

## Evaluasi Efektivitas Jalur Evakuasi Berbasis Travel Distance, Evacuation Time, dan Flow Capacity pada Bangunan Pendidikan di Wilayah Rawan Gempa

Memey Arapa<sup>1\*</sup>, Faisal Ashar<sup>2</sup>, Fitra Rifwan<sup>3</sup>, Laras Oktavia Andreas<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\*Email: memey\_arapa@icloud.com

### Abstrak

Bangunan publik di wilayah rawan gempa memerlukan sistem evakuasi yang efektif untuk meminimalkan risiko korban jiwa saat kondisi darurat. Jalur evakuasi sebagai komponen utama keselamatan harus memenuhi standar teknis agar mampu mendukung perpindahan pengguna secara cepat dan aman. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas jalur evakuasi Gedung Digital Library Universitas Negeri Padang berdasarkan standar keselamatan gempa. Metode yang digunakan adalah penelitian evaluatif-deskriptif teknis melalui audit lapangan dan pengukuran langsung terhadap komponen jalur evakuasi. Analisis meliputi kesesuaian dimensi jalur, *travel distance*, *evacuation time*, *flow capacity*, dan *bottleneck* dengan mengacu pada SNI, NFPA 101, dan ISO 7010. Hasil menunjukkan bahwa *flow capacity* dan *bottleneck* berada dalam kategori efektif, namun *travel distance* sebesar 115,87 m dan *evacuation time* sebesar 165,39 detik tidak memenuhi standar. Secara keseluruhan, jalur evakuasi pada lantai dua belum efektif dalam mendukung evakuasi yang cepat dan aman. Temuan ini menunjukkan perlunya perbaikan desain jalur evakuasi untuk meningkatkan keselamatan pengguna.

**Kata Kunci:** Jalur Evakuasi; Travel Distance; Evacuation Time; Flow Capacity; Bottleneck

### Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini tidak memperoleh dukungan dana khusus dari lembaga pendanaan mana pun, baik dari sektor publik, komersial, maupun organisasi nirlaba

### UcapanTerima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing, penguji yang telah membimbing dan member saran terkait penelitian, serta orang tua dan teman-teman yang memberikan dukungan dan bantuan mulai dari awal penelitian hingga ke tahap penelitian selesai dilakukan.

### Etika Publikasi

Penelitian ini dilakukan di Digital Library UNP dan telah mendapatkan izin dari Fakultas dan izin dari tempat penelitian.

### Penyataan AI

Artikel ini merupakan karya orisinal Penulis yang disusun tanpa menggunakan alat AI, baik untuk penulisan kalimat maupun untuk pembuatan atau pengeditan tabel dan gambar dalam naskah ini.

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan tingkat kerentanan gempa bumi yang sangat tinggi akibat posisinya pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia. Interaksi antara lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik menyebabkan aktivitas seismik yang intens dan berulang di berbagai wilayah Indonesia (Anver & J. Prasetyo, 2025; Liu et al., 2026). Tingginya frekuensi gempa bumi di Indonesia berimplikasi langsung terhadap risiko keselamatan manusia, terutama pada kawasan dengan kepadatan aktivitas tinggi (Fatmah et al., 2026; Weber et al., 2026). Selain kerusakan struktural bangunan, faktor non-struktural seperti sistem evakuasi juga berperan penting dalam menentukan jumlah korban jiwa saat bencana terjadi (Fitria et al., 2024). Oleh karena itu, mitigasi bencana gempa tidak hanya berfokus pada kekuatan struktur bangunan, tetapi juga pada kesiapan sistem evakuasi yang efektif (Bernardini & Ferreira, 2022).

Wilayah Sumatera Barat merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki tingkat risiko gempa tinggi akibat keberadaan zona subduksi dan sesar aktif. Aktivitas tektonik di sepanjang zona subduksi Mentawai menjadikan wilayah ini sering mengalami gempa bumi dengan magnitudo signifikan (Heliani et al., 2025). Sejarah mencatat beberapa gempa besar yang berdampak luas terhadap infrastruktur dan keselamatan masyarakat di wilayah ini (Strunz et al., 2011). Kondisi tersebut menuntut kesiapsiagaan yang tinggi, terutama pada bangunan publik yang memiliki tingkat okupansi tinggi (Ismail et al., 2020). Oleh karena itu, evaluasi sistem keselamatan bangunan di wilayah rawan gempa menjadi sangat penting untuk mengurangi risiko bencana.

Bangunan publik, khususnya fasilitas pendidikan, memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap risiko bencana karena karakteristik pengguna dan intensitas aktivitasnya. Fasilitas pendidikan seringkali menampung jumlah pengguna yang besar dalam waktu bersamaan, sehingga meningkatkan kompleksitas proses evakuasi saat keadaan darurat (C.-Y. Li et al., 2026). Perpustakaan atau digital library merupakan salah satu fasilitas yang memiliki aktivitas relatif statis, sehingga respons pengguna terhadap kondisi darurat cenderung lebih lambat (Lin et al., 2020; Zhang et al., 2025). Studi kasus pada Universitas Negeri Padang menunjukkan bahwa Gedung Digital Library menjadi pusat aktivitas akademik mahasiswa dengan intensitas kunjungan yang tinggi. Hal ini menjadikan aspek keselamatan, khususnya jalur evakuasi, sebagai komponen yang sangat krusial dalam perencanaan dan evaluasi bangunan tersebut.

Jalur evakuasi merupakan komponen utama dalam sistem keselamatan bangunan. Fungsi jalur evakuasi untuk memastikan proses penyelamatan pengguna berjalan dengan cepat dan aman. Standar keselamatan bangunan seperti SNI dan pedoman internasional seperti NFPA menekankan pentingnya desain jalur evakuasi yang memenuhi kriteria teknis tertentu (Sujatmiko et al., 2016). Parameter seperti dimensi jalur, jarak tempuh evakuasi (*travel distance*), waktu evakuasi (*evacuation time*), serta kapasitas aliran manusia (*flow capacity*) menjadi indikator utama dalam menilai efektivitas jalur evakuasi (Hui et al., 2024; Rifwan et al., 2025). Selain itu, keberadaan hambatan fisik atau *bottleneck* dapat secara signifikan menghambat kelancaran proses evakuasi dan meningkatkan risiko kepadatan (Hu et al., 2026). Oleh karena itu, evaluasi teknis terhadap jalur evakuasi menjadi langkah penting dalam menjamin keselamatan pengguna bangunan.

Secara ideal, setiap bangunan publik seharusnya memenuhi standar keselamatan evakuasi yang telah ditetapkan melalui regulasi nasional maupun internasional. Namun, dalam praktiknya masih banyak bangunan yang belum melalui evaluasi teknis secara menyeluruh terhadap jalur evakuasi yang dimiliki (Gao et al., 2023; Y. Huang et al., 2026). Evaluasi yang dilakukan seringkali bersifat administratif atau hanya berdasarkan persepsi

pengguna, tanpa didukung oleh analisis kuantitatif yang memadai (L. Huang et al., 2021). Hal ini menyebabkan ketidaksesuaian antara kondisi eksisting dengan standar yang seharusnya dipenuhi (Wang et al., 2024). Akibatnya, efektivitas jalur evakuasi dalam kondisi darurat menjadi diragukan dan berpotensi meningkatkan risiko korban jiwa.

Terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan terkait evaluasi jalur evakuasi pada bangunan pendidikan berbasis analisis teknis dan kuantitatif. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada simulasi atau persepsi pengguna, dibandingkan dengan pengukuran langsung kondisi fisik jalur evakuasi (Atas et al., 2026). Selain itu, integrasi antara analisis dimensi jalur, waktu evakuasi, kapasitas aliran, dan identifikasi *bottleneck* masih jarang dilakukan secara komprehensif dalam satu kajian (K. Wu et al., 2025). Minimnya penelitian berbasis audit teknis ini menyebabkan kurangnya data empiris yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kebijakan keselamatan bangunan. Selain itu, belum terdapat penelitian spesifik yang mengkaji efektivitas jalur evakuasi pada Gedung Digital Library Universitas Negeri Padang.

Penelitian mengenai efektivitas jalur evakuasi menjadi sangat penting mengingat tingginya risiko korban jiwa yang dapat terjadi akibat sistem evakuasi yang tidak optimal. Ketidakefektifan jalur evakuasi dapat menyebabkan keterlambatan proses penyelamatan serta peningkatan kepadatan pada titik-titik tertentu (Han et al., 2026; Sun et al., 2025). Data empiris yang diperoleh melalui evaluasi teknis sangat dibutuhkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perbaikan sistem keselamatan bangunan (Kannangara et al., 2026). Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan standar keselamatan yang lebih kontekstual terhadap kondisi bangunan pendidikan di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini memiliki kontribusi penting dalam upaya mitigasi risiko bencana gempa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat efektivitas jalur evakuasi Gedung Digital Library Universitas Negeri Padang berdasarkan standar keselamatan gempa. Evaluasi dilakukan melalui analisis kesesuaian dimensi jalur evakuasi dengan standar yang berlaku. Selain itu, penelitian ini juga menghitung jarak tempuh evakuasi (*travel distance*) dan waktu evakuasi (*evacuation time*) sebagai indikator kinerja dasar evakuasi. Analisis kapasitas jalur atau tangga (*flow capacity*) serta identifikasi hambatan jalur (*bottleneck*) juga dilakukan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kondisi eksisting. Hasil dari seluruh analisis tersebut digunakan untuk menentukan tingkat efektivitas jalur evakuasi secara objektif dan komprehensif. Penelitian ini mengisi gap dengan pendekatan audit teknis langsung pada bangunan Pendidikan yang belum banyak dilakukan di Indonesia.

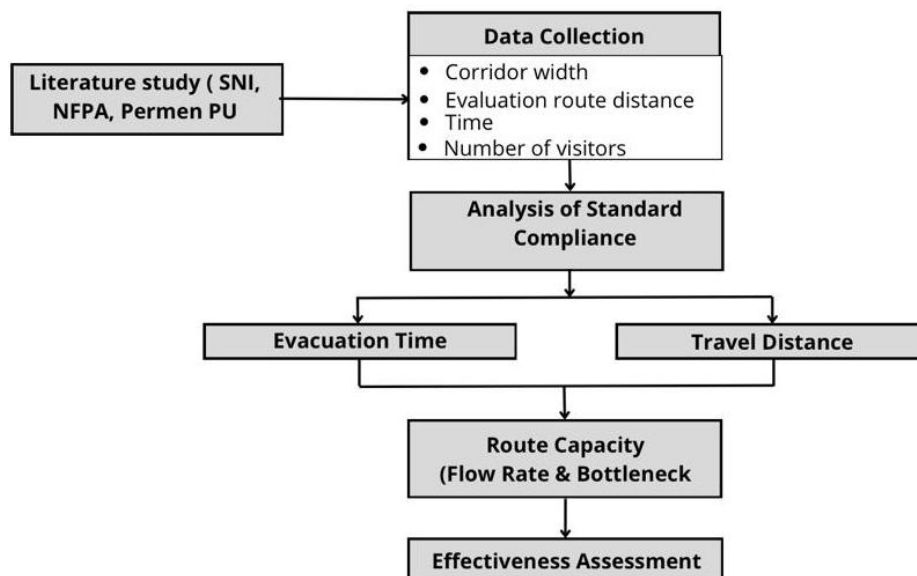
## 2. Metode dan Bahan

Penelitian ini menggunakan desain evaluatif-deskriptif teknis untuk menilai efektivitas jalur evakuasi bangunan berdasarkan standar keselamatan yang berlaku. Pendekatan ini dilakukan melalui audit teknis dan pengukuran langsung terhadap kondisi eksisting jalur evakuasi tanpa melibatkan persepsi pengguna (Herlina Putri et al., 2025). Evaluasi difokuskan pada jalur evakuasi dari dalam bangunan hingga mencapai titik kumpul (*assembly point*) sebagai bagian penting dalam sistem keselamatan darurat. Standar yang digunakan meliputi SNI, pedoman National Fire Protection Association melalui NFPA 101, serta ISO 7010 untuk simbol keselamatan. Kombinasi standar tersebut memungkinkan penilaian yang komprehensif dan sesuai dengan praktik keselamatan bangunan internasional.

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh komponen jalur evakuasi pada Gedung Digital Library Universitas Negeri Padang yang berfungsi sebagai bangunan publik dengan intensitas kunjungan tinggi. Gedung ini terdiri dari beberapa lantai dan dilengkapi dengan fasilitas evakuasi seperti koridor horizontal, tangga darurat, pintu keluar darurat, rambu evakuasi, serta titik kumpul (*assembly point*). Sampel penelitian difokuskan pada jalur evakuasi di lantai dua yang memiliki akses langsung menuju *assembly point* luar ruangan. Teknik sampling yang digunakan adalah *purposive sampling*, dengan mempertimbangkan bahwa lantai tersebut merepresentasikan jalur evakuasi utama menuju area aman. Komponen yang dianalisis meliputi koridor evakuasi, dua tangga darurat, dua pintu keluar darurat, serta rambu dan arah evakuasi menuju titik kumpul.

Instrumen penelitian yang digunakan berupa alat ukur fisik dan lembar observasi berbasis standar keselamatan bangunan. Pengukuran dimensi jalur evakuasi dilakukan menggunakan meteran, sedangkan estimasi waktu evakuasi didukung dengan penggunaan stopwatch untuk memperoleh data kuantitatif yang akurat. Selain itu, digunakan form checklist audit teknis untuk menilai kesesuaian kondisi eksisting dengan standar yang berlaku. Parameter dalam checklist meliputi jalur evakuasi, tangga darurat, pintu darurat, tanda arah evakuasi, lampu darurat, serta *assembly point*. Instrumen tersebut disusun mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan regulasi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) guna menjamin validitas dan kesesuaian dengan ketentuan teknis yang berlaku.

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui observasi langsung dan pengukuran lapangan pada jalur evakuasi lantai dua Gedung Digital Library Universitas Negeri Padang. Tahap pengumpulan data meliputi pengukuran lebar koridor, identifikasi jalur evakuasi, pencatatan jarak tempuh, waktu evakuasi, serta jumlah rata-rata pengunjung sebagai dasar analisis kapasitas. Selain itu, dilakukan dokumentasi visual dan pencatatan kondisi eksisting untuk mendukung validitas data yang diperoleh. Seluruh tahapan pengumpulan data disusun secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir penelitian. Proses ini memastikan bahwa data yang diperoleh mencerminkan kondisi aktual jalur evakuasi secara objektif dan terukur.



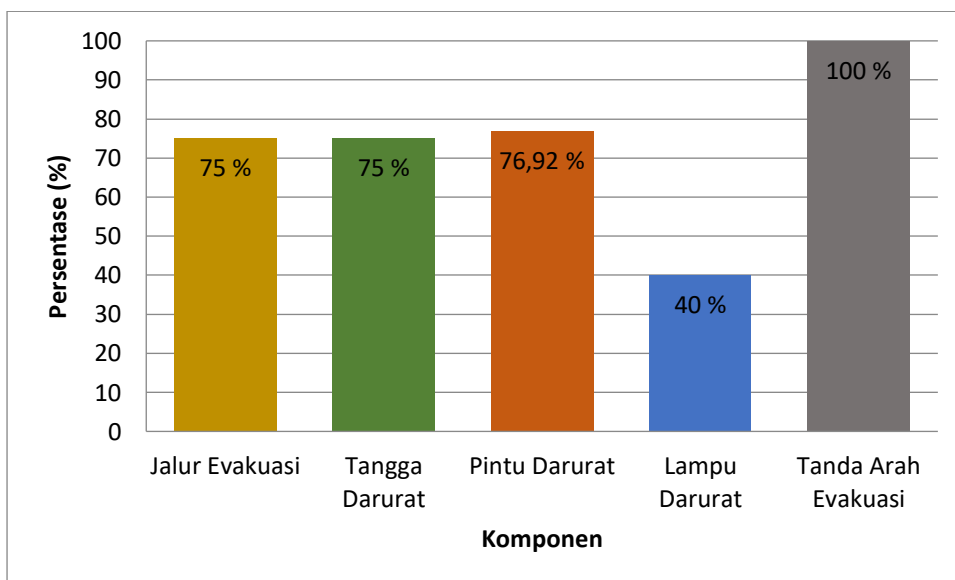
Gambar 1. Diagram Alir

Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif dengan mengacu pada standar keselamatan bangunan yang berlaku. Analisis kesesuaian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dimensi jalur evakuasi terhadap kriteria dalam SNI dan regulasi Kementerian

Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Perhitungan waktu evakuasi dilakukan menggunakan persamaan  $t=d/vt = d/vt=d/v$ , dengan waktu rata-rata yang diperoleh dari tiga individu sebagai representasi kecepatan pergerakan, dan dikategorikan efektif apabila tidak melebihi 12 detik. Selanjutnya, *flow rate* dihitung menggunakan pendekatan densitas dikalikan kecepatan, sedangkan identifikasi *bottleneck* dilakukan berdasarkan laju aliran orang terhadap lebar jalur atau tangga. Jalur evakuasi dinyatakan efektif apabila nilai hambatan (*bottleneck*) tidak melebihi 120 sekon, sehingga mencerminkan kelancaran pergerakan menuju titik aman.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pertama yang diperoleh adalah hasil analisis dimensi terhadap standar yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini. Analisis ini dilakukan untuk menilai tingkat kesesuaian komponen jalur evakuasi dengan ketentuan teknis yang berlaku pada bangunan publik. Evaluasi mencakup berbagai elemen penting yang berperan dalam mendukung kelancaran dan keselamatan proses evakuasi saat kondisi darurat. Penilaian dilakukan berdasarkan hasil pengukuran langsung di lapangan yang kemudian dibandingkan dengan standar yang ditetapkan. Hasil analisis ini memberikan gambaran awal mengenai tingkat kelayakan jalur evakuasi dalam mendukung sistem keselamatan bangunan.



4. **Figure 2.** Hasil Analisis Dimensi terhadap Standar

Berdasarkan hasil analisis kesesuaian dimensi terhadap standar yang telah ditetapkan, diperoleh tingkat kesesuaian yang bervariasi pada setiap komponen jalur evakuasi. Jalur evakuasi horizontal dan tangga darurat masing-masing menunjukkan tingkat kesesuaian sebesar 75%, sedangkan pintu darurat memiliki nilai 76,92% yang dapat dikategorikan cukup memenuhi persyaratan. Tanda arah evakuasi menunjukkan kesesuaian sempurna sebesar 100%, namun lampu darurat hanya mencapai 40% sehingga menunjukkan adanya kekurangan signifikan pada aspek pencahayaan. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa tidak semua komponen jalur evakuasi telah memenuhi standar secara optimal dan berpotensi mempengaruhi efektivitas sistem evakuasi secara keseluruhan. Nilai kesesuaian yang belum maksimal pada beberapa komponen mengindikasikan adanya keterbatasan dimensi yang

dapat mempengaruhi kapasitas pergerakan pengguna saat kondisi darurat (NFPA, 2018). Meskipun aspek visual seperti tanda arah evakuasi telah terpenuhi dengan baik dalam membantu orientasi pengguna, rendahnya kesesuaian pada lampu darurat menjadi perhatian karena pencahayaan sangat krusial terutama saat terjadi gangguan listrik. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan pada komponen yang belum memenuhi standar agar sistem evakuasi dapat berfungsi secara optimal dan aman.

Hasil kedua yang diperoleh adalah analisis terhadap jarak tempuh evakuasi (*travel distance*) pada jalur evakuasi yang diteliti. Analisis ini bertujuan untuk menilai sejauh mana jarak yang harus ditempuh pengguna dari titik awal hingga mencapai area aman sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku. Jarak tempuh evakuasi merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi kecepatan dan keberhasilan proses penyelamatan dalam kondisi darurat. Pengukuran dilakukan berdasarkan lintasan aktual yang dilalui pengguna selama proses evakuasi. Hasil dari analisis ini memberikan gambaran mengenai tingkat efisiensi jalur evakuasi dalam mendukung perpindahan menuju titik kumpul.

Tabel 1. Perhitungan Jarak Tempuh

Segmen	Jalur	Jarak (m)
d1	Ruang baca – koridor	27,7
d2	Koridor – pintu darurat	26,09
d3	Pintu darurat – pintu keluar utama	62,07
<b><math>\Sigma d</math></b>		<b>115,86</b>

Source : Universitas Negeri Padang of Digital Library (2026)

Berdasarkan hasil pengukuran jarak tempuh evakuasi (*travel distance*), diperoleh total jarak sebesar 115,87 m dari titik awal hingga mencapai *assembly point*, yang terdiri dari tiga segmen utama yaitu 27,70 m, 26,09 m, dan 62,07 m, dengan segmen ketiga sebagai lintasan terpanjang. Jika dibandingkan dengan standar keselamatan bangunan, jarak tersebut melebihi batas maksimum yang diizinkan, di mana menurut National Fire Protection Association melalui NFPA 101, jarak tempuh evakuasi maksimum untuk bangunan tanpa sistem sprinkler berkisar antara 45 m hingga 60 m tergantung fungsi bangunan (NFPA, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa jalur evakuasi pada lantai dua Gedung Digital Library tidak memenuhi standar yang ditetapkan. Jarak tempuh yang melebihi batas ini berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam proses evakuasi karena semakin panjang lintasan akan meningkatkan kemungkinan terjadinya kepadatan dan penurunan kecepatan pergerakan pengguna. Selain itu, desain jalur evakuasi yang kurang efisien dapat meningkatkan risiko kelelahan, disorientasi, serta hambatan selama proses penyelamatan (Koo et al., 2014; Shi et al., 2026). Oleh karena itu, diperlukan evaluasi ulang terhadap tata letak jalur evakuasi atau penambahan akses keluar yang lebih dekat guna meningkatkan efektivitas sistem evakuasi secara keseluruhan.

Hasil ketiga yang diperoleh adalah analisis terhadap waktu evakuasi (*evacuation time*) pada jalur evakuasi yang diteliti. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui estimasi waktu yang dibutuhkan pengguna dalam mencapai titik aman melalui jalur evakuasi yang tersedia. Waktu evakuasi merupakan parameter penting dalam menilai efektivitas sistem keselamatan bangunan, karena berkaitan langsung dengan peluang penyelamatan saat kondisi darurat.

Perhitungan dilakukan berdasarkan jarak tempuh dan kecepatan pergerakan pengguna selama proses evakuasi. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai tingkat efisiensi waktu dalam mendukung proses evakuasi yang aman dan cepat.

Tabel 1. Perhitungan Waktu Evakuasi

Segmen	Waktu (s)			Rata-rata (s)	Kecepatan (m/s)	Waktu evakuasi (s)
	1	2	3			
$d_1 = 27,70$	12,50	8,66	10,56	$t_1=10,57$	$v_1= 2,62$	25,59
$d_2 = 26,09$	21,30	17,56	15,45	$t_2 = 18,10$	$v_2= 1,44$	
$d_3 = 62,07$	27	28	28	$t_3 = 27,66$	$v_3=2,24$	
$\Sigma d = 115,87$					$v_{average}= 2,10$	

Berdasarkan hasil perhitungan waktu evakuasi (*evacuation time*), diperoleh total waktu sebesar 25,59 detik untuk mencapai titik aman melalui jalur evakuasi yang tersedia, yang dihitung dari rata-rata waktu tempuh tiga orang pada setiap segmen jalur. Kecepatan rata-rata yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung waktu evakuasi keseluruhan berdasarkan panjang jalur evakuasi. Hasil ini menunjukkan bahwa waktu evakuasi melebihi kriteria efektivitas yang telah ditetapkan sehingga dikategorikan tidak efektif. Waktu evakuasi yang relatif lama mengindikasikan bahwa jalur evakuasi belum mampu mendukung perpindahan pengguna secara cepat dan efisien, yang sejalan dengan temuan bahwa jarak tempuh yang panjang berkontribusi terhadap peningkatan waktu evakuasi. Selain itu, kecepatan pergerakan pengguna juga dapat dipengaruhi oleh kondisi jalur seperti lebar koridor dan adanya hambatan yang mengurangi kelancaran pergerakan. Standar keselamatan bangunan menekankan bahwa waktu evakuasi harus berada dalam batas tertentu untuk meminimalkan risiko, sehingga waktu yang melebihi batas tersebut berpotensi meningkatkan kepadatan, kepanikan, dan keterlambatan dalam mencapai area aman (NFPA, 2018).

Hasil keempat yang diperoleh adalah analisis terhadap kapasitas jalur evakuasi (*flow capacity*) pada jalur yang diteliti. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan jalur evakuasi dalam menampung dan mengalirkan pergerakan pengguna selama proses evakuasi. Kapasitas jalur evakuasi merupakan parameter penting yang berkaitan dengan kepadatan dan kelancaran arus manusia dalam kondisi darurat. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan hubungan antara densitas dan kecepatan pergerakan pengguna pada jalur evakuasi. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai tingkat kemampuan jalur dalam mendukung proses evakuasi secara efektif dan aman.

Tabel 2. Analisis Kapasitas Jalur Evakuasi

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Kepadatan	D	0,221	Orang/ m <sup>2</sup>
Kecepatan	v	2,10	m/s
Flow rate	F	1,721	orang/s/m

Berdasarkan hasil analisis kapasitas jalur evakuasi (*flow capacity*), diperoleh nilai laju aliran sebesar 1,721 orang/m/detik yang dihitung dari perkalian antara densitas pengguna dan kecepatan rata-rata pergerakan. Nilai ini menunjukkan kemampuan jalur dalam mengalirkan pergerakan pengguna selama proses evakuasi berlangsung dan kemudian dibandingkan dengan kriteria efektivitas yang telah ditetapkan. Hasil perbandingan

menunjukkan bahwa kapasitas jalur evakuasi termasuk dalam kategori efektif dalam mendukung pergerakan menuju titik aman. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kombinasi antara lebar jalur dan kecepatan pergerakan masih berada dalam batas yang memungkinkan aliran manusia berjalan lancar tanpa menimbulkan kepadatan berlebih. Secara teoritis, kapasitas aliran yang optimal dapat meminimalkan potensi kemacetan dan mempercepat proses evakuasi secara keseluruhan (Dhamala et al., 2026; Y. Wu et al., 2025). Namun demikian, efektivitas kapasitas jalur tetap perlu dipertimbangkan bersama parameter lain seperti jarak tempuh dan waktu evakuasi agar kinerja sistem evakuasi secara keseluruhan dapat ditingkatkan.

Hasil terakhir yang diperoleh adalah analisis terhadap hambatan jalur evakuasi (*bottleneck*) pada jalur yang diteliti. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi penyempitan atau titik hambatan yang dapat mengganggu kelancaran aliran evakuasi. Keberadaan *bottleneck* menjadi faktor penting karena dapat menyebabkan penumpukan pengguna dan memperlambat proses evakuasi secara keseluruhan. Evaluasi dilakukan dengan mempertimbangkan hubungan antara laju aliran manusia dan dimensi jalur evakuasi yang tersedia. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai tingkat kelancaran pergerakan pengguna dalam mencapai titik aman.

Tabel 3. Analisis Efektivitas hambatan jalur evakuasi

Laju aliran orang	Lebar Koridor (m)	Penghuni Lantai
0,573675	3,7 × 2	410
C = 10,06779 orang/s		
T = 70,55269 s		

Berdasarkan hasil analisis hambatan jalur evakuasi (*bottleneck*), diperoleh nilai kapasitas sebesar 0,822598 dan waktu aliran sebesar 70,55268 sekon yang dihitung dari hubungan antara laju aliran manusia dan dimensi jalur evakuasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk melewati titik hambatan masih berada dalam batas yang diizinkan, yaitu tidak melebihi 120 sekon. Dengan demikian, jalur evakuasi pada titik yang dianalisis dapat dikategorikan efektif dalam mengalirkan pergerakan pengguna tanpa hambatan yang signifikan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tidak terjadi penyempitan jalur yang berarti, sehingga aliran evakuasi dapat berlangsung relatif lancar tanpa menyebabkan penumpukan berlebih. Dalam kajian dinamika evakuasi, *bottleneck* yang terkendali berperan penting dalam menjaga stabilitas arus manusia dan mencegah kepadatan ekstrem (He et al., 2024; J. Li et al., 2022). Standar keselamatan juga menekankan bahwa waktu aliran pada titik kritis harus berada dalam batas aman untuk menjamin efektivitas proses.

## 5. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas jalur evakuasi Gedung Digital Library Universitas Negeri Padang berdasarkan standar keselamatan gempa yang berlaku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa komponen jalur evakuasi, seperti kapasitas aliran (*flow capacity*) dan kondisi *bottleneck*, berada dalam kategori efektif, sehingga mampu mendukung kelancaran pergerakan pengguna. Namun demikian, parameter utama lainnya seperti jarak tempuh evakuasi (*travel distance*) dan waktu evakuasi (*evacuation time*) tidak memenuhi kriteria efektivitas karena melebihi batas standar yang ditetapkan.

Ketidakesuaian ini menunjukkan bahwa jalur evakuasi belum sepenuhnya optimal dalam menjamin proses evakuasi yang cepat dan aman. Secara keseluruhan, jalur evakuasi pada lantai dua Gedung Digital Library belum dapat dikategorikan efektif secara menyeluruh karena masih terdapat aspek kritis yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi dan penataan ulang jalur evakuasi untuk meningkatkan keselamatan pengguna dalam kondisi darurat gempa.

## Referensi

- Anver, G. K., & J. Prasetyo, S. Y. (2025). Analysis of Earthquake Intensity on Java Island Using K-Means Clustering and GeoMap. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 6(1), 469–479. <https://doi.org/10.59141/jist.v6i1.1359>
- Atas, G., Zambetta, F., Morrison, R., & Kuligowski, E. D. (2026). Beyond stay-or-go: a systematic review of factors influencing evacuation travel behaviour and the methodological approaches. *Safety Science*, 200(March), 107212. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2026.107212>
- Bernardini, G., & Ferreira, T. M. (2022). Combining Structural and Non-structural Risk-reduction Measures to Improve Evacuation Safety in Historical Built Environments. *International Journal of Architectural Heritage*, 16(6), 820–838. <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.2001117>
- Dhamala, T. N., Khanal, D. P., & Nickel, S. (2026). Optimizing evacuation via budget constrained maximum dynamic flow with speed variation and intermediate storage. *European Journal of Operational Research*, 332(2), 676–692. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.12.026>
- Fatmah, F., Fitrinitia, I. S., & Gao, L. (2026). Earthquake resilience among apartment and flat communities: a qualitative study in Jakarta, Indonesia. *Frontiers in Built Environment*, 12(January), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2026.1749818>
- Fitria, W., Guspari, O., Afriyani, S., Putra, R. T., & Misriani, M. (2024). Design of Non-Engineered Earthquake Resistant Housing in West Sumatera. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 5(2), 226–237. <https://doi.org/10.37253/jcep.v5i2.10008>
- Gao, S., Chang, C., Liu, Q., Zhang, M., & Yu, F. (2023). Study on the optimization for emergency evacuation scheme under fire in university building complex. *Heliyon*, 9(3), e14277. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14277>
- Han, Y., Mao, Z., Su, X., Chen, X., Zhang, L., Ma, X., Tian, H., Fan, X., & Guo, Y. (2026). Experimental study of crowd evacuation dynamics considering the effects of different obstacles. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 681, 131112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physa.2025.131112>
- He, Y., Fu, L., Chen, Q., Zhang, Y., Shen, C., Shi, Y., & Cao, S. (2024). The effect of building bottlenecks on crowd dynamics involving individuals with simulated disabilities. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 654, 130157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.130157>
- Heliani, L. S., Pratama, C., Wibowo, A., Sahara, D. P., Susilo, S., Wibowo, S. T., Safii, A. N., Prayoga, O., Sudrajat, A., Fuady Bisri, M. B., Kurniasari, E. D., Evelinda, S., & Setiawan Gunawan, N. G. (2025). Strain accumulation in the Mentawai Forearc Sliver, Indonesia, inferred from continuous GNSS-derived strain rate. *Geodesy and Geodynamics*, 16(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2024.04.003>
- Herlina Putri, A., Cholis Idham, N., & Ababssi, R. (2025). Evaluating the Performance of

- Evacuation Routes in an Academic Facility Using Pathfinder Simulation and Regulatory. *Journal of Architectural Design and Urbanism*, 8(1), 28–41. <https://doi.org/10.14710/jadu.v>
- Hu, J., Song, W., Yu, H., Li, X., Ren, J., & Zhang, J. (2026). Effects of obstacle number and layout on evacuation of high-density crowd at exits. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 685, 131275. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physa.2026.131275>
- Huang, L., Gong, J., & Li, W. (2021). A perception model for optimizing and evaluating evacuation guidance systems. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi10020054>
- Huang, Y., Yu, H., Yang, Z., Hu, X., & Pan, X. (2026). Emergency-Evacuation Safety Evaluation of Temporary Examination Rooms in University Teaching Buildings Based on Grey Relational Analysis. *Applied Sciences*, 16(1), 1–23. <https://doi.org/10.3390/app16010210>
- Hui, Y., Yu, Q., & Peng, H. (2024). Data-driven mathematical simulation analysis of emergency evacuation time in smart station's operations management. *PLoS ONE*, 19(2 February), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298622>
- Ismail, F. A., Hakam, A., & Ophiyandri, T. (2020). Earthquake safe houses training for tsunami preparedness in West Sumatra. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), 318–324. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.7850>
- Kannangara, C., Kuligowski, E., Siriwardana, C., Zhang, G., Adikariwattage, V., & Jayawardane, P. (2026). Exploring the science of evacuation behavior and decision-making during large scale community evacuations: A scientometrics analysis and scoping review. *Safety Science*, 195, 107065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.107065>
- Koo, J., Kim, B.-I., & Kim, Y. S. (2014). Estimating the effects of mental disorientation and physical fatigue in a semi-panic evacuation. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2379–2390. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.09.036>
- Li, C.-Y., Lu, G., Zhang, F., & Chen, L. (2026). Modelling evacuation dynamics in multi-storey school dormitories under fire conditions. *Reliability Engineering & System Safety*, 274, 112393. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2026.112393>
- Li, J., Wang, J., Xu, S., Feng, J., Li, J., Wang, Z., & Wang, Y. (2022). The effect of geometric layout of exit on escape mechanism of crowd. *Building Simulation*, 15(4), 659–668. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0799-2>
- Lin, J., Zhu, R., Li, N., & Becerik-Gerber, B. (2020). How occupants respond to building emergencies: A systematic review of behavioral characteristics and behavioral theories. *Safety Science*, 122, 104540. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104540>
- Liu, F., Sun, D., Yang, T., & Dai, Y. (2026). Subduction Zones Beneath Indonesia Imaged by Phase Velocity Tomography. *Geosciences*, 16(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/geosciences16030101>
- NFPA. (2018). *National Fire Protection Association*. Life Safety Code.
- Rifwan, F., Andreas, L. O., Ashar, F., Zola, P., & Arifin, A. (2025). Analysis of Time and Distance Factors in Tsunami Evacuation Transportation Planning in Padang, West Sumatra. *International Journal of GEOMATE*, 29(132), 90–97. <https://doi.org/10.21660/2025.132.4975>
- Shi, X.-N., Qi, J.-W., Gao, S., & Su, H.-C. (2026). Evacuation time assessment and optimization of high-rise office buildings considering the vertical fatigue of evacuees. *Journal of Building Engineering*, 121, 115734.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2026.115734>
- Strunz, G., Post, J., Zosseder, K., Wegscheider, S., Mück, M., Riedlinger, T., Mehl, H., Dech, S., Birkmann, J., Gebert, N., Harjono, H., Anwar, H. Z., Sumaryono, Khomarudin, R. M., & Muhari, A. (2011). Tsunami risk assessment in Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Science*, *11*(1), 67–82. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-67-2011>
- Sujatmiko, W., Litbang Perumahan, P., Permukiman, D., Litbang, B., Pekerjaan, K., Dan, U., Rakyat, P., Panyawungan, J., Wetan, C., & Bandung, K. (2016). The Application of the Standard of Fire Safety Evacuation In Building in Indonesia. *Jurnal Pemukiman*, *11*(2), 116–127.
- Sun, H., Zhu, K., Wang, G., Hu, H., Guo, P., Wu, K., & Zhang, T. (2025). Experimental study on pedestrian evacuation characteristics through building bottleneck group structure. *Developments in the Built Environment*, *23*(August). <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100734>
- Wang, Q., Yu, Y., Jin, L., Zheng, Z., Ding, J., & Lu, L. (2024). Evacuation safety assessment in corridor-type high-rise building under fires. *Journal of Building Engineering*, *96*, 110580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110580>
- Weber, R., Cummins, P., Silva, V., & Edwards, M. (2026). A Building Exposure Model for Java, Indonesia, for use in Seismic Risk Assessment. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 429–464. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1771-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1771-9_19)
- Wu, K., Sun, H., Zhu, Z., Hu, H., Xu, J., Zhu, K., Zhang, X., & Zhang, T. (2025). Experimental study on the emergency evacuation behavior in building with bottleneck group. *Journal of Building Engineering*, *106*, 112576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112576>
- Wu, Y., Xia, J., & Haiyirete, X. (2025). Enhancing Disaster Resilience in Hospitals Through Flow Space-Optimized Evacuation Routes. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(12), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su17125419>
- Zhang, Z., Ling, W., Yang, Z., Wei, X., & Wang, H. (2025). A congestion prediction model for optimizing emergency evacuation design of university libraries in China. *Journal of Building Engineering*, *99*, 111537. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111537>