

Evaluasi Sistem Sirkulasi Sebagai Sarana Evakuasi Kebakaran Pada Pusat Perbelanjaan Malang Town Square

Nita Yuliana¹ dan Heru Sufianto²

¹ Mahasiswa Program Sarjana Arsitektur, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

² Dosen Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Alamat Email penulis: nitayuliana6@gmail.com

ABSTRAK

Kebakaran pada bangunan dapat menimbulkan kerugian materi dan moril, bahkan juga dapat berakibat fatal akan hilangnya nyawa manusia. Kerugian ini dikarenakan sarana evakuasi yang kurang memadai dan diadakan hanya sebagai formalitas saja. Sistem sirkulasi pada bangunan dapat mempengaruhi kelancaran dan kecepatan proses evakuasi apabila terjadi bahaya kebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh pengguna bangunan pusat perbelanjaan Malang Town Square keluar dari bangunan saat terjadi bahaya kebakaran. Jenis penelitian yang digunakan deskriptif dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif, untuk analisis prediksi waktu evakuasi menggunakan metode "*Egress Calculation*". Prediksi waktu evakuasi pusat perbelanjaan Malang Town Square dibagi menjadi dua tahap, yaitu prediksi waktu keluar dari lantai dan prediksi waktu keluar dari bangunan melalui tangga darurat. Hasil penelitian menunjukkan masih terdapat beberapa sistem sirkulasi (lebar pintu dan lebar koridor) yang melebihi batas waktu evakuasi yang disyaratkan. Solusi yang bisa diterapkan adalah penambahan lebar koridor untuk mengatasi selisih waktu yang tidak terlalu banyak, pengalihan akses keluar (*relayout*) untuk mengatasi selisih waktu yang cukup banyak dan jarak penghuni menuju pintu keluar yang terlalu jauh, penambahan pintu dan lebar pintu keluar untuk mengatasi selisih waktu yang banyak terutamapada lantai 4.

Kata kunci : sirkulasi, waktu evakuasi, kecepatan

ABSTRACT

Fires in buildings can cause material and moral damage, and can even be fatal to the loss of human life. This loss is due to inadequate evacuation facilities and is held only as a formality. Circulation systems in buildings can affect the smoothness and speed of the evacuation process in case of fire hazard. This study aims to determine the time required by the occupants of the shopping center building Malang Town Square exit from the building when there is a fire hazard. The research used descriptive method with qualitative and quantitative approach, for the evacuation time prediction analysis using "Egress Calculation" method. Prediction of evacuation time of shopping center Malang Town Square is divided into two stages, that is prediction of time out of floor and predicted time out from building through emergency stairs. The results show that there are still some circulation systems (door width and corridor width) that exceed the required evacuation time limit. The solution is to increase the width of the corridor to overcome the lesser time difference, relayout to overcome the considerable time gap and the occupant distance to the exit door, the addition of door and door width to overcome the time difference which is mostly mainly on the 4th floor.

Keywords: circulation, evacuation time, speed

1. Pendahuluan

Peristiwa kebakaran pada pusat perbelanjaan yang menimbulkan kerugian besar pada umumnya disebabkan oleh bangunan yang tidak didukung oleh fasilitas pemadaman dan sistem evakuasi yang memadai. Sistem evakuasi pada bangunan pusat perbelanjaan kebanyakan diadakan hanya sebagai formalitas saja tanpa mempertimbangkan persyaratan yang harus dipenuhi. Pusat perbelanjaan menjadi fasilitas umum yang tidak sepi oleh pengunjung memerlukan sarana evakuasi yang mendukung proses evakuasi saat terjadi bahaya. Salah satu sarana evakuasi yang mempengaruhi proses evakuasi pada pusat perbelanjaan adalah sistem sirkulasi. Lebar koridor, jalur evakuasi, jumlah penghuni, tata letak dan jumlah pintu keluar merupakan sistem sirkulasi pada pusat perbelanjaan Malang Town Square yang mempengaruhi proses evakuasi saat terjadi keadaan darurat. Sehingga diperlukan evaluasi sistem sirkulasi untuk mempercepat proses evakuasi agar penghuni dapat segera menyelamatkan diri keluar dari bangunan inti pusat perbelanjaan Malang Town Square.

Tinjauan pustaka yang digunakan pada penelitian ini yaitu tinjauan api dan kebakaran dari Juwana: 2005, NFPA 101: 2006, dan CFPA-E: 2009 yang membahas tentang karakteristik api, klasifikasi kebakaran, dan resiko saat terjadi kebakaran. Tinjauan evakuasi dari Gunar G Lovas: 1998, yang mengemukakan 3 komponen penting dalam sistem evakuasi kebakaran yaitu bangunan, penghuni, dan strategi (organisasi). Tinjauan keadaan darurat dari Sumardjito: 2010, Kuligowski: 2009 yang membahas tentang perilaku penghuni saat terjadi keadaan darurat. Tinjauan perhitungan waktu evakuasi dari Sufianto Heru dan Thojib Jusuf: 2000, Nelson dan MacLennan dalam CFPA-E: 2009 yang membahas tentang prediksi waktu keluar dari ruangan dan prediksi waktu keluar dari bangunan secara vertikal. Tinjauan sarana jalan keluar dari peraturan SNI 03-1746-2000, PERMEN PU /no.26/PRT/M/2008, NFPA 101: 2006 yang membahas tentang komponen, kapasitas dan susunan sarana jalan keluar.

2. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Analisis kuantitatif dalam mengolah data dilakukan melalui 2 tahap, yaitu evaluasi prediksi waktu keluar dari ruangan dan evaluasi waktu keluar dari bangunan melalui tangga darurat. Berikut uraian tahap analisis kuantitatif yang dilakukan :

2.1 Evaluasi prediksi waktu keluar dari ruangan

Prediksi waktu keluar dari ruangan ini menggunakan metode perhitungan "*Egress Calculation*" untuk mengetahui *travel time* yang dibutuhkan pada setiap ruangan. Prediksi perhitungan ini menggunakan asumsi faktor aliran (*flow factor*) sebesar 1,5 orang/m/dt dengan kecepatan berjalan rata-rata di dalam ruangan 1,3m/dt dan pada koridor 1,0 m/dt. Selain itu, beberapa asumsi yang digunakan adalah :

1. Penghuni menempati ruangan secara rata-rata dengan kepadatan 0,25 orang/m² (untuk ruangan kantor sewa dengan ketinggian di bawah 60 m)
2. Penghuni mulai keluar dari ruangan pada saat yang hampir bersamaan
3. Penghuni melalui jalan keluar terdekat dari posisinya di dalam ruangan
4. Titik api berasal dari lantai 1, dikarenakan resiko yang paling banyak ditimbulkan saat terjadi kebakaran

- Pembagian zoning eksisting ditentukan oleh jumlah pintu keluar dan ketinggian retail pada setiap lantai.

Perhitungan ini dimulai dengan penentuan jumlah penghuni dalam luasan setiap ruangan/ zona. Penentuan lebar pintu yang digunakan untuk mencari waktu yang dibutuhkan penghuni untuk mencapai pintu, dengan rumus :

$$T_{11} = P/NW_a \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan waktu perjalanan ke pintu dihitung dengan rumus :

$$T_{12} = L_{x+y}/V \dots\dots\dots(2)$$

Egress time diambil nilai terbesar dari perbandingan antara t_{11} dan t_{12} . *Egress time* tersebut kemudian dibandingkan dengan batas waktu yang disyaratkan (*limit time*). Limit time dapat dihitung dengan rumus :

$$rT_1 = \alpha\sqrt{A_1} \dots\dots\dots(3)$$

dimana,

- A_1 = luas ruangan (m^2)
- P = jumlah penghuni
- W_a = lebar pintu yang dapat dilalui
- N = *flow factor* (org/m/dt)
- V = kecepatan berjalan (m/dt)
- L_{x+y} = jarak tempuh (m)

2.2 Evaluasi prediksi waktu keluar dari bangunan

Proses evakuasi waktu keluar dari bangunan secara vertikal melalui tangga darurat dimulai dari penghuni masuk ke pintu tangga darurat sampai penghuni terakhir keluar bangunan. Perhitungan ini mempertimbangkan beberapa variabel, antara lain : jumlah penghuni yang melewati tangga darurat, dimensi anak tangga, jumlah lantai bangunan, jarak vertikal lantai ke lantai dan luas bangunan.

Perhitungan ini menggunakan teori dari Nelson dan MacLennan dengan persamaan rumus sebagai berikut :

$$S = k - akD \dots\dots\dots(4)$$

$$D = \frac{1}{2} a \dots\dots\dots(5)$$

dimana,

- S = kecepatan sepanjang jarak tempuh (m/s)
- D = densitas (orang/ m^2) 0,54 – 3,8
- k = konstanta faktor kecepatan untuk 4 kombinasi berlainan *riser* and *tread*
- a = konstanta 0,266 untuk m/s

Langkah yang dilakukan untuk menghitung prediksi waktu keluar dari bangunan adalah sebagai berikut :

- Mencari data tentang tipe tangga darurat (dari tabel dimensi tangga darurat), data pegunjung, jumlah lantai, jarak vertikal dari lantai ke lantai.
- Menghitung waktu untuk keluar dari pintu darurat menggunakan tabel laju aliran orang melalui tangga darurat.
- Menghitung waktu tempuh ke bawah melalui satu tangga. Jarak diagonal tangga = jarak vertikal x Sin θ . Kecepatan berjalan menggunakan persamaan (4)
- Menghitung jarak tempuh dari lantai ke lantai = jumlah bordes + jarak tempuh di tangga (jarak diagonal),kemudian dibagi dengan hasil perhitungan poin 3
- Menghitung total waktu melalui tangga darurat dengan menjumlahkan hasil perhitungan dari poin 2 dengan poin 4.

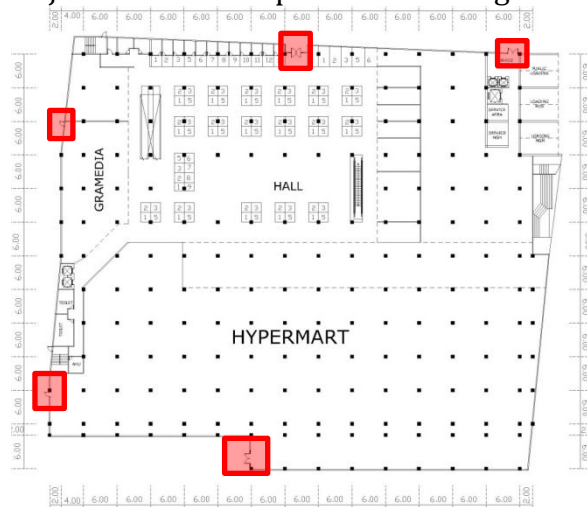
3. Hasil Dan Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu prediksi waktu evakuasi dari lantai dan prediksi waktu evakuasi keluar dari bangunan melalui tangga darurat. Berikut hasil prediksi waktu evakuasi yang dipengaruhi oleh sistem sirkulasi evakuasi pusat perbelanjaan Malang Town Square :

3.1 Prediksi Waktu Keluar dari Ruangan

1. Prediksi waktu keluar lantai 1

Lantai 1 pada pusat perbelanjaan Malang Town Square tidak di prediksi waktu keluar evakuasi dikarenakan tidak terjadi penumpukan penghuni dari lantai atas, dan jalur evakuasi langsung ke luar bangunan tanpa melalui tangga darurat. Akses evakuasi pada lantai 1 mengacu pada peraturan tentang jumlah pintu keluar yang harus disediakan berdasarkan luas dan jumlah penghuni pada lantai, yaitu PERMEN PU /no.26/PRT/M/2008. Luas lantai 1 mencapai $\pm 5972,08 \text{ m}^2$ dengan jumlah penghuni 1241 orang, jumlah akses keluar yang disediakan hanya 2. Dilihat dari peraturan tersebut, untuk jumlah penghuni lebih dari 1000 orang dibutuhkan 4 jalan keluar. sehingga solusi yang diambil adalah menambahkan akses jalan keluar sebanyak 2, yaitu pada tenant hypermart 1 jalan keluar dan pada toko buku gramedia 1 jalan keluar.



Gambar 1. Rekomendasi Tata Letak Pintu Keluar Lantai 1

2. Prediksi waktu keluar lantai 2

Lantai 2 memiliki akses pintu keluar yang dapat digunakan untuk proses evakuasi sebanyak 6 pintu. Hasil perhitungan prediksi waktu keluar dari ruangan menunjukkan bahwa masih terdapat 2 pintu yang melebihi batas waktu yang disyaratkan yaitu pintu B2 dan C2. Solusi yang diambil adalah mengalihkan akses keluar penghuni dan menambah lebar koridor menuju pintu C2. Berikut tabel evaluasi waktu keluar setelah dilakukan rekomendasi:

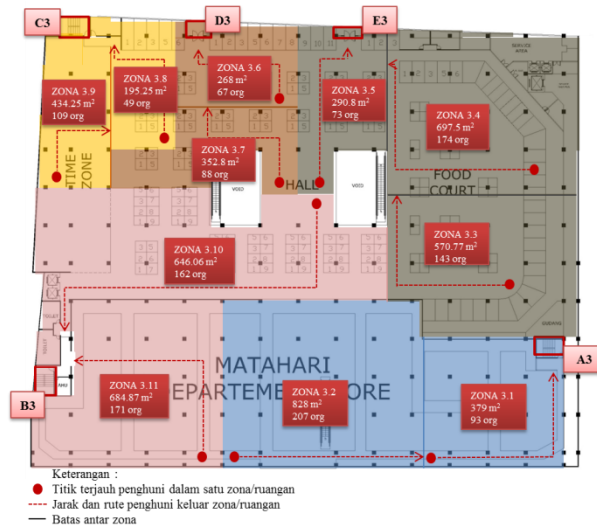
Egress time pada pintu C2 setelah dilakukan pengalihan akses sirkulasi masih melebihi batas waktu yang disyaratkan, namun selisih waktu tidak terlalu banyak, yaitu 6 detik.

Tabel 1. Rekomendasi Evaluasi Waktu Keluar dari Lantai 2

	Pintu B2	Pintu C2	Pintu D2	Pintu E2	Pintu F2	Pintu G2
Egress time T2 (dt)	93	115	44	55	82	96
Limit time rT2 ($4\sqrt{A1}$ +koridor)	98	109	77	108	122	154
Judgement $T2 \leq rT2$	OK	Not OK	OK	OK	OK	OK
Egress time dari lantai Tf (dt)	123	151	74	92	121	142
Limit time rTf ($8\sqrt{A1}$ +koridor)	196	218	154	216	244	308
Judgement $Tf \leq rTf$	OK	OK	OK	OK	OK	OK

3. Prediksi waktu keluar lantai 3

Lantai 3 memiliki akses pintu keluar yang dapat digunakan untuk proses evakuasi sebanyak 5 pintu. Hasil perhitungan eksisting menunjukkan masih terdapat 3 pintu yang melebihi batas waktu yaitu pintu A3, B3 dan C3. Solusi yang diambil adalah mengalihkan akses keluar penghuni, menambah lebar koridor dan menambah lebar pintu. Berikut zonasi dan tabel evaluasi setelah dilakukan rekomendasi:



Gambar 2. Rekomendasi Zona, Luas dan Kapasitas Penghuni Lantai 3

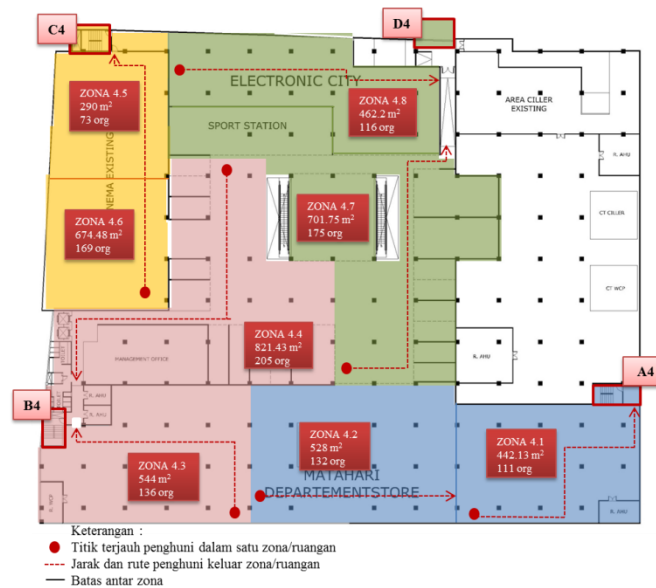
Tabel 2. Rekomendasi Evaluasi Waktu Keluar dari Lantai 3

	Pintu A3	Pintu B3	Pintu C3	Pintu D3	Pintu E3
Egress time T2 (dt)	129	149	118	47	110
Limit time rT2 ($4\sqrt{A1}$ +koridor)	139	146	158	90	126
Judgement $T2 \leq rT2$	OK	OK	OK	OK	OK
Egress time dari lantai Tf (dt)	168	195	154	78	144
Limit time rTf ($8\sqrt{A1}$ +koridor)	278	292	316	180	252
Judgement $Tf \leq rTf$	OK	OK	OK	OK	OK

Setelah dilakukan rekomendasi pada lantai 3, *Egress time* tidak melebihi batas waktu yang disyaratkan (tabel 2).

4. Prediksi waktu keluar lantai 4

Lantai 4 hanya memiliki akses pintu keluar sebanyak 3 pintu. Hasil perhitungan evaluasi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan oleh penghuni untuk keluar melebihi batas waktu yang ditentukan. Hal ini dikarenakan hanya terdapat 3 pintu keluar untuk proses evakuasi yang menampung 1052 orang penghuni. Solusi yang diambil adalah menambahkan pintu darurat, menambahkan lebar pintu keluar, lebar koridor dan mengalihkan akses keluar penghuni. Berikut zonasi dan tabel evaluasi setelah dilakukan rekomendasi:



Gambar 3. Rekomendasi Zona, Luas dan Kapasitas Penghuni Lantai 4

Tabel 3. Rekomendasi Evaluasi Waktu Keluar dari Lantai 4

	Pintu A4	Pintu B4	Pintu C4	Pintu D4
<i>Egress time</i> T2 (dt)	103	144	122	127
Limit time rT2 ($4\sqrt{A1}$ +koridor)	125	148	104	137
Judgement T2≤rT2	OK	OK	Not OK	OK
<i>Egress time</i> dari lantai Tf (dt)	145	191	156	170
Limit time rTf ($8\sqrt{A1}$ +koridor)	250	296	208	274
Judgement Tf≤rTf	OK	OK	OK	OK

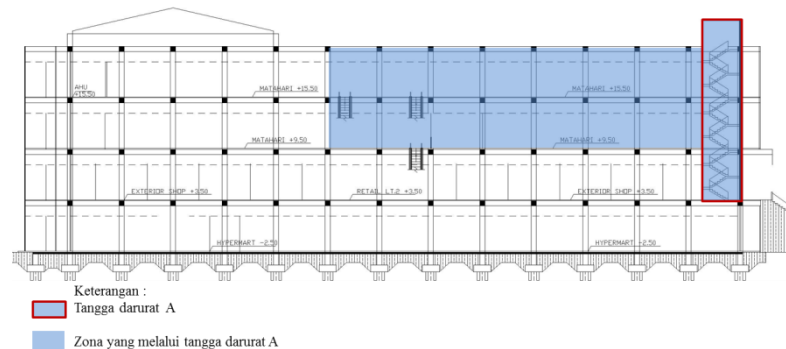
Dengan penambahan pintu darurat, pengalihan akses keluar penghuni, dan penambahan lebar pintu, maka *Egress time* lebih cepat dari batas waktu yang disyaratkan.

3.2 Prediksi Waktu Keluar dari Bangunan

Proses evaluasi keluar dari bangunan dimulai dari memprediksi arus penghuni keluar dari pintu darurat menuju ke luar bangunan melalui tangga darurat (sirkulasi vertikal). Prediksi ini menggunakan hubungan antara kecepatan dan densitas dari Nelson dan MacLennan. Perhitungan ini dipengaruhi oleh jumlah penghuni, kecepatan berjalan, dimensi tangga darurat, jumlah bordes, laju aliran melalui tangga darurat dan tinggi ruangan dari lantai ke lantai.

1. Tangga darurat A

Tangga darurat A yang berada di sisi kiri bangunan digunakan untuk dua lantai yaitu lantai 3 dan 4 dengan jumlah penghuni yang melalui sebanyak 543 orang. Tangga darurat A memiliki lebar bersih 1,58 m (tipe 7.0/11), jumlah bordes 3 dengan dimensi 3,35 x 1,47 m, lebar pintu darurat 1,6 m dan jarak vertikal dari lantai ke lantai 6 m. Berikut zona dan hasil perhitungan waktu keluar melalui tangga darurat A:



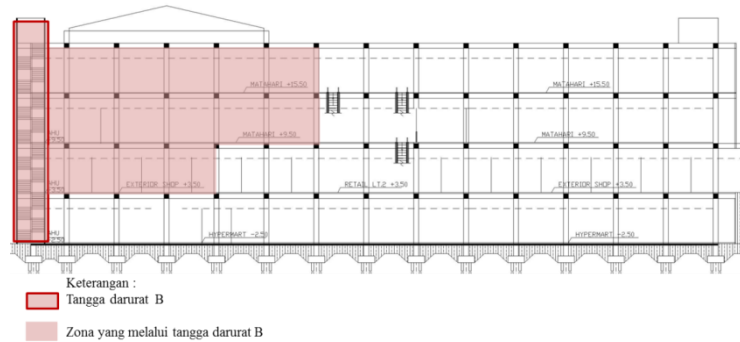
Gambar 4. Zona Vertikal Penghuni yang Melalui Tangga Darurat A

- a. Estimasi waktu untuk melalui tangga darurat adalah 810.6 detik atau 13.51 menit
- b. Waktu tempuh ke bawah melalui satu tangga tiga bordes
 - 1) Jarak diagonal tangga = 3.2 meter
 - 2) Kecepatan berjalan melalui tangga darurat adalah 0.54 m/s
 - 3) Jarak tempuh sepanjang bordes adalah 13.25 meter
 - 4) Waktu tempuh melalui tangga darurat adalah 25 detik atau 0.4 menit
- c. Total waktu evakuasi pada tangga darurat adalah 836 detik atau 13.93 menit.

Penghuni yang melewati tangga darurat A pertama kali masuk ke pintu darurat pada detik ke-63, sehingga total waktu evakuasi yang dibutuhkan oleh semua penghuni untuk keluar dari bangunan melalui tangga darurat A adalah 899 detik atau 14.9 menit.

2. Tangga darurat B

Tangga darurat B yang berada di sisi kiri bangunan digunakan untuk tiga lantai yaitu lantai 2, 3 dan 4 dengan jumlah penghuni yang melalui sebanyak 778 orang. Tangga darurat B memiliki lebar bersih 1,86 m (tipe 7.0/11), jumlah bordes 3 dengan dimensi 4 x 1,5 m, lebar pintu darurat 1,6 m dan jarak vertikal dari lantai ke lantai 6 m. Berikut hasil perhitungan waktu keluar bangunan melalui tangga darurat B:



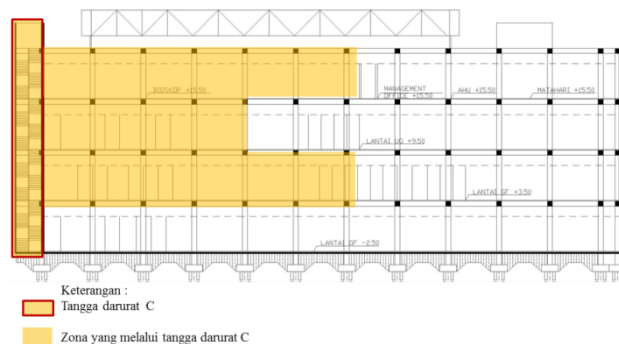
Gambar 5. Zona Vertikal Penghuni yang Melalui Tangga Darurat B

- a. Estimasi waktu untuk melalui tangga darurat adalah 1161 detik atau 19.35 menit
- b. Waktu tempuh ke bawah melalui satu tangga tiga bordes
 - 1) Jarak diagonal tangga adalah 3.2 meter
 - 2) Kecepatan berjalan melalui tangga darurat adalah 0.54 m/s
 - 3) Jarak tempuh sepanjang bordes adalah 15.2 meter
- 4) Waktu tempuh melalui tangga darurat adalah 28.15 detik atau 0.5 menit
- c. Total waktu evakuasi pada tangga darurat adalah 1191 detik atau 19.85 menit.

Penghuni yang melewati tangga darurat B pertama kali masuk ke pintu darurat pada detik ke-41, sehingga total waktu evakuasi yang dibutuhkan oleh semua penghuni untuk keluar dari bangunan melalui tangga darurat B adalah 1232 detik atau 20.5 menit.

3. Tangga darurat C

Tangga darurat C yang berada di sisi kiri bangunan digunakan untuk tiga lantai yaitu lantai 2, 3 dan 4 dengan jumlah penghuni yang melalui sebanyak 480 orang. Tangga darurat C memiliki lebar bersih 1,37 m (tipe 7.0/11), jumlah bordes 3 dengan dimensi 2,57 x 2,88 m, lebar pintu darurat 1,6 m dan jarak vertikal dari lantai ke lantai 6 m. Berikut hasil perhitungan waktu evakuasi melalui tangga darurat C:



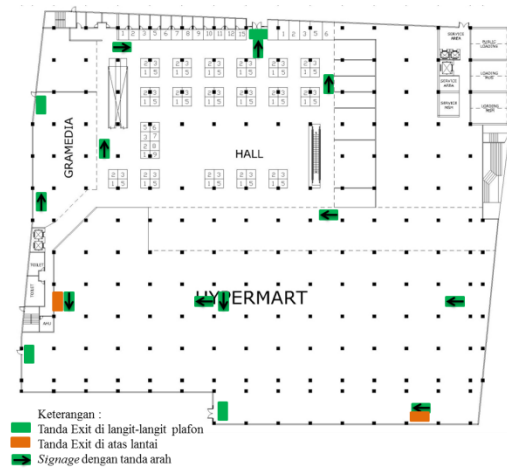
Gambar 6. Zona Vertikal Penghuni yang Melalui Tangga Darurat C

- a. Estimasi waktu untuk melalui tangga darurat adalah 716.4 detik atau 12 menit
- b. Waktu tempuh ke bawah melalui satu tangga tiga bordes
 - 1) Jarak diagonal tangga adalah 3.2 meter
 - 2) Kecepatan berjalan melalui tangga darurat adalah 0.54 m/s
 - 3) Jarak tempuh sepanjang bordes adalah 11.84 meter
 - 4) Waktu tempuh melalui tangga darurat adalah 22 detik atau 0.4 menit
- c. Total waktu evakuasi pada tangga darurat adalah 744 detik atau 12.4 menit.

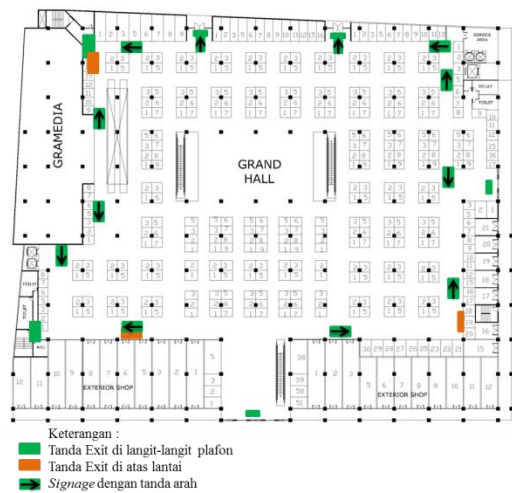
Penghuni yang melewati tangga darurat C pertama kali masuk ke pintu darurat pada detik ke-42, sehingga total waktu evakuasi yang dibutuhkan oleh semua penghuni untuk keluar dari bangunan melalui tangga darurat C adalah 786 detik atau 13.1 menit.

3.3 Tata Letak Signage

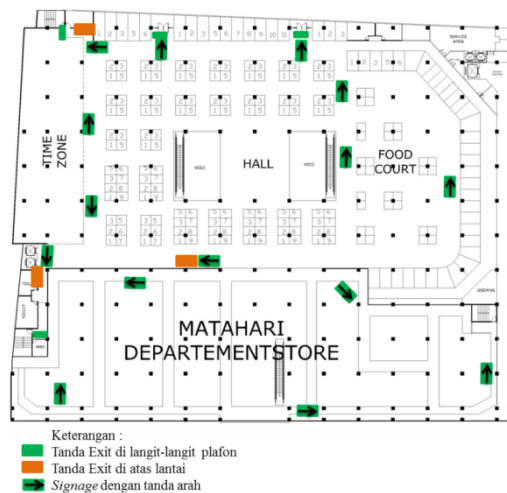
Signage yang ada pada bangunan pusat perbelanjaan Malang Town Square hanya diletakkan pada ujung ruangan yang dekat dengan pintu darurat. Kondisi ini dapat membingungkan dan tidak terlihat dari tengah retail yang tingginya mencapai langit-langit bangunan. Sehingga dilakukan rekomendasi tata letak dan penambahan *signage* di setiap lantai. Berikut rekomendasi *signage* pusat perbelanjaan Malang Town Square:



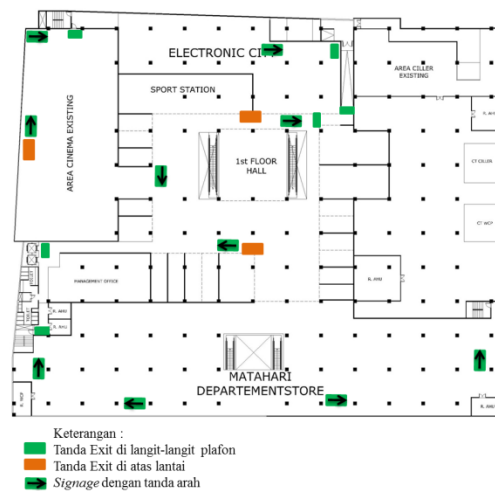
Gambar 7. Rekomendasi Tata Letak *Signage* Lantai 1



Gambar 8. Rekomendasi Tata Letak *Signage* Lantai 2



Gambar 9. Rekomendasi Tata Letak Signage Lantai 3



Gambar 10. Rekomendasi Tata Letak Signage Lantai 4

4. Kesimpulan

Berdasarkan prediksi waktu keluar dari masing-masing lantai, terdapat beberapa pintu yang melebihi batas waktu yang disyaratkan, antara lain :

1. Lantai 1 yang memiliki 2 akses pintu keluar dengan jumlah penghuni 1241 orang kurang memenuhi syarat (PERMEN PU no.26/PRT/M/2008). Solusi yang diambil adalah menambahkan 2 akses pintu keluar.
2. Lantai 2 yang mempunyai 6 akses pintu keluar masih ada 2 akses pintu keluar yang melebihi batas waktu yang disyaratkan, yaitu pintu B2 dan pintu C2. Solusi yang diambil untuk pintu B2 adalah dengan pengalihan akses penghuni (*re-layout*), sedangkan untuk pintu C2 dengan *re-layout* dan penambahan lebar koridor menuju pintu C2.
3. Lantai 3 yang mempunyai 5 akses pintu keluar masih ada 3 akses pintu keluar yang melebihi batas yang disyaratkan, yaitu pintu A3, pintu B3 dan pintu C3. Solusi yang diambil untuk pintu A3, B3 dan C3 adalah penambahan lebar koridor, pengalihan akses penghuni (*re-layout*) dan penambahan pintu keluar (untuk tenant Matahari).

4. Lantai 4 mempunyai 3 akses pintu keluar, ketiga pintu tersebut melebihi batas waktu yang disyaratkan. Solusi yang diambil untuk lantai 4 adalah dengan menambahkan pintu darurat dan untuk tenant Matahari ditambahkan akses pintu keluar menuju pintu B4. Setelah itu dilakukan pengalihan akses keluar penghuni (*re-layout*).

Sedangkan berdasarkan prediksi waktu keluar dari bangunan menggunakan tangga darurat, waktu yang dibutuhkan penghuni pada masing-masing tangga darurat adalah sebagai berikut :

1. Waktu yang dibutuhkan penghuni melewati tangga darurat A adalah 836 detik. Sedangkan penghuni pertama kali masuk ke pintu darurat pada detik ke-63, sehingga total waktu yang dibutuhkan oleh semua penghuni keluar dari bangunan adalah 899 detik atau 14,9 menit.
2. Waktu yang dibutuhkan penghuni melewati tangga darurat B adalah 1191 detik. Sedangkan penghuni pertama kali masuk ke pintu darurat pada detik ke-41, sehingga total waktu yang dibutuhkan oleh semua penghuni keluar dari bangunan adalah 1232 detik atau 20,5 menit.
3. Waktu yang dibutuhkan penghuni melewati tangga darurat C adalah 744 detik. Sedangkan penghuni pertama kali masuk ke pintu darurat pada detik ke-42, sehingga total waktu yang dibutuhkan oleh semua penghuni keluar dari bangunan adalah 786 detik atau 13,1 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Sufianto Heru, Thojib Jusuf. 2000. *Evaluasi Sistem Sirkulasi sebagai Fasilitas Sistem Evakuasi Bangunan dari Bahaya Kebakaran pada Gedung Perpustakaan*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 26/PRT/M/2008. *Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan*. 2008.
- SNI 03-1746-2000. *Tata Cara Perencanaan dan Pemasangan Sarana Jalan Keluar untuk Penyelamatan terhadap Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung*. 2000.
- Juwana, Jimmy s. 2005. *Panduan Sistem Bangunan Tinggi*. Jakarta: Erlangga
- Sumardjito. 2010. *Kajian Terhadap Kelayakan Sarana "Emergency Exit" pada Bangunan-Bangunan Pusat Perbelanjaan di Yogyakarta*. Artikel Jurnal PTK
- Fire Safety Engineering Concerning Evacuation from Building*. 2009. CPFA-Europe
- Life Safety Code*. 2012. *National Fire Protection Association 101 (NFPA 101)*
- Kuligowski, Erica. 2009. *The Process of Human Behavior in Fires*. National Institute of Standards and Technology