

Perhitungan Waktu Rute Evakuasi Darurat pada Gedung Bertingkat

Aisyah Nur Aini¹, Moch. Luqman Ashari² dan Adi Anto³

^{1,2}Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

³Program Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: ashari.luqman@ppns.ac.id

Abstrak

Abstrak. Seiring dengan meningkatnya pembangunan gedung bertingkat di Indonesia, terutama di kota-kota besar, muncul kekhawatiran akan keselamatan penghuninya karena masih banyak gedung yang belum dilengkapi dengan fasilitas keselamatan yang memadai. Hal ini menimbulkan potensi risiko tinggi apabila terjadi keadaan darurat, seperti kebakaran maupun bencana lainnya, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap aspek manajemen keselamatan bangunan serta urgensi adanya sistem rute evakuasi yang efektif. Penelitian ini termotivasi oleh kasus kebakaran di Mampang Prapatan dan saat gempa bumi di Laut Jawa, yang menyoroti pentingnya rancangan rute evakuasi gedung yang mendukung evakuasi cepat dan aman. Perhitungan dilakukan berdasarkan acuan SFPE *Handbook of Fire Safety Engineering 5th Edition*, dengan tujuan mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan selama proses evakuasi darurat berlangsung. Hasil perhitungan menunjukkan waktu evakuasi yang membutuhkan waktu lebih lama adalah pada ruangan 1 dengan melalui koridor yaitu sebesar 2,26 menit sedangkan pada rute lain yang melalui koridor 2 adalah sebesar 1,7 menit. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan oleh beberapa faktor, yaitu jumlah penghuni atau orang dalam tiap ruangan, luas tiap ruangan, dan lebar jalur yang akan dilewati.

Kata Kunci: Darurat, Evakuasi, Gedung Bertingkat

Abstract

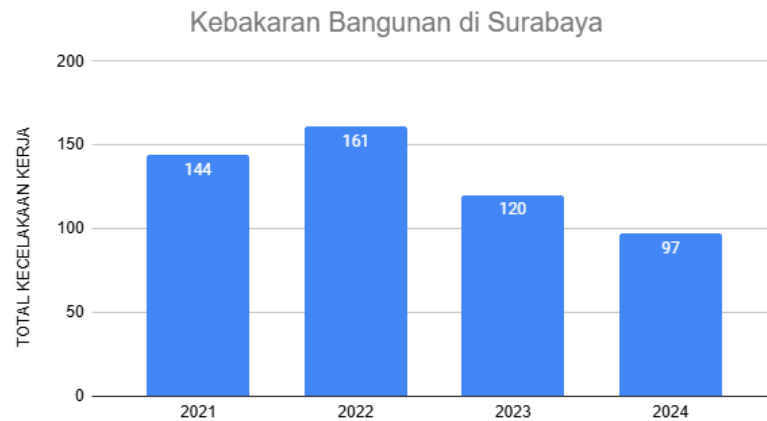
Abstract. The increasing number of high-rise buildings in Indonesia, especially in big cities, has raised concerns about the safety of their occupants. Frequent cases of fire and earthquakes show the urgency of having an effective evacuation route system. This study was motivated by the fire cases in Mampang Prapatan and the earthquake in the Java Sea, which highlighted the importance of designing building evacuation routes that support fast and safe evacuation. The calculation was carried out based on the SFPE *Handbook of Fire Safety Engineering 5th Edition* reference, with the aim of finding out how long it takes during the emergency evacuation process. The calculation results show that the evacuation time that takes longer is at R12 via K2, which is 0.89 minutes, while the route via K is 0.3 minutes. This can occur due to several factors, namely the number of occupants or people in each room, the area of each room, and the width of the path to be passed.

Keywords: Emergency, Evacuation, High-rise Building

1. PENDAHULUAN

Keberadaan gedung bertingkat di Indonesia kian hari kian bertambah, terutama di kota-kota besar. Hal tersebut dikarenakan pembangunan gedung ke arah vertikal di kota-kota besar menjadi solusi dari masalah keterbatasannya lahan (Alvandi et al., 2019) Jumlah gedung bertingkat di Indonesia merupakan salah satu yang terbanyak di antara beberapa negara lain di dunia. Menurut hasil survey badan pengamat gedung pencakar langit dunia, *Council on Tall Buildings and Urban Habitats*, per 20 Juni 2024 Indonesia berada pada peringkat 9 dari 127 negara di dunia. Berdasarkan fakta tersebut, keamanan serta keselamatan dalam pembangunan gedung bertingkat menjadi perhatian bagi pemerintah Indonesia, karena agar sejalan dengan (UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 28 TAHUN 2002) Bab 2 Pasal 3 ayat 2, yang menetapkan bahwa bangunan gedung harus terjamin dalam keandalan teknik bangunan gedung dari segi keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Seiring dengan pertumbuhan gedung bertingkat, risiko terjadinya kebakaran dan gempa bumi turut meningkat (Prasetyo, 2018). Kepadatan penduduk, maraknya pembangunan gedung perkantoran, kawasan perumahan, serta industri yang terus berkembang menjadi faktor pemicu kerawanan. Kondisi ini membutuhkan perhatian khusus, karena kebakaran yang terjadi di area tersebut membutuhkan penanganan evakuasi yang cepat dan tepat (Saraswati & Cahyono, 2017).

Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan (DPKP) Kota Surabaya, kasus kebakaran pada bangunan yang terjadi di Surabaya cukup tinggi, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jumlah Kasus Kebakaran Bangunan di Surabaya Selama 4 Tahun Terakhir

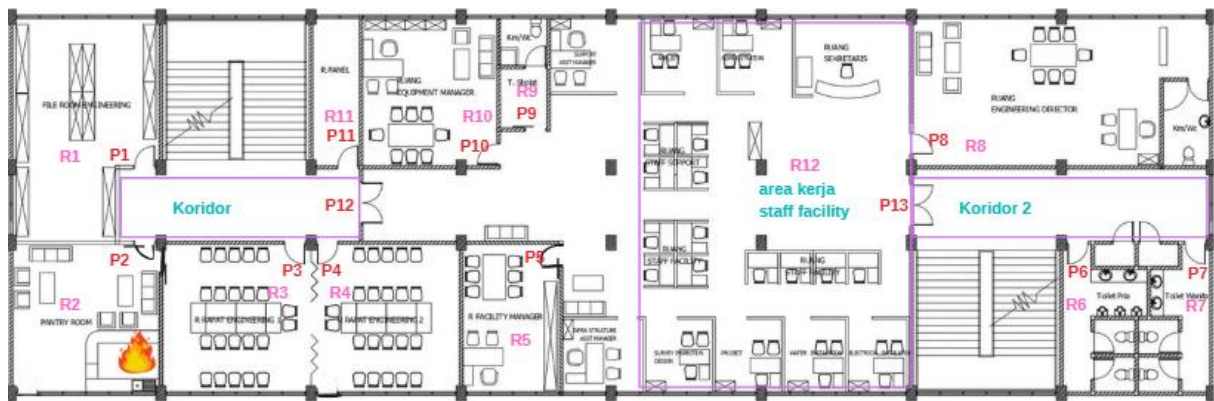
Sumber : (Dinas Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kota Surabaya, 2024)

Pada gambar 1., menunjukkan fluktuasi jumlah kasus kebakaran dalam beberapa tahun terakhir, terlihat bahwa pada tahun 2021 jumlah kejadian kebakaran tercatat sebanyak 144 kasus. Angka ini mengalami peningkatan menjadi 161 kasus pada tahun 2022, kemudian menurun menjadi 120 kasus pada tahun 2023, dan kembali menurun menjadi 97 kasus pada tahun 2024.

Kasus kebakaran pada bangunan terjadi pada toko bingkai Mampang Prapatan April 2024 sebanyak 7 orang meninggal dunia akibat terjebak di lantai atas. Hal tersebut merupakan contoh nyata betapa berbahayanya kondisi gedung yang tidak dilengkapi tangga darurat (Syarifudin, 2024). Selain kebakaran, gempa bumi juga menjadi ancaman serius bagi gedung bertingkat. Keadaan ini sangat mengkhawatirkan mengingat risiko kebakaran dan gempa bumi di gedung bertingkat lebih mematikan dan merugikan (Widya Mustika et al., 2018) maka dari itu untuk meminimalisir dampak yang diakibatkan apabila terjadi keadaan darurat pada gedung, maka gedung harus diproteksi melalui penyediaan sarana dan prasarana proteksi serta kesiagaan dan kesiapan perencanaan tanggap darurat pengelola bangunan (Margolang et al., 2022). Perencanaan tanggap darurat ini disebut dengan Emergency Response Plan (ERP). Menurut Ginanjar et al. (2020) dengan perencanaan ERP ini dapat mengurangi risiko kerugian akibat keadaan darurat. Perencanaan tanggap darurat dilakukan dengan merencanakan sistem evakuasi darurat. Sistem evakuasi setidaknya dapat membuat penghuni gedung merasa aman dengan cara mencari rute yang cepat dan efisien (Wiwaha et al., 2016). Karena pada dasarnya evakuasi adalah upaya untuk memindahkan korban dari lokasi yang berbahaya ke tempat yang lebih aman untuk mendapatkan pertolongan (Safita et al., 2019). Rute evakuasi pada gedung bertingkat harus berfungsi berdasarkan prosedur evakuasi dengan memberikan kemudahan pada orang yang akan menggunakannya (Abrar, 2020) Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem evakuasi gedung yang lebih efektif dan efisien, dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk evakuasi pada salah satu lantai gedung bertingkat empat yang berfungsi sebagai gedung perkantoran di Surabaya. Melalui analisis tersebut, diharapkan dapat ditentukan jalur keluar tercepat yang dapat digunakan penghuni saat terjadi keadaan darurat.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menghitung waktu evakuasi sesuai dengan skenario kebakaran yang telah dibuat pada salah satu lantai gedung bertingkat, dihitung mulai dari setiap area sampai pintu exit seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skenario kebakaran pada gedung bertingkat

Sumber: (Penulis 2025)

Objek penelitian ini adalah sebuah gedung bertingkat empat yang berfungsi sebagai gedung perkantoran. Setiap lantai memiliki peruntukan yang berbeda, mulai dari area pelayanan dan customer service di lantai dasar, ruang kerja dan administrasi di lantai dua dan tiga, hingga ruang rapat dan fasilitas pendukung di lantai empat. Gedung ini dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki tingkat aktivitas yang cukup tinggi serta membutuhkan sistem evakuasi yang efektif untuk menjamin keselamatan seluruh penghuninya.

Berdasarkan skenario pada Gambar 2. Lantai ini memiliki 12 ruangan, dengan nama pintu tiap ruangnya. Untuk ruangan dengan 1 pintu (P1, P2, P3, dst.) lebarnya yaitu 0.8m, untuk ruangan yang memiliki 2 pintu (P12, P13) lebarnya yaitu 1.6m. Setiap ruangan (R1, R2, R3, dst.) memiliki jumlah orang yang akan digunakan untuk perhitungan waktu evakuasi. Perhitungan dilakukan dengan *exit point* pada K1 dan K2 melalui P12 dan P13. Berikut Tabel 1. adalah jumlah orang pada setiap ruangan di salah satu lantai gedung betingkat.

Tabel 1. Jumlah Orang Ruangan Gedung Bertingkat

No	Nama Ruangan	Jumlah Orang
1.	R1	5
2.	R2	4
3.	R3	4
4.	R4	4
5.	R5	3
6.	R6	2
7.	R7	2
8.	R8	6
9.	R9	1
10.	R10	4
11.	R11	1
12.	R12	22

Setelah mengetahui jumlah orang seperti Tabel 1.1, selanjutnya melakukan perhitungan waktu evakuasi menggunakan acuan *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Fifth Edition 2016*. Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi durasi waktu evakuasi, yaitu *Effective Width (We)*, *Population density*, *Speed*, *Specific flow*,

Calculated Flow, dan *Time for passage* (Rosenbaum, 2016) Tahapan untuk melakukan perhitungan waktu evakuasi yaitu dimulai dengan, *Effective Width* (W_e) menghitung lebar jalur yang digunakan dikurangi dengan halangan (*boundary layer*) dengan besar nilai sesuai tabel 2. Perhitungan *effective width* (W_e) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$WE = \text{Lebar jalur keluar} - \text{boundary layer} \quad (1)$$

Tabel 2. Nilai *Boundary Layer*

<i>Exit Route Element</i>	<i>Boundary layer</i>	
	<i>in</i>	<i>cm</i>
<i>Stairways – wall or side of tread</i>	6	15
<i>Railings, handrails</i>	3.5	9
<i>Theater chairs, stadium benches</i>	0	0
<i>Corridor, ramp walls</i>	8	20
<i>Obstacles</i>	4	10
<i>Wide concourses, passageways</i>	<18	46
<i>Door, Archways</i>	6	15

Sumber: *SFPE Handbook of Fire Safety Engineering 5th Edition 2016*

Population density (D) menghitung tingkat kepadatan populasi yang ada di jalur evakuasi, dengan satuan orang/ft² atau orang/m². Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{\text{Jumlah Orang}}{\text{Luas}} \quad (2)$$

Speed (S) yaitu kecepatan pergerakan individu yang keluar saat evakuasi. Jika *population density* (D) kurang dari 0,05 orang/ft² (0,54 orang/m²) dari jalur keluar, maka individu atau orang akan keluar dengan kecepatannya sendiri, tidak dipengaruhi oleh kecepatan individu lain. Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S = k - akD \quad (3)$$

Tabel 3. Nilai Konstanta Elemen *Exit Route*

<i>Route Exit route element</i>		k_1	k_2
<i>Corridor, aisle, ramp, doorway</i>		275	1.4
<i>Stairs</i>			
<i>Riser (in)</i>		<i>Tread (in)</i>	
7,5	10	196	1,00
7,0	11	212	1,08
6,5	12	229	1,16
6,5	12	242	1,23

Sumber: *SFPE Handbook of Fire Safety Engineering 5th Edition 2016*

Specific flow (F_s) banyaknya individu yang melalui suatu titik di jalur evakuasi dalam satuan orang per waktu per lebar efektif (W_e) dari jalur yang dilalui. Perhitungan *Specific flow* dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$F_s = S \times D \quad (4)$$

Pada kasus *maximum specific flow* yaitu ketika *population density* sebesar 0,175 orang/ft² (1,9 orang/m²). namun terdapat beberapa *maximum specific flow* yang ditentukan berdasarkan elemen rute evakuasi. Nilai *maximum specific flow* dapat dilihat pada Tabel 4. berikut:

Tabel 4. Nilai *Maximum Spesific Flow*

Exit route element	Maximum specific flow	
	Person/min /ft of effective width	Person/s/m of effective width
Corridor, aisle, ramp, doorway	24,0	1,3
Stairs		
	Riser (in)	Tread (in)
	7,5	10
	7,0	11
	6,5	12
	6,5	12
		17,1
		18,5
		20,0
		21,2
		0,94
		1,01
		1,09
		1,16

Sumber: SFPE Handbook of Fire Safety Engineering 5th Edition 2016

Calculated Flow (F_c) perkiraan laju aliran (*flow rate*) orang yang akan melewati titik tertentu dalam rute evakuasi. Perhitungan *calculated flow* dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$F_c = F_s \times W_e \quad (5)$$

Time for passage waktu yang diperlukan sekelompok individu untuk melewati suatu titik rute evakuasi. Dalam menentukan waktu perjalanan untuk evakuasi (*time for passage*) dapat digunakan persamaan berikut:

$$T_p = \frac{N}{F_c} \quad (6)$$

Perhitungan T_p dapat dihitung dengan persamaan *travel distance* pada kasus koridor atau jalur evakuasi yang lurus. Rumus T_p dengan persamaan *travel distance* dapat dilihat sebagai berikut:

$$T_p = \frac{\text{Panjang koridor}}{S} \quad (7)$$

Pada kasus transisi seperti ini dimana terdapat dua *flow* yaitu *flow into* dan *flow out* pada titik transisi, maka perhitungan *specific flow* dapat dihitung sebagai berikut:

$$F_s = \frac{F_s(in)W_e(in)}{W_e(out)} \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan waktu evakuasi pada 12 ruangan (R1, R2, R3, dst.) memiliki *exit point* pada K12 dan K2 melalui P12 dan P13. Perhitungan waktu evakuasi *best route* dilakukan dengan beberapa tahap, seperti pengosongan ruangan dan transisi. R2 *pantry room* memiliki panjang 6 meter dan lebar 6 meter, dengan jumlah orang pada ruangan yaitu 4 orang. Berikut adalah perhitungan waktu evakuasi pada tahap pengosongan ruangan dimulai dengan menghitung luas ruangan.

$$A = \text{panjang} \times \text{lebar}$$

$$= 6m \times 6m = 36 m^2$$

$$P = 4 \text{ orang}$$

Setelah didapatkan nilai luas ruangan maka selanjutnya adalah menentukan nilai *effective width* atau lebar efektif pada pintu sebagai akses pertama untuk evakuasi darurat. Lebar efektif merupakan hasil dari pengurangan nilai lebar pintu dengan nilai *boundary layer*. Besaran nilai *boundary layer* untuk setiap elemen dapat dilihat pada Tabel 2. Sehingga perhitungan nilai *effective width* sebagai berikut:

$$W_e = \text{lebar pintu} - \text{boundary layer}$$

$$= 1.6 m - 0.15 m$$

$$= 1.45 m$$

Setelah menghitung nilai *effective width* selanjutnya adalah menentukan nilai *population density* (D). Nilai *population density* (D) memiliki pengaruh terhadap perhitungan kecepatan (*speed*). Berikut perhitungan untuk *population density* (D).

$$D = \frac{P}{A} = \frac{4}{36} = 0,111 \text{ orang/m}^2$$

Karena $D < 0,54 \text{ orang/m}^2$ maka $S = 1,19 \text{ m/s}$

Perhitungan selanjutnya adalah nilai F_s lalu dibandingkan dengan nilai F_s max yang besar nilai dapat dilihat pada Tabel 4. Berikut adalah perhitungan nilai F_s

$$\begin{aligned} F_s &= S \times D \\ &= 1,19 \text{ m/s} \times 0,111 \text{ orang/m}^2 \\ &= 0,132 \text{ orang/ms} \end{aligned}$$

Karena nilai F_s lebih kecil daripada nilai F_s max yaitu 1,3 orang/ms sehingga $F_s < F_s$. Selanjutnya adalah menghitung *calculated flow*

$$F_c = F_s \times W_e = 0,132 \times 1,45 = 0,191$$

Perhitungan T_p adalah sebagai berikut

$$T_p = \frac{P}{F_c} = \frac{4}{0,191} = 20,863 \text{ s} = 0,347 \text{ menit}$$

Maka waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan R2 *pantry room* adalah **0,347 menit**.

Perhitungan transisi, dilakukan setelah perhitungan pengosongan area. Berikut adalah perhitungan waktu transisi dari R2 *pantry room* melewati P2

$$\begin{aligned} W_e \text{ P2} &= \text{lebar P2} - \text{boundary layer} \\ &= 1,6 \text{ m} - 0,15 \text{ m} \\ &= 1,45 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai F_s pada titik transisi dan hasil dari perhitungan F_s akan dibandingkan dengan nilai F_s max.

$$\begin{aligned} F_s(P2) &= \frac{(F_s(R2) \times W_e(R2))}{W_e(P2)} \\ &= \frac{0,132 \times 1,45}{1,45} = 0,132 \text{ orang/ms} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4. nilai F_s max = 1,3 orang/ms, sehingga $F_s < F_s$ max maka nilai yang digunakan adalah nilai yang terkecil yaitu nilai F_s . Selanjutnya adalah menghitung nilai *calculated flow*)

$$\begin{aligned} F_c \text{ P2} &= F_s \times W_e \\ &= 0,132 \text{ orang/ms} \times 1,45 \text{ m} = 0,191 \text{ orang/s} \end{aligned}$$

Tahap terakhir menghitung waktu yang diperlukan untuk melewati P2 sebagai berikut

$$T_p = \frac{P}{F_c} = \frac{4}{0,191} = 20,86 \text{ s} = 0,347 \text{ menit}$$

Selanjutnya adalah menghitung waktu tempuh dari P2 hingga menuju K. Diketahui lebar koridor meter dan panjang jalur evakuasi dari P2 ke K adalah 14 meter. *Travel distance* dapat dihitung dengan mengukur jarak antara P2 dengan K, kemudian jarak ini dikalikan dengan *speed/60* detik. Sebelum menghitung waktu tempuh terlebih dahulu menghitung *speed* dan dimulai dengan menentukan luas area dan menentukan jumlah penumpukan orang, sehingga dapat melanjutkan ke perhitungan nilai *density factor*. Berikut perhitungan yang dilakukan:

$$A = P \times L = 14 \times 3 = 42 \text{ m}^2$$

$$P = 4$$

$$D = \frac{P}{A} = \frac{4 \text{ orang}}{42 \text{ m}^2} = 0,095 \text{ orang/m}^2$$

$D < 0,54 \text{ orang/m}^2$ maka $S = 1,19 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tempuh} &= \left(\frac{\text{Panjang Koridor}}{S} \right) / 60 \text{ s} \\ &= \left(\frac{14}{1,19} \right) / 60 = 0,196 \text{ menit} \end{aligned}$$

Maka waktu yang diperlukan untuk melewati sepanjang koridor adalah **0,196 menit**.

Total waktu untuk evakuasi penghuni dari R2 hingga K adalah 0,347 menit + 0,347 menit + 0,196 menit = 1,89 menit. Berikut adalah perhitungan waktu evakuasi alternatif dimulai dengan tahap pengosongan ruangan dimulai dengan menghitung luas ruangan.

$$\begin{aligned} A &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 6 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 36 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$P = 4 \text{ orang}$$

Setelah didapatkan nilai luas ruangan maka selanjutnya adalah menentukan nilai *effective width* atau lebar efektif pada pintu sebagai akses pertama untuk evakuasi darurat. Lebar efektif merupakan hasil dari pengurangan nilai lebar pintu dengan nilai *boundary layer*. Besaran nilai *boundary layer* untuk setiap elemen dapat dilihat pada Tabel 2. Sehingga perhitungan nilai *effective width* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_e \text{ R2} &= \text{lebar pintu} - \text{boundary layer} \\ &= 0,8 \text{ m} - 0,15 \text{ m} \\ &= 0,65 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah menghitung nilai *effective width* selanjutnya adalah menentukan nilai *population density* (D). Nilai *population density* (D) memiliki pengaruh terhadap perhitungan kecepatan (*speed*). Berikut perhitungan untuk *population density* (D).

$$D_{R2} = \frac{P}{A} = \frac{4}{36} = 0,111 \text{ orang/m}^2$$

Karena $D < 0,54 \text{ orang/m}^2$ maka $S = 1,19 \text{ m/s}$

Perhitungan selanjutnya adalah nilai F_s lalu dibandingkan dengan nilai F_s max yang besar nilai dapat dilihat pada Tabel 5. Berikut adalah perhitungan nilai F_s

$$\begin{aligned} F_{sR2} &= S \times D \\ &= 1,19 \text{ m/s} \times 0,111 \text{ orang/m}^2 \\ &= 0,132 \text{ orang/ms} \end{aligned}$$

Karena nilai F_s lebih kecil daripada nilai F_s max yaitu $1,3 \text{ orang/ms}$ sehingga $F_s < F_s$. Selanjutnya dalam menghitung *calculated flow*

$$F_{cR2} = F_s \times W_e = 0,132 \times 0,65 = 0,085$$

Perhitungan T_p adalah sebagai berikut

$$T_p = \frac{P}{F_c} = \frac{4}{0,085} = 46,541 \text{ s} = 0,775 \text{ menit}$$

Maka waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan R2 adalah **0,775 menit**.

Perhitungan transisi, dilakukan setelah perhitungan pengosongan area. Berikut adalah perhitungan waktu transisi dari R2 melewati P2

$$\begin{aligned} W_{eP2} &= \text{lebar P2} - \text{boundary layer} \\ &= 0,8 \text{ m} - 0,15 \text{ m} \\ &= 0,65 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai F_s pada titik transisi hasil dari perhitungan F_s akan dibandingkan dengan nilai F_s max.

$$\begin{aligned} F_s(P2) &= \frac{(F_s(R2) \times W_e(R2))}{W_e(P2)} \\ &= \frac{0,132 \times 0,65}{0,65} = 0,132 \text{ orang/ms} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4. nilai F_s max = $1,3 \text{ orang/ms}$, sehingga $F_s < F_s$ max maka nilai yang digunakan adalah nilai yang terkecil yaitu nilai F_s . Selanjutnya adalah menghitung nilai *calculated flow*

$$\begin{aligned} F_{cP2} &= F_s \times W_e \\ &= 0,132 \text{ orang/ms} \times 0,65 \text{ m} = 0,0859 \text{ orang/s} \end{aligned}$$

Tahap terakhir menghitung waktu yang diperlukan untuk melewati P2 sebagai berikut

$$T_p = \frac{P}{F_c} = \frac{4}{0,0859} = 46,54 \text{ s} = 0,77 \text{ menit}$$

Maka waktu yang dibutuhkan untuk melewati P2 adalah **0,77 menit**.

Selanjutnya adalah menghitung waktu tempuh dari P1 hingga menuju K2. Diketahui lebar koridor meter dan panjang jalur evakuasi dari P2 ke K2 adalah 14 meter. *Travel distance* dapat dihitung dengan mengukur jarak antara P1 dengan K2, kemudian jarak ini dikalikan dengan *speed*/60 detik. Sebelum menghitung waktu tempuh terlebih dahulu menghitung *speed* dan dimulai dengan menentukan luas area dan menentukan jumlah penumpukan orang, sehingga dapat melanjutkan ke perhitungan nilai *density factor*. Berikut perhitungan yang dilakukan:

$$A = P \times L = 19 \times 3 = 57 \text{ m}^2$$

$$P = 6$$

$$D = \frac{P}{A} = \frac{6 \text{ orang}}{57 \text{ m}^2} = 0,11 \text{ orang/m}^2$$

$D < 0,54 \text{ orang/m}^2$ maka $S = 1,19 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tempuh} &= \left(\frac{\text{Panjang Koridor}}{S} \right) / 60 \text{ s} \\ &= \left(\frac{19}{1,19} \right) / 60 = 0,27 \text{ menit} \end{aligned}$$

Maka waktu yang diperlukan untuk melewati sepanjang koridor adalah **0,27 menit**.

Setelah menghitung waktu tempuh menuju E2, maka langkah berikutnya adalah menghitung waktu transisi ketika melewati E2. Perhitungan waktu untuk melewati E3 sebagai berikut:

$$W_{eE3} = \text{Lebar E3} - \text{boundary layer} = 1,6 \text{ m} - 0,15 \text{ m} = 1,45 \text{ m}$$

Perhitungan nilai F_s pada titik transisi dan hasil dari perhitungan F_s akan dibandingkan dengan nilai F_s max.

$$F_s \text{ Koridor} = S \times D = 1,19 \times 0,11 = 0,13 \text{ orang/ms}$$

$$F_s(K2) = \frac{(F_s \text{ (Koridor)} \times W_e \text{ (Koridor)})}{W_e \text{ (K2)}}$$

$$= \frac{0,11 \times 2,8}{1,45} = 0,24 \text{ orang/ms}$$

Berdasarkan tabel 5 nilai $F_s \text{ max} = 1,3 \text{ orang/ms}$, sehingga $F_s < F_s \text{ max}$ maka nilai yang digunakan adalah nilai yang terkecil yaitu nilai F_s . Selanjutnya adalah menghitung nilai *calculated flow*

$$F_c \text{ K2} = F_s \times W_e$$

$$= 0,24 \text{ orang/ms} \times 1,45 \text{ m} = 0,35 \text{ orang/s}$$

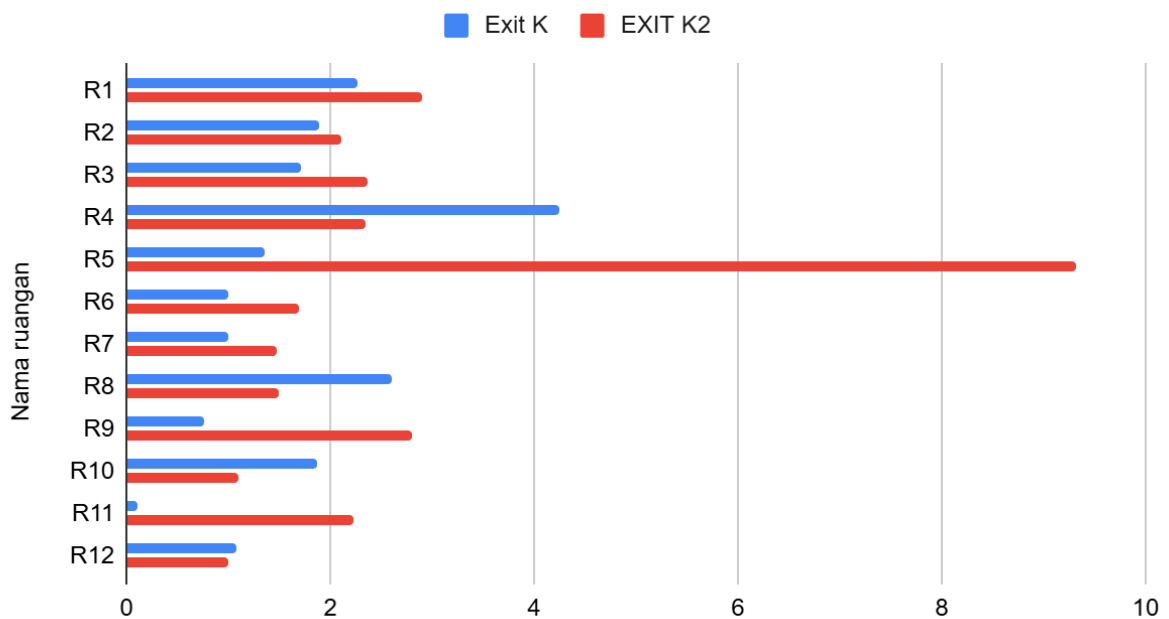
Tahap terakhir menghitung waktu yang diperlukan untuk melewati K2 sebagai berikut

$$T_p = \frac{P}{F_c} = \frac{6}{0,35} = 12,60 \text{ s} = 0,2 \text{ menit}$$

Total waktu untuk evakuasi penghuni dari R2 hingga K2 adalah 0,775 menit + 0,77 menit + 0,27 menit + 0,2 menit = 2.10 menit

Dari dua hasil waktu evakuasi pada masing-masing *exit*, terdapat pilihan rute evakuasi dengan waktu paling cepat seperti pada Gambar 3.

Perbandingan Waktu Evakuasi



Gambar 3. Perbandingan Waktu Evakuasi

Berdasarkan gambar. Ruangan yang memiliki rute tercepat pada exit K yaitu ruangan R1, R2, R3, R4, R5, R9, R10, R11. Sedangkan pada ruangan lainnya, yaitu R6, R7, R8 lebih cepat menggunakan exit K2. Hasil dari perhitungan waktu evakuasi dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan analisis, waktu evakuasi yang diperoleh masih berada dalam batas aman dan telah sesuai dengan standar yang direkomendasikan oleh *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (2016) maupun acuan regulasi nasional. Hal ini menunjukkan bahwa sistem evakuasi pada gedung tersebut sudah memadai, meskipun evaluasi berkala dan simulasi evakuasi tetap perlu dilakukan untuk memastikan efektivitasnya dalam kondisi nyata.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Rute Evakuasi

No	Ruangan	Rute	Exit	Tp
1	R1	R1, K	K	2.26
2	R2	R2, K	K	1.89
3	R3	R3, K	K	1.71
4	R4	R4, K	K	2.35
5	R5	R5, P12, K	K	1.36
6	R6	R6, K2	K2	1.7
7	R7	R7, K2	K2	1
8	R8	R8, P13, K2	K2	1.5
9	R9	R9, P12, K	K	2.61
10	R10	R10, P12, K	K	0.76
11	R11	R11, K	K	1.87
12	R12	R12, P12, K2	K2	0.99

4. KESIMPULAN

Perhitungan waktu rute evakuasi ruangan pada gedung bertingkat dihitung berdasarkan acuan *Emergency Respon Plan* (ERP) SFPE Fire Safety Engineering 5th Edition 2016. Hasil perhitungan menunjukkan waktu evakuasi yang membutuhkan waktu lebih lama adalah pada ruangan 1 dengan melalui koridor yaitu sebesar 2,26 menit sedangkan pada rute lain yang melalui koridor 2 adalah sebesar 1,7 menit. Waktu evakuasi dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu jumlah orang dalam tiap ruangan, luas tiap ruangan, dan lebar jalur yang akan dilewati.

5. DAFTAR NOTASI

W_e = effective width [m]

D = population density [person/m²]

S = speed [m/s]

F_s = specific flow (person/min.m)

F_c = calculated flow (person/min)

T_p = time for passage (min)

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, L. (2020). *PERANCANGAN JALUR EVAKUASI MENGGUNAKAN ALGORITMA DIJKSTRA (STUDI KASUS: GEDUNG FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI)*.
- Alvandi, B., Safitri Angraeni, R., & Purwanto, D. (2019). *PERENCANAAN HIGH RISE BUILDING ATAU BANGUNAN BERTINGKAT*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31000/civil.v1i2.6929>
- Council on Tall Buildings and Urban Habitats. (2024). *Countries by Number of 150m+ Buildings*. <https://www.skyscrapercenter.com/countries>
- Dinas Pemadam Kebakaran dan Penyelamatan Kota Surabaya. (2024). *Jumlah kejadian kebakaran bangunan*. <https://opendata.surabaya.go.id/dataset/2500-5454-318>
- Ginanjari, R., Asnifatima, A., Keselamatan Kerja, K., Studi Kesehatan, P., & Ilmu Kesehatan Universitas Ibn Khaldun Bogor, F. (2020). ANALISIS KEBUTUHAN SISTEM TANGGAP DARURAT DI SEKOLAH AT TAUFIQ KOTA BOGOR TAHUN 2019. In *PROMOTOR Jurnal Mahasiswa Kesehatan Masyarakat* (Vol. 3, Issue 6). <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/PROMOTOR>
- Klein, R. A. (1997). SFPE handbook of fire protection engineering 2016. In *FireSafety Journal* (Vol. 29, Issue 1). [https://doi.org/10.1016/s0379-7112\(97\)00022-2](https://doi.org/10.1016/s0379-7112(97)00022-2)
- Margolang, S. R. A., Kasumawati, F., & Fadhilah, H. (2022). ANALISIS PENERAPAN SISTEM

- PROTEKSI AKTIF DAN SARANA PENYELAMATAN JIWA DENGAN UPAYA PENCEGAHAN KEBAKARAN DI KANTOR PEMADAM KEBAKARAN UPT CIPAYUNG DEPOK. *Frame of Health Journal 1.1* (2022): 58-65.
- Prasetyo, E. Y. (2018). *STUDI KUALITAS TANGGA GEDUNG BERTINGKAT KAMPUS I UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG*.
- Rosenbaum, E. R. (2016). SFPE HANDBOOK 5TH EDITION CHAPTER 59. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition* (pp. 2115–2151). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_59
- Safita, N., Ristanti, A. A., Rismayanti, E. P., & Wardhana, H. A. (2019). *TEKNIK EVAKUASI CEDERA KEPALA PASCA BENCANA KETEPATAN TEKNIK EVAKUASI PADA KORBAN CEDERA KEPALA DALAM MENGURANGI KEJADIAN CEDERA SEKUNDER* (Vol. 2, Issue 2).
- Saraswati, D. F., & Cahyono, A. B. (2017). Analisis Daerah Risiko Bencana Kebakaran di Kota Surabaya dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24410>
- Syarifudin, T. (2024, March 22). *Polisi Ungkap Alasan 7 Korban Kebakaran di Mampang Terjebak hingga Tewas* [Broadcast]. <https://news.detik.com/berita/d-7305320/polisi-ungkap-alasan-7-korban-kebakaran-di-mampang-terjebak-hingga-tewas>
- UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 28 TAHUN 2002. (2002). *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 28 TAHUN 2002 TENTANG BANGUNAN GEDUNG*.
- Widya Mustika, S., Sari Wardani, R., Bima Prasetyo, D., & Studi Kesehatan Masyarakat Universitas Muhammadiyah Semarang, P. (2018). PENILAIAN RISIKO KEBAKARAN GEDUNG BERTINGKAT FIRE RISK ASSESSMENT HIGH RISE BUILDING. *J. Kesehat. Masy. Indones*, 13(1), 19.
- Wiwaha, A. A., Mei, E. T. W., & Rachmawati, R. (2016). Perencanaan Partisipatif Jalur Evakuasi dan Titik Kumpul Desa Nargomulyo dalam Upaya Pengurangan Resiko Bencana Gunungapi Merapi. *Journal of Regional and City Planning*, 27(1), 34–48. <https://doi.org/10.5614/jrcp.2016.27.1.4>