

# Pemodelan Evakuasi pada Ruang Koridor dengan Cellular Automata berbasis Perilaku Manusia

*Pedestrian Evacuation Modelling in Corridor Spaces using Cellular Automata based on Human Behaviour*

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

Sebagai salah satu negara yang berada di garis khatulistiwa Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki potensi terjadinya bencana Gempa Bumi cukup tinggi. Pencegahan mengurangi jumlah korban adalah prioritas dalam penanganan ketika terjadi bencana, baik bencana gempa bumi maupun bencana lainnya. Korban akibat bencana gempa bumi secara umum berada di dalam gedung. Jika struktur bangunan gedung tidak dibuat dengan baik maka potensi jumlah korban akan meningkat. Salah satu cara untuk mengurangi jumlah korban akibat gempa bumi adalah membuat sistem evakuasi dengan baik. Sistem evakuasi yang baik akan bisa menjadi petunjuk pengunjung gedung ketika terjadi bencana. Sistem evakuasi tentu akan berjalan dengan baik jika didukung dengan mental dari dalam diri korban dengan baik. Salah satu penyebab dari kegagalan sistem evakuasi adalah kepanikan dari dalam diri korban. Jika korban mengalami kepanikan saat terjadi bencana maka sistem evakuasi tidak dapat berjalan dengan baik dan berpotensi meningkatnya jumlah korban. Analisa dampak kepanikan dalam sebuah sistem evakuasi juga menjadi penentu keberhasilan sebuah sistem evakuasi.

Kata kunci: panik, perilaku, gempa bumi, cellular automata, pemodelan

## Abstract

*As one of the countries on the equator, Indonesia is one of the countries that has the potential for an earthquake to occur, which is quite high. Prevention reduces the number of victims as a priority in handling when a disaster occurs. Most of the earthquake victims were inside the building. When the building structure cannot be made properly, the potential number of victims will increase. One way to reduce the number of victims is to create a good evacuation system. A good evacuation system will be able to guide building visitors when a disaster occurs. The evacuation system will certainly run well if it is supported by the mentality of the victims properly. One of the causes of the failure of the evacuation system is panic from within the victim. If victims panic when a disaster occurs, the evacuation system cannot run well and there is the potential for the number of victims to increase. Analysis of the impact of panic in an evacuation system also determines the success of an evacuation system.*

*Keywords: panic, behaviour, earthquake, cellular automata, modelling*

## 1. PENDAHULUAN

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat 80 persen dari 844 jiwa meninggal akibat bencana di Indonesia pada tahun 2022, merupakan korban gempa bumi. Fakta ini menunjukkan bahwa memang potensi jumlah korban akibat gempa bumi cukup tinggi. Pemerintah tentu saja sudah melakukan upaya pencegahan agar dampak dari bencana bisa diminimalkan. Peraturan mewajibkan gedung bertingkat untuk mengaplikasikan sistem evakuasi dengan baik telah dilakukan. Akan tetapi bagi pengunjung yang baru pertama kali datang sering sulit menemukan petunjuk evakuasi karena masih minimnya pengetahuan terhadap tempat yang

dikunjungi[1].

Pengaplikasian sistem evakuasi akan berjalan dengan baik jika didukung oleh faktor pendukung dengan baik. Akan tetapi jika terjadi bencana faktor yang tidak terduga sangat mungkin terjadi. Dalam sistem evakuasi ada 2 (Dua) kelompok faktor utama yang mempengaruhi yaitu faktor Eksternal dan faktor Internal. Faktor Eksternal adalah variabel yang mempengaruhi yang berasal dari luar individu/korban misalnya struktur bangunan, kelengkapan petunjuk evakuasi, ketinggian/jumlah lantai dll. Sedangkan faktor internal adalah yang berasal dari dalam individu korban misalnya usia, kecerdasan, kepanikan, dan lainnya.

Pada penelitian ini akan mengangkat salah satu faktor internal yang berpotensi memiliki dampak menimbulkan korban dalam sebuah sistem evakuasi yaitu kepanikan. Kepanikan adalah sesuatu yang terjadi secara alami ketika terjadi bencana[2]. Tetapi ketika panik itu berlebihan akan mengakibatkan resiko tersendiri kepada korban, misalkan petunjuk evakuasi yang seharusnya dekat dengan korban menjadi tidak bisa maksimal karena korban mengalami panik sehingga tidak menyadari bahwa ada petunjuk evakuasi di sekitarnya

Kepanikan adalah hal yang sangat krusial dalam sebuah proses evakuasi. Sebuah desain sistem evakuasi yang telah dibuat dengan baik dalam sebuah gedung akan tidak bisa berjalan dengan baik jika objek korban mengalami kepanikan [3,4]. Beberapa kondisi panik yang akan terjadi jika terjadi bencana adalah sebagai berikut :

1. Dalam situasi panik setiap individu panik akan menjadi gugup (nervous) dan mereka akan memiliki kecenderungan melakukan hal yang tidak wajar (blind action).
2. Individu panik akan bergerak lebih cepat daripada ketika dalam kondisi normal.
3. Akan terjadi kontak fisik antar individu, ini alami jika kondisi lingkungan padat.
4. Kepadatan di pintu keluar akan meningkat tajam.
5. Pergerakan untuk menghindari halangan menjadi tidak terarah.
6. Akan terjadi kepadatan dan saling berdesakan satu dengan lainnya.
7. Kepadatan dan saling berdesakan akan semakin tidak terkontrol dan inilah yang sering menyebabkan terjadinya korban.
8. Pejalan kaki yang menjadi korban akan menjadi halangan untuk keluar pejalan kaki yang lainnya.
9. Cenderung mengikuti pejalan kaki lainnya.
10. Pintu alternatif akan sering tidak berfungsi secara optimal.

Kepanikan pada seseorang pada kondisi bencana bisa menyebabkan perilaku yang tidak dapat ditebak. Jika dilihat dari sudut pandang psikologi kepanikan pada diri seseorang bisa menyebabkan yang seharusnya korban menjauhi bahaya justru malah sebaliknya yaitu mendekat atau mengarah ke bahaya. Analisa terhadap dampak kepanikan ini akan bisa memberikan analisa lebih lanjut dalam mendesain sistem evakuasi sehingga menjadi lebih baik sebagai mitigasi untuk korban yang memiliki kepanikan dalam sebuah bencana.

## 2. METODE PENELITIAN

Pemodelan pejalan kaki adalah sebagai dasar dari pemodelan analisis dampak kepanikan dalam sebuah sistem evakuasi di dalam gedung. Pada penelitian sebelumnya telah berhasil melakukan pemodelan pejalan kaki pada sebuah ruang berkoriidor. Pada Sistem evakuasi tersebut korban telah berhasil melakukan Evakuasi keluar ruangan dengan kondisi objek normal sehingga dampak ketika didalam sistem evakuasi terdapat objek yang panik akan dilakukan analisa lebih lanjut. Pembaharuan dari penelitian ini adalah menganalisa perilaku panik dalam sebuah sistem evakuasi. Untuk mendapatkan perilaku panik dalam sistem evakuasi dalam penelitian ini menambahkan parameter yang merepresentasikan karakter pada objek evakuasi.

### 2.1 Model

Pada penelitian ini Sistem evakuasi adalah sama dengan penelitian sebelumnya (Update Rule, Model Lantai/Floor Field, dan Probabilitas Perpindahan)[5,7] dengan penambahan perilaku panik pada objek evakuasi sehingga akan dapat diketahui dampaknya ketika terjadi bencana. Fokus dari penelitian ini adalah kepada Dampak perilaku panik dalam sebuah Sistem Evakuasi. Secara garis besar untuk model yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Update Rule

Update Rule yang digunakan adalah Deterministic Parallel Update[6,7,8,9] yaitu Pemilihan cell/grid oleh objek apakah objek berpindah atau tetap (tidak berpindah) sesuai dengan probabilitas perpindahan P. Hal paling krusial pada Update rule ini adalah untuk menyelesaikan ketika ada objek yang memilih pada cell/grid yang sama.

Metode penyelesaian inilah yang akan menentukan tipe dari Update Rule jika menggunakan Deterministic Parallel Update semua perpindahan adalah telah terprediksi jadi jika ada objek yang memilih cell yang sama maka objek yang di eksekusi program pertama yang memenangkan untuk menempati cell tersebut.

b. Floor Field Model

Model floor field[6,9] yang digunakan adalah sama yaitu dengan mengkombinasikan static floor field dan dynamic floor field. Dari kedua kombinasi nilai floor field tersebut akan menjadi nilai dari setiap cell/grid yang nanti akan memberikan bobot nilai probabilitas dari setiap cell untuk di tempati oleh objek. Dynamic floor field akan dipengaruhi oleh parameter diffusion dan decay[7,10,11]. Untuk diffusion dan decay dipengaruhi juga dengan probabilitas, untuk diffusion<sup>[1]</sup> dipengaruhi dengan probabilitas  $\alpha[0,1]$ , sedangkan untuk decay<sup>[1]</sup> dipengaruhi dengan probabilitas  $\delta[0,1]$ . Proses diffusion dan Decay ini adalah memiliki relevansi jejak. Jejak akan sering diikuti oleh pejalan lain semakin lama jejak ditinggalkan maka jejak tersebut akan hilang dan tidak akan diikuti kembali oleh objek lain

c. Probabilitas Perpindahan

Metode Cellular Automata adalah metode dasar dalam pemodelan ini. Pemilihan probabilitas[5] perpindahan adalah hal yang sangat menentukan bagaimana pemodelan pejalan kaki ini akan berjalan. Pada penelitian sebelumnya menggunakan persamaan (1) untuk menentukan probabilitas perpindahan objek ke cell/grid tetangga.

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

$P_{ij}$  : 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 dari penelitian sebelumnya dapat memodelkan pergerakan pejalan kaki menuju titik evakuasi dalam ruangan berkoridor dengan bantuan penentuan 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).

Dari beberapa ciri panik yang telah dipelajari dalam studi literatur, beberapa ciri sebagai indikator kepanikan akan dimasukkan ke dalam model sistem evakuasi untuk memberikan karakter panik kedalam sebuah objek sehingga dapat di ketahui dampak karakter tersebut dalam sebuah sistem evakuasi. Pada pemodelan ini dari akan melakukan penambahan parameter sensitif ke dalam persamaan sebelumnya yaitu parameter  $K_s$ [6,7] dan  $K_d$ [6,7].

Semakin besar nilai  $K_s$  maka pengetahuan objek ke pintu keluar semakin baik begitu sebaliknya jika nilai  $K_s$  semakin kecil/mendekati 0 maka objek akan cenderung melakukan

pergerakan secara Random. Nilai Kd adalah untuk menggambarkan kecenderungan untuk saling mengikuti antar objek. Semakin besar nilai Kd maka kecenderungan objek untuk saling mengikuti pejalan kaki lain semakin tinggi, sebaliknya jika semakin kecil nilai Kd maka kecenderungan objek untuk saling mengikuti semakin kecil. Dari penjelasan penambahan parameter sensitif di atas maka persamaan baru[7] untuk Probabilitas perpindahan adalah pada persamaan (2) sebagai berikut :

$$P_{ij} = NM_{ij} \exp(Kd D_{ij}) \exp(KsS_{ij})(1 - n_{ij}) \quad (2)$$

$P_{ij}$  : Probabilitas untuk berpindah.  
 $Ks$  : Parameter sensitive untuk Static Floor Field  
 $Kd$  : Parameter sensitif untuk Dynamics Floor Field

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

Dari penerapan formula di atas maka didapatkan lah sebuah karakter panik dalam objek simulasi. Pada penelitian sebelumnya hanya melakukan ujicoba bahwa pendekatan dengan cellular automata dapat memberikan solusi proses evakuasi[11]. Dengan penerapan formula pada sistem evakuasi di ruangan ber koridor maka akan bisa memberikan hasil analisa dampak perilaku panik pada sistem evakuasi.

## 2.2 Pengacuan Pustaka

C. Burstedde[6] dalam penelitiannya dengan judul“*Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton*” adalah mensimulasikan pergerakan dan interaksi pejalan kaki dengan menggunakan Cellular Automata sebagai model dasar. Penelitian tersebut menentukan model untuk mencari nilai probabilitas perpindahan objek dengan menggunakan model rantai statis dan dinamis dalam menentukan bobot setiap cell/grid.

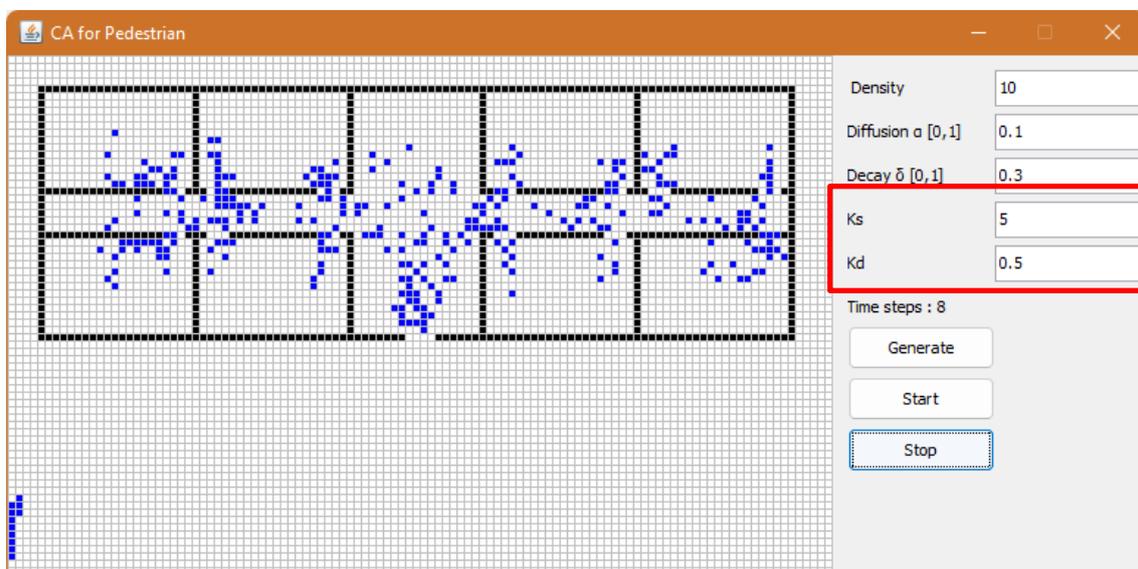
Ansgar Kirchner dan Andreas Schadschneider[6,7] melakukan penelitian dengan melakukan pengembangan dari model yang telah dibuat oleh C. Burstedde. Penelitian yang dilakukan C. Burstedde adalah hanya memodelkan pejalan kaki bisa menemukan pintu keluar untuk melakukan evakuasi dalam kondisi ideal. Sedangkan pada proses evakuasi yang sesungguhnya tentu saja banyak faktor yang menyebabkan sistem evakuasi tidak bisa berjalan dengan baik. Salah satu penyebabnya adalah kepanikan sehingga Ansgar Kirchner melakukan penelitian dengan menambahkan parameter ke dalam objek yaitu Ks dan Kd. Parameter sensitif ini berfungsi untuk memberikan perilaku tertentu kepada objek. Melalui penelitian yang dilakukan Dirk Helbing[8] melakukan penelitian terkait efek kerumunan dalam sebuah sistem evakuasi. Efek kerumunan ini bisa menyebabkan proses evakuasi terhambat karena kepadatan yang berlebihan pada titik tertentu bahwa karakter Ks dan Kd[9,10,11] tersebut dapat mewakili karakter panik dalam objek evakuasi.

Liu Qijia[12] melakukan penelitian untuk menganalisis proses evakuasi dalam kondisi kepadatan dan bentuk ruang yang ekstrim. Dalam kondisi ini perlu dilakukan analisa untuk meningkatkan keamanan proses evakuasi ketika terjadi bencana. Wang Ke[13] menganalisa bahwa keberadaan petunjuk evakuasi di dalam gedung adalah hal yang sangat penting dalam proses evakuasi. Petunjuk evakuasi adalah komponen dasar dalam sebuah gedung untuk meningkatkan keamanan dalam evakuasi. Skenario yang dicoba oleh Liu Qijia adalah menggunakan beberapa macam yaitu dengan satu pintu keluar dan lebih dari satu macam pintu keluar. Analisa pentingnya petunjuk evakuasi dalam sebuah sistem informasi juga lakukan Xu Haihong[14]. Dalam penelitiannya Hu Haihong melakukan sebuah simulasi ada agen yang

memimpin dalam sebuah evakuasi untuk diikuti oleh objek lain. Peran agen tentu juga sangat penting dalam sebuah sistem evakuasi. Peran agen bisa menurunkan kepanikan objek lain dalam sebuah sistem evakuasi. Penelitian ini akan mengangkat dampak kepanikan itu sendiri dalam sebuah sistem evakuasi karena dalam sebuah sistem evakuasi jumlah agen tentu sangat terbatas.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian ini sama dengan penelitian sebelumnya yaitu 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 tertentu dengan Diffusion Probability 0.1 dan Decay Probability 0.3. Spesifikasi ini dibuat sama supaya tahu dampak parameter Ks dan Kd dalam model sistem evakuasi yang telah dibuat.



Gambar 1. Inisialisasi awal dengan Ks = 5 dan Kd = 0.5

Gambar di atas adalah hasil output dari penelitian yaitu program simulasi berbasis bahasa Java dengan penambahan parameter pada blok merah. Penambahan parameter ini akan dimasukkan kedalam formula yang akan merepresentasikan perilaku panik pada objek. Gambar 1 di atas adalah contoh inisialisasi program dengan kepadatan 10 % dan nilai Ks = 5 dan nilai Kd 0.5. Dalam uji coba program ini adalah untuk mengetahui dampak parameter Ks dan Kd pada Sistem evakuasi di ruangan ber koridor yang hasilnya akan dibanding dengan penelitian sebelumnya. Pada model ujicoba dalam penelitian ini adalah sama[5,10,11] dengan penelitian sebelumnya. Pada hasil program yang telah dibuat ini adalah dengan penambahan input Ks dan Kd pada bagian sebelah kanan. Dalam pemodelan ini menggunakan spesifikasi pemodelan seperti berikut [11,15,16].

1. Ukuran cell pada Cellular automata adalah  $40 \text{ cm}^2$  .
2.  $40 \text{ cm}^2$  adalah ukuran nyata rata-rata objek manusia.
3. Cell pada cellular automata merepresentasikan skala 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  $40 \text{ cm}^2$  maka dalam 1 detik pejalan kaki melakukan 3 kali langkah(time step). Dalam penyajian tabel ini adalah perbandingan dengan penelitian sebelumnya. Pada penyajian tabel

kolom 3 adalah data waktu evakuasi dari penelitian sebelumnya yang menggunakan sistem evakuasi normal tanpa ada penambahan karakter pada objek evakuasi. Detail dari perhitungan bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil eksperimen dengan berbagai macam kepadatan dan nilai Ks

NO	Density	Penelitian Sebelumnya	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%	604	918	331	88	77
2	5%	765	952	404	108	88
3	10%	976	1066	508	151	136
4	15%	1195	1256	650	216	190
5	20%	1397	1556	799	282	227
6	25%	1653	1637	905	349	285
7	30%	1878	1849	1004	400	324

Penyajian pada tabel 1 adalah menggunakan berbagai macam 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 Ks dan Kd. Kombinasi ini akan menunjukkan seberapa panik dari Objek evakuasi. Pada kolom 4 – 7 parameter Ks dilakukan ujicoba dengan berbagai macam perubahan. Semakin besar nilai Ks maka waktu evakuasi semakin cepat. Hal ini menunjukkan bahwa objek evakuasi memiliki pengetahuan terhadap pintu keluar semakin baik.

Data tabel 1 adalah perbandingan dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya adalah bagaimana menentukan model yang bisa merepresentasi sistem evakuasi ketika terjadi bencana. Dengan penambahan beberapa parameter dalam penelitian ini yaitu Ks dan Kd akan bisa memberikan model perilaku kepada. Model perilaku ini adalah untuk mewakili beberapa perilaku panik dalam kejadian bencana.

Dari tabel 1 di atas memberikan perbandingan jika tanpa parameter Ks dan Kd dengan nilai Kd adalah tetap yaitu Kd = 0.5 maka waktu evakuasi lebih cepat dengan nilai Ks  $\geq 1$ . Nilai Ks  $\geq 1$  berarti telah memberikan pengetahuan yang baik kepada Objek terhadap pintu keluar. Kondisi ini berarti semakin besar nilai Ks adalah semakin kecil tingkat kepanikan seseorang karena pengetahuan objek terhadap pintu keluar adalah semakin baik. Ketika nilai Ks  $< 1$  maka kecenderungan pengetahuan Objek ke pintu keluar semakin kecil sehingga akan menimbulkan kepanikan dan waktu evakuasi yang dihasilkan juga menjadi lebih lama.

Tabel 2. Hasil eksperimen dengan berbagai macam kepadatan dan nilai Kd

NO	Density	Penelitian Sebelumnya	waktu/time step (1 detik = 3 timestep)			
			Ks 1 Kd 0.5	Ks 1 Kd 1	Ks 1 Kd 2	Ks 1 Kd 3
1	2%	604	331	476	810	1780
2	5%	765	404	510	895	1847
3	10%	976	508	849	1128	1872
4	15%	1195	650	850	1421	2237
5	20%	1397	799	1026	1620	2478
6	25%	1653	905	1242	2036	2947
7	30%	1878	1004	1374	2276	3423

Penyajian pada tabel 2 adalah menggunakan berbagai macam 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 Ks dan Kd. Kombinasi ini akan menunjukkan seberapa panik dari Objek evakuasi. Pada kolom 4 – 7 parameter Ks dilakukan ujicoba dengan berbagai macam perubahan. Semakin besar nilai Kd maka waktu evakuasi semakin lambat. Hal ini menunjukkan bahwa objek evakuasi semakin panik sehingga lebih banyak melakukan perilaku yang acak dan pengetahuan terhadap pintu keluar semakin kecil.

Data tabel 2 adalah perbandingan dengan penelitian sebelumnya. Dalam analisa ini adalah untuk mengetahui dampak nilai Kd dalam sistem evakuasi. Nilai Ks diberikan 1 supaya cukup memberikan pengetahuan kepada objek terhadap pintu keluar sehingga waktu analisa menjalankan program bisa tidak terlalu lama. Semakin besar nilai Kd maka waktu evakuasi menjadi semakin lama, dan semakin besar nilai Kd maka kecenderungan objek akan saling mengikuti objek lain semakin tinggi. Sesuai dengan ciri dari perilaku panik dalam kasus bencana yaitu Objek akan cenderung mengikuti objek lain[17,18]. Semakin panik sebuah objek akan semakin cenderung mengikuti objek lain dan berdampak waktu evakuasi semakin meningkat.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil eksperimen dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa penambahan Nilai Ks dan Kd dalam model evakuasi ini dapat merepresentasikan perilaku panik kepada Objek Evakuasi. Semakin besar nilai Ks maka pengetahuan Objek terhadap pintu keluar semakin besar dan semakin kecil nilai Ks pengetahuan objek terhadap pintu keluar semakin kecil sehingga menimbulkan kepanikan. Semakin besar nilai Kd maka objek Evakuasi akan semakin besar kecenderungan mengikuti objek lainnya dan ini berkorelasi dengan ciri perilaku panik dalam studi kasus bencana bahwa objek akan cenderung mengikuti objek lainnya[6,7,19,20]. Sehingga dari penelitian ini dapat diketahui bahwa penerapan nilai Ks dan Kd ini dapat dijadikan representasi perilaku panik dalam sebuah sistem evakuasi.

Saran untuk penelitian ini adalah melakukan pendalaman lebih lanjut terhadap kepanikan dari pemodelan penambahan parameter Ks dan Kd ini dengan keilmuan yang serumpun misalkan bidang psikologi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Elektronika Negeri Surabaya yang telah memberikan kontribusi dari tempat untuk Uji Coba Lokasi Peta Ruangan Gedung D3 Lt 1 Ruang Administrasi.

#### 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, *Mathematicsh Naturwissenschaftliche Fakultat, Universitat 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 Katsuhiro, 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", *EPPIS, KCIC*.
- [11] Mu'arifin, Harsono Tri, Barakbah Ali Ridho, 2022, "Pemodelan Evakuasi Pejalan Kaki di Ruang Koridor dengan Cellular Automata Studi Kasus Gempa Bumi", *Techno.Com*, Vol 21 No 2, Mei.
- [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] 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.
- [19] 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".
- [20] 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 Explore)*, P 3788 – 3793, June.