update Rule, Model Lantai/Floor Field, dan Probabilitas Perpindahan)[5,7]. Pembaharuan dari penelitian ini adalah penambahan objek dalam ruangan sebagai penghalang, sehingga dampak dari tata letak objek simulasi dapat diketahui. Fokus dari penelitian ini adalah kepada tata letak objek terhadap perilaku panik ketika ada banyak objek penghalang di dalam ruangan dalam sebuah Sistem Evakuasi. Secara garis besar untuk model yang digunakan adalah sebagai berikut.

#### a. Update Rule

Penelitian ini menggunakan mekanisme Update Rule yang disebut Deterministic Parallel Update [5,6]. Deterministic Parallel Update adalah pemilihan cell/grid oleh objek, apakah objek berpindah atau tetap (tidak berpindah) sesuai dengan probabilitas perpindahan  $P$ . Update Rule berperan dalam menangani kasus di mana terdapat objek yang memilih sel/grid yang sama. Metode Deterministic Parallel Update adalah semua perpindahan objek sudah diprediksi, sehingga jika ada objek yang memilih sel yang sama, objek yang dieksekusi oleh program pertama akan menjadi pemenang untuk menempati sel tersebut.

#### b. Floor Field Model

Model floor field[6,9] yang digunakan dengan menggabungkan static floor field dan dynamic floor field. Dari kedua kombinasi nilai tersebut akan dijadikan nilai setiap cell/grid.

Nilai ini akan menentukan bobot probabilitas dari setiap cell yang akan ditempati oleh objek. Dynamic floor field akan dipengaruhi oleh parameter diffusion dan decay[7,10,11]. Diffusion dan decay dipengaruhi oleh probabilitas nilai. Diffusion[1] dipengaruhi oleh probabilitas  $\alpha[0,1]$ , sedangkan untuk decay[1] dipengaruhi oleh probabilitas  $\delta[0,1]$ . Proses diffusion dan Decay memiliki relevansi jejak. Jejak yang sering diikuti oleh pejalan lain nilai probabilitas semakin naik sehingga pejalan kaki lain banyak yang mengikuti jejak tersebut, sedangkan jika semakin lama jejak ditinggalkan maka jejak tersebut akan hilang dan tidak akan diikuti kembali oleh objek lain.

c. Probabilitas Perpindahan

Metode dasar dalam penelitian ini adalah Cellular Automata. Pemilihan probabilitas[5] perpindahan adalah hal yang sangat menentukan bagaimana pemodelan pejalan kaki bisa dimodelkan dengan Cellular Automata. Penelitian sebelumnya menggunakan persamaan berikut untuk menentukan probabilitas perpindahan objek ke cell/grid tetangga.

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

- $P_{ij}$  : Probabilitas untuk berpindah.
- $N$  : Nilai Normalisasi.
- $M_{ij}$  : Matrik preference.
- $D_{ij}$  : 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.

Dengan menggunakan persamaan di atas pada penelitian sebelumnya, pergerakan pejalan kaki menuju titik evakuasi di koridor dapat dimodelkan dengan menentukan titik evakuasi kritis. Penentuan titik kritis ini sebagai acuan untuk menentukan distribusi bobot Cellular Automata dapat dapat memberikan solusi memberikan pengetahuan terhadap objek sehingga objek tidak terjebak(local optima). Model Graph digunakan sebagai metode bantuan untuk menentukan titik kritis tersebut.

Pembelajaran dari studi literatur didapatkan ciri kepanikan, ciri kepanikan ini dapat direpresentasikan ke dalam model dengan mengatur nilai parameter  $K_s[5,6,7]$  dan  $K_d[5,6,7]$ . Parameter indikator kepanikan dimasukkan ke dalam model sistem evakuasi untuk memberikan karakter panik ke dalam objek[11], kemudian menambahkan penghalang dalam ruangan sehingga dapat di ketahui dampak karakter tersebut dengan kondisi ruang penuh dengan penghalang.

Semakin besar nilai  $K_s$  maka pengetahuan objek ke pintu keluar semakin baik sebaliknya jika nilai  $K_s$  semakin kecil/mendekati 0 maka objek akan cenderung melakukan pergerakan secara acak. Nilai  $K_d$  adalah menggambarkan kecenderungan saling mengikuti antar objek. Semakin besar nilai  $K_d$  maka kecenderungan objek saling mengikuti pejalan kaki lain semakin tinggi, sebaliknya jika semakin kecil nilai  $K_d$  maka kecenderungan objek saling mengikuti semakin kecil[11]. Dari penjelasan penambahan parameter sensitif di atas maka persamaan baru[7] untuk Probabilitas perpindahan adalah sebagai berikut :

$$P_{ij} = NM_{ij} \exp (Kd D_{ij}) \exp (KsS_{ij})(1 - n_{ij})$$

- $P_{ij}$  : Probabilitas berpindah.  
 $K_s$  : Parameter sensitive Static Floor Field  
 $K_d$  : Parameter sensitif Dynamics Floor Field

Semakin tinggi nilai parameter  $K_s$  akan memberikan pengetahuan kepada objek terhadap pintu keluar dan semakin rendah akan cenderung bergerak random. Dari penjelasan tersebut semakin kecil nilai  $K_s$  maka pejalan kaki akan cenderung panik dan bergerak secara acak karena mengalami kepanikan. Sedangkan semakin besar nilai  $K_d$  menggambarkan jika pejalan kaki semakin cenderung mengikuti pejalan kaki lain sehingga ini berkorelasi dengan kepanikan objek pejalan kaki.

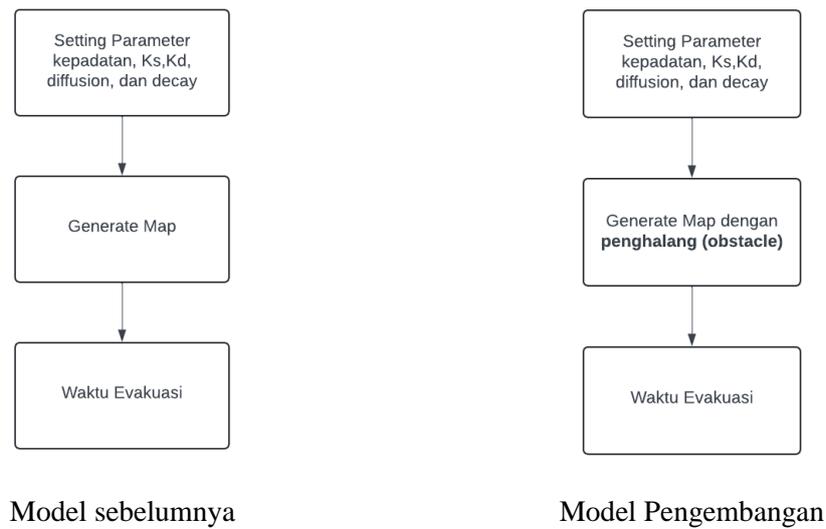
Dengan menerapkan formula di atas, karakter panik dalam objek simulasi dapat diperoleh. Pada penelitian sebelumnya, telah diuji bahwa pendekatan dengan cellular automata dapat memberikan solusi proses evakuasi[11]. Dengan menerapkan formula pada sistem evakuasi di ruangan dengan koridor, dengan penambahan objek dalam ruangan dapat memberikan analisa dampak tata letak objek dalam ruangan.

## *2.2 Objek Penghalang*

Objek penghalang adalah salah satu faktor yang penting dalam menentukan keberhasilan sistem evakuasi. Menuju titik aman terdekat adalah keharusan yang harus dilakukan oleh objek evakuasi. Jenis penghalang dalam sistem evakuasi terbagi menjadi 2 kategori. Jenis penghalang pertama adalah penghalang yang terjadi dan disebabkan oleh bencana misalkan tembok runtuh[18]. Jenis penghalang kedua adalah penghalang yang terjadi karena penataan objek sejak sebelum terjadi keadaan darurat, misal penataan meja, kursi dan objek lain yang menghalangi proses evakuasi. Pada penelitian ini adalah fokus ke analisa penghalang karena penataan sebelum keadaan darurat terjadi. Seperti kita ketahui bersama didalam ruang perkantoran misalnya, seiring berjalanya waktu penataan objek peralatan perkantoran sering terjadi tidak teratur atau berantakan[24]. Dalam kondisi normal hal ini tidak menimbulkan masalah hanya secara estetika memang tidak baik. Keadaan ini jika terjadi keadaan darurat akan menimbulkan permasalahan karena menjadi penghalang objek untuk proses evakuasi.

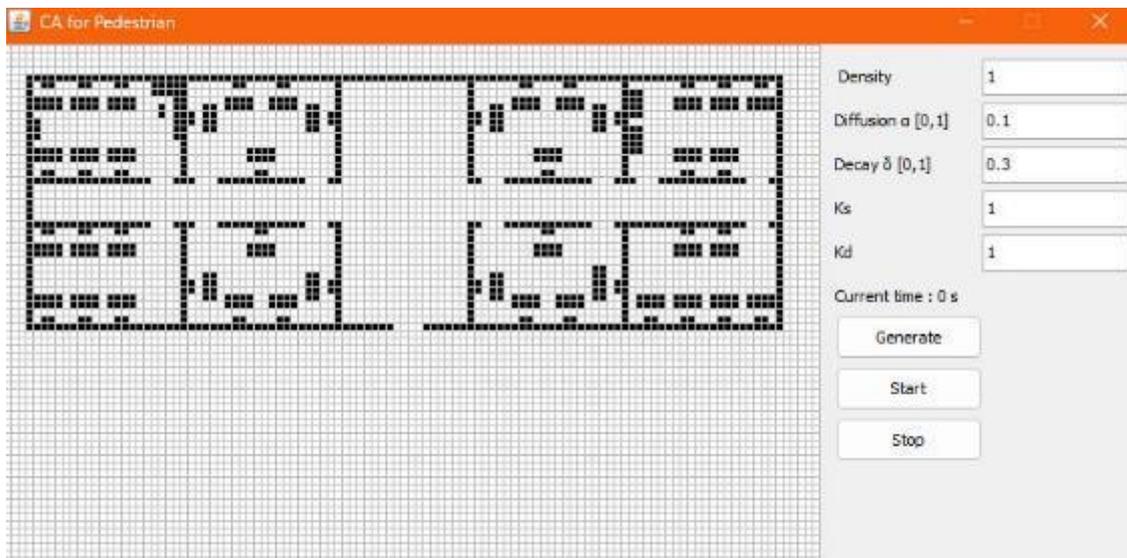
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gedung D3 Lt 1 di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya menjadi lokasi pengujian dalam penelitian ini. Lokasi ini dipilih karena bisa memberikan kemudahan dalam desain ruangan yang berbentuk simetris dan jumlah pengunjung banyak karena sebagai Unit Layanan Terpadu PENS. Pada pengujian ini akan menggunakan beberapa skenario kepadatan yang bisa merepresentasikan keadaan sebenarnya. Spesifikasi Diffusion dan Decay dibuat sama karena memang tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak kepanikan dalam ruangan berkoriidor yang direpresentasikan dalam parameter  $K_s$  dan  $K_d$ . [11]. Karena fokus pada penelitian ini adalah dampak objek penghalang maka dalam peta ruangan berkoriidor ditambahkan objek penghalang.

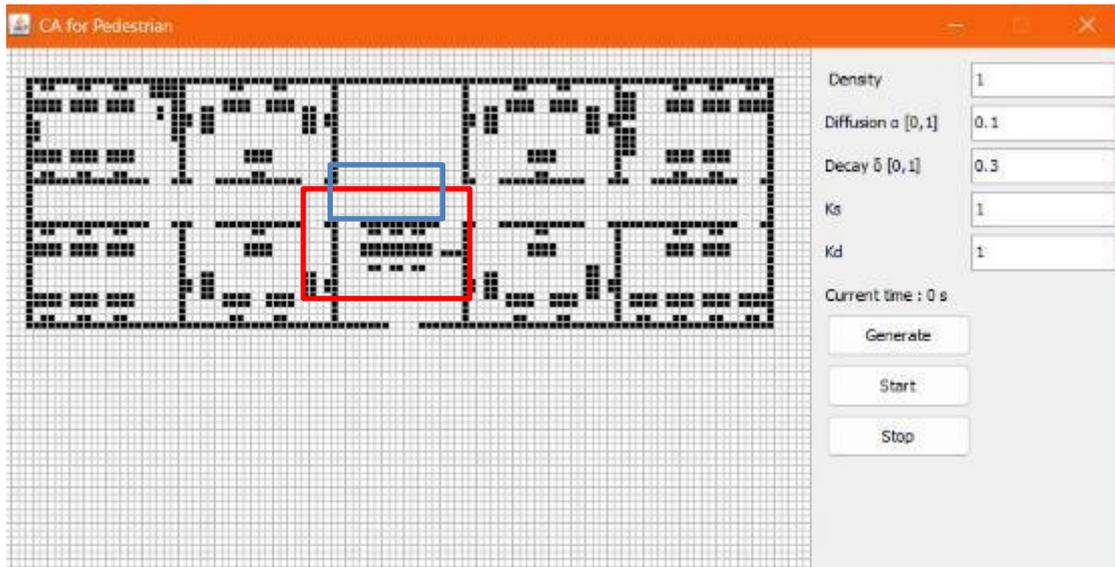


**Gambar 1.** Diagram alur proses menjalankan simulasi

Gambar 1 menunjukkan bahwa ada perbedaan ada tambahan pada tahap simulasi berjalan. Hasil pengembangan adalah penambahan penghalang ke dalam model sebelumnya. Dari hasil simulasi dengan penambahan penghalang ini akan tampak dampaknya terhadap parameter Ks dan Kd. Map hasil penambahan dengan penghalang setelah dilakukan generate map adalah seperti pada Gambar 2 berikut. Kategori map ada dua macam, kategori pertama adalah maps standar hanya penambahan penghalang secara teratur. Kategori ke dua maps ada area yang dapat menyebabkan objek evakuasi terjebak. Pengujian ini untuk mengetahui dampak dari parameter Ks dan Kd sebagai karakter pada objek evakuasi.



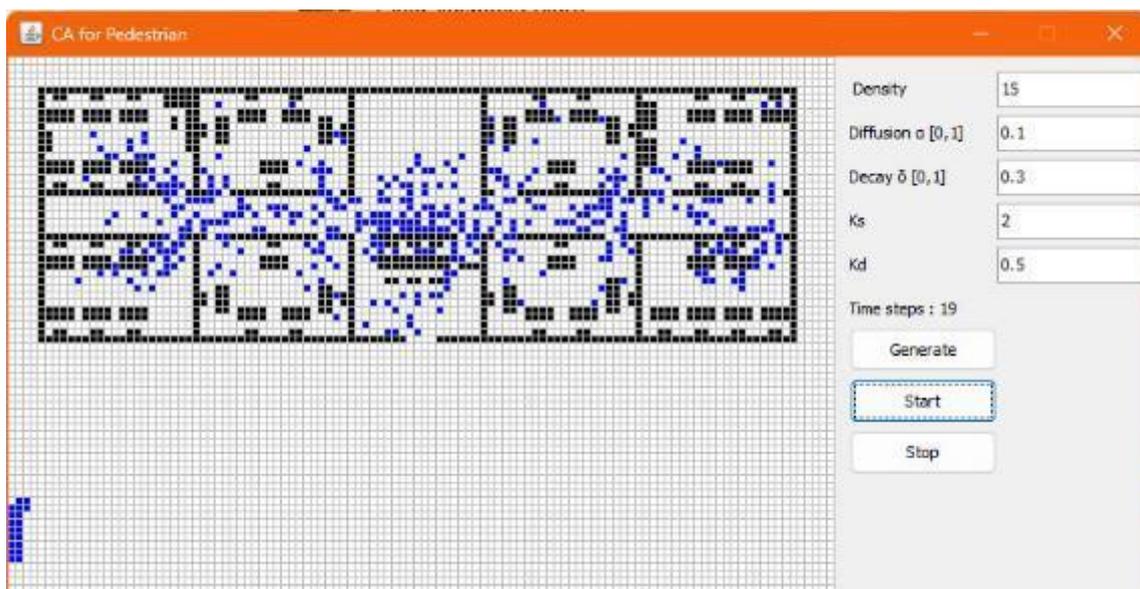
(a)



(b)

**Gambar 2.** (a) peta ruangan dengan penghalang teratur, (b) peta ruangan dengan penghalang yang dapat menyebabkan objek terjebak

Peta ruangan pada gambar 2. (a) menunjukkan penghalang yang ada di dalam ruangan penataan teratur sehingga kemungkinan untuk objek terjebak pada objek penghalang lebih kecil. Peta ruangan gambar 2. (b) menunjukkan ada penghalang yang ada di depan pintu utama yang bertanda blok merah. Pada kondisi normal seharusnya penghalang tersebut tidak memberikan halangan yang berarti. Jika ada objek saat menentukan probabilitas perpindahan mengarah ke grid pada area blok biru maka ada kemungkinan akan terjebak. Pengaruh parameter  $K_s$  adalah probabilitas grid yang dekat dengan titik kritis(pintu) akan semakin besar sehingga objek akan mengarah ke depan pintu keluar tetapi terhalang oleh penghalang.



**Gambar 3.** Contoh inisialisasi dengan  $K_s = 2$  dan  $K_d = 0.5$

Gambar di atas adalah hasil output dari penelitian dengan penambahan penghalang pada map. Penambahan parameter pada bagian blok merah ini akan masuk ke dalam formula yang akan merepresentasikan perilaku panik pada objek. Gambar 1 di atas adalah contoh inisialisasi program dengan kepadatan 15 % dan nilai  $K_s = 2$  dan nilai  $K_d 0.5$ . Pengujian ini untuk mengetahui dampak parameter  $K_s$  dan  $K_d$  pada Sistem evakuasi di ruangan ber koridor dengan penambahan penghalang yang hasilnya akan dibanding dengan penelitian sebelumnya. Spesifikasi teknis simulasi sama dengan model sebelumnya.

1. Ukuran cell Cellular automata adalah  $40\text{ cm}^2$ .
2. Ukuran objek manusia rata-rata adalah  $40\text{ cm}^2$ .
3. Besaran cell Cellular Automata merepresentasikan skala luas sebenarnya
4. Kecepatan pejalan kaki adalah  $1.34\text{ m/s}$ .

Satu detik kecepatan pejalan kaki normal adalah  $1,34$  meter. Jika besar cell adalah  $40\text{ cm}^2$  maka dalam 1 detik pejalan kaki melakukan 3 kali langkah (time step). Dalam penyajian tabel ini adalah perbandingan dengan penelitian sebelumnya

**Tabel 1.** Hasil eksperimen pada penelitian sebelumnya

NO	Density	waktu/time step (1 detik = 3 timestep)			
		Ks 0.5 Kd 0.5	Ks 1 Kd 0.5	Ks 5 Kd 0.5	Ks 10 Kd 0.5
1	2%	918	331	88	77
2	5%	952	404	108	88
3	10%	1066	508	151	136
4	15%	1256	650	216	190
5	20%	1556	799	282	227
6	25%	1637	905	349	285
7	30%	1849	1004	400	324

**Tabel 2.** Hasil eksperimen dengan menambahkan penghalang skenario peta 1

NO	Density	waktu/time step (1 detik = 3 timestep)			
		Ks 0.5 Kd 0.5	Ks 1 Kd 0.5	Ks 5 Kd 0.5	Ks 10 Kd 0.5
1	2%	804	322	88	69
2	5%	1148	368	90	81
3	10%	1179	475	134	118
4	15%	1204	644	195	166
5	20%	1291	683	232	205
6	25%	1366	852	290	240
7	30%	1703	947	337	284

Penyajian analisa tabel 1 menggunakan berbagai level kepadatan. Kepadatan ini menunjukkan kepadatan yang rasional dalam sebuah ruangan, sehingga kepadatan maksimal yang digunakan adalah 30%. Kolom pada tabel 4 -7 adalah kombinasi parameter  $K_s$  dan  $K_d$  yang dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Dari data tabel 1 hasil waktu uji coba lebih cepat dari hasil penelitian sebelumnya dengan selisih yang kecil. Waktu evakuasi lebih cepat

disebabkan banyak area yang diisi oleh objek penghalang sehingga dengan kepadatan yang sama jumlah objek lebih sedikit. Dari hasil analisa ini keadaan penghalang yang seperti pada Gambar 2 (a) tidak memiliki pengaruh terhadap waktu evakuasi karena objek dapat menghindari penghalang dengan baik.

**Tabel 3.** Hasil eksperimen dengan menambahkan penghalang skenario peta 2

N O	Density	waktu/time step (1 detik = 3 timestep)					
		Ks 0.5 Kd 0.5	Ks 1 Kd 0.5	Ks 2 Kd 0.5	Ks 3 Kd 0.5	Ks 4 Kd 0.5	Ks 5 Kd 0.5
1	2%	1582	832	607	838	728	4374
2	5%	1416	874	1393	594	652	2448
3	10%	1829	1102	792	1103	1831	4658
4	15%	2018	1220	903	1101	887	2304
5	20%	2973	1917	1320	2243	1702	1550
6	25%	2856	1728	1388	1114	1432	1662
7	30%	3007	1823	1328	1283	1361	2954

Terlihat dari tabel 2 bahwa semakin besar nilai Ks maka nilai hasil evakuasi semakin tidak teratur. Pada tabel 1 hasil waktu evakuasi terlihat teratur semakin besar level kepadatan semakin besar nilai waktu evakuasi. Dengan melihat hasil dari tabel 2 terbukti bahwa semakin besar nilai Ks (pengetahuan objek terhadap pintu keluar semakin baik) seharusnya waktu evakuasi semakin cepat tetapi tidak bisa berjalan dengan baik. Hal ini menunjukkan kekurangan model jika skenario ada penghalang yang bisa menyebabkan objek terjebak.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil eksperimen ini dapat kesimpulan bahwa model dengan menggunakan skenario peta ada penghalang ada beberapa kekurangan. Ketika objek penghalang tegak lurus dengan pintu keluar maka ada kemungkinan objek akan terjebak dan lama dalam menemukan titik keluar. Pada kasus nyata seharusnya objek bisa lari ke arah kanan atau kiri, akan tetapi karena model ini tergantung dari probabilitas transisi objek maka penentuan probabilitas transisi ini memiliki peran dalam keberhasilan model ini.

Saran untuk penelitian ini adalah melakukan perbaikan pada model dengan mengatur ulang distribusi bobot grid Cellular Automata dengan model yang lebih baik dalam memecahkan permasalahan ini

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Elektronika Negeri Surabaya yang telah memberikan kontribusi dari tempat untuk Uji Coba Lokasi Peta Ruang Gedung D3 Lt 1 Ruang Administrasi. Ucapan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada Tim Redaksi Jurnal Techno.COM yang telah mempublikasikan hasil penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nan GAO, Wengguo Weng, Wei MA, Shunjiang NI, Quanyi HUANG, Hong Yong YUAN, 2008, "Fire Spread Model for Old Towns Based on Cellular Automaton, Tsinghua Science and Technology, 13(5): 736-740, October.

- [2] Vorst Harrie C.M., 2010, "Evacuation Models and Disaster Psychology", H.C.M. Vorst *Procedia Engineering* 3, P 15–21.
- [3] Murphy, Brown K, Sreenan C, 2012, "Problem Decomposition for Evacuation Simulation using Network Flow. Department of Computer Science", IEEE/ACM.
- [4] Nitzsche C, "Cellular Automata Modeling for Pedestrian Dynamics", 2013, *Mathematisch Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Greifswald, Bachelor Thesis*.
- [5] Burstedde C, Klauck K., 2021, "Simulation of Pedestrian Dynamics Using a Two-dimensional Cellular Automaton", *Physica A* 295, 507–525, June.
- [6] Burstedde C, Ansgar K, Kai Klauck, Andreas Schadschneider, Johannes Zittartz, *Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics*, 2001, "Applications, Pedestrian and Evacuation Dynamics", M. Schreckenberg and S.D. Sharma (Eds.), PP. 87 ,Springer.
- [7] Kirchner Ansgar, Andreas Schadschneider, 2002, "Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol - 312.
- [8] D. Helbing, A. Johansson, 2010, "Pedestrian, Crowd and Evacuation", *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* 16, 6476-6495.
- [9] Nishinari Katsuhiko, 2013, "Extend Floor Field CA Model for Pedestrian Dynamics", *IEICE Transactions on Information and Systems* E87-D(3), July.
- [10] Harsono Tri, Mu'arifin, Barakbah Ali Ridho, 2014, "Human Behavior Based Evacuation in A Large Room Using Cellular Automata Model For Pedestrian Dynamics", *EEPIS, KCIC*.
- [11] Mu'arifin, Harsono Tri, Barakbah Ali Ridho, 2023, "Pemodelan Evakuasi pada Ruang Koridor dengan Cellular Automata berbasis Perilaku Manusia", *Techno.Com, Vol 22 No 4, November*.
- [12] Liu Qiuqia, Lu Linjun, Zhang Yijing, Miaoqing Hu, 2021, "Modeling the dynamics of pedestrian evacuation in a complex environment", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol 585, September.
- [13] Wang Ke, Li Yongxing, Qian Shunzhi, 2022, "Analysis of Indoor Guided Pedestrian Evacuation Dynamics in Single- and Multiple-Exit Scenarios: Toward a Unified Scheme for Guide Assignment", *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, June.
- [14] Xu Haihong, Guo Ren-Yong, Wu Pei-Yang, 2022, "Pedestrian evacuation dynamics considering information guidance", *International Journal of Modern Physics C*, Vol 34, October.
- [15] Dos Santos Robson F, Das Gracas Maria B, Born Margarethe S., 2012, "Simulating Collective Behavior in Natural Disaster Situations : A Multi Agent Approach", *Earthquake Research and Analysis*, P 436 – 460.
- [16] Cristian Pablo T, Printista marcela, Luis Marcelo E, 2007, "Evacuation Simulation using Cellular Automata", *JCS&T* Vol. 7 No. 1.
- [17] L.Z. Yang, D.L. Zhao, J. Li, and T.Y. Fang, 2005 "Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on cellular automaton". *Building and Environment*, vol. 40, no. 3, pp. 411-415, March.
- [18] Cristiani, Emiliano & Peri, Daniele, 2015, "Handling Obstacles in Pedestrian Simulations: Models and Optimization". *Applied Mathematical Modelling*. 45, December 2015.

- [19] J. Shi, A. Ren and, C. Chen, 2009, "Agent-based evacuation model of large public buildings under fire condition". *Automation in Construction*, vol. 18, no. 3, pp. 338-347, May.
- [20] Liu Tianyu, Yang Xiaoxia, Wang Qianling, 2020, "A Fuzzy-Theory-Based Cellular Automata Model for Pedestrian Evacuation From a Multiple-Exit Room. *IEEE* , 8, 106334–106345".
- [21] Tri Harsono and Kohei Arai, 2024, "Modeling Micro Traffic Flow Phenomena Based on Vehicle Types and Driver Characteristics Using Cellular Automata and Monte Carlo" *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, 15(8).
- [22] Jiayang Li, Changkun Luo, Xin Li, Songqi Sun, 2019, "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.
- [23] Shiwei Li, Qianqian Li, Ganglong Zhong et al. Simulation of bi-direction pedestrian flow in corridor based on direction fuzzy visual field, 19 June 2023, PREPRINT (Version 1) available at Research Square.
- [24] Yuan X-T, Tang T-Q, Chen L, Wang T. A fine grid cellular automaton model for pedestrian evacuation considering the effect of an obstacle. *SIMULATION*. 2023; 99 (9): 957-968.