

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbeda dari bangunan pada umumnya, rumah sakit menyanggah fungsi khusus yang membuatnya tidak bisa disamakan dengan gedung publik biasa: di dalamnya ada nyawa yang bergantung pada kelangsungan pelayanan, sehingga urusan keselamatan dan keandalan sistem gedung bukan sekadar pelengkap, melainkan syarat mutlak yang harus dipenuhi. Urgensi mengenai keselamatan kebakaran di fasilitas kesehatan menjadi sorotan utama menyusul insiden ledakan dan kegagalan sistem pada Rumah Sakit Semen Padang pada awal tahun 2024. Kejadian tersebut membuktikan bahwa risiko darurat di rumah sakit dapat terjadi kapan saja dan menimbulkan kompleksitas evakuasi yang luar biasa, terutama bagi pasien yang sedang dalam perawatan. Hal ini menegaskan bahwa ketidaksesuaian antara fungsi gedung dan sistem keselamatan dapat berdampak fatal bagi penghuni yang rentan.

Kajian mengenai evakuasi bangunan saat ini sebagian besar masih menggunakan pendekatan deterministik melalui perbandingan antara *Available Safe Egress Time* (ASET) dan *Required Safe Egress Time* (RSET). Namun, pendekatan deterministik memiliki keterbatasan mendasar karena menganggap parameter krusial seperti waktu pra-pergerakan dan kecepatan berjalan sebagai nilai konstan. Padahal, studi oleh Mao et al. (2024) menunjukkan bahwa variabel evakuasi memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi dan bersifat stokastik. Penggunaan nilai tunggal dalam analisis deterministik berisiko memberikan kesimpulan keselamatan yang semu karena tidak mempertimbangkan probabilitas kegagalan pada kondisi ekstrem. Hal ini menyebabkan hasil analisis deterministik sering kali kurang mampu merepresentasikan tingkat risiko evakuasi secara realistis, terutama pada lingkungan rumah sakit di mana kecepatan evakuasi sangat bergantung pada tingkat keterbatasan fisik pasien.

Meskipun penelitian mengenai keandalan evakuasi telah berkembang di tingkat global seperti Mao (2025), Mao (2018) dan Zhang (2026), tetap terdapat kesenjangan penelitian di Indonesia. Sebagian besar studi keselamatan kebakaran di Indonesia masih terbatas pada evaluasi kualitatif melalui audit fasilitas dan

kesesuaian terhadap regulasi seperti (Permen PUPR No. 26/2008) tanpa melakukan pemodelan kuantitatif terhadap peluang keberhasilan evakuasi yang mengintegrasikan perilaku manusia. Di sisi lain, riset yang menggunakan pendekatan probabilistik seperti *First Order Second Moment* (FOSM) dan *Monte Carlo Simulation* (MCS) masih didominasi oleh objek bangunan perkantoran dan pendidikan, sementara penerapan pada fasilitas kesehatan yang memiliki kompleksitas penghuni tinggi masih sangat minim.

Integrasi antara analisis probabilitas keandalan dan perbandingan ASET-RSET merupakan arah terbaru dalam penelitian keselamatan kebakaran Penelitian Mao et al. (2025) secara eksplisit menyatakan bahwa evaluasi keselamatan evakuasi tidak cukup hanya dengan membandingkan ASET dan RSET, tetapi perlu memasukkan analisis keandalan untuk mengakomodasi ketidakpastian parameter. Melalui pendekatan ini, penilaian tidak lagi hanya berfokus pada klasifikasi aman atau tidak aman, tetapi pada besarnya peluang keberhasilan evakuasi sebelum kondisi lingkungan mencapai tingkat berbahaya (*untenable conditions*). Penggunaan metode *First Order Second Moment* (FOSM) dan *Monte Carlo Simulation* (MCS) memungkinkan pemodelan distribusi probabilistik yang mengakomodasi variasi parameter input sehingga hasil analisis menjadi lebih andal.

Rumah Sakit Padang Eye Center menjadi objek kajian yang krusial karena memiliki karakteristik okupansi yang tinggi pada jam kerja dengan tata ruang yang kompleks. Selain itu, keberadaan pasien dengan kondisi yang beragam, aktivitas tenaga kesehatan yang berlangsung secara bersamaan, serta keterbatasan jalur evakuasi berpotensi menyebabkan terjadinya kepadatan pada rute evakuasi. Kondisi tersebut mengakibatkan waktu evakuasi tidak bersifat tetap, melainkan dipengaruhi oleh berbagai ketidakpastian, seperti variasi waktu deteksi, waktu pra-pergerakan penghuni, kecepatan berjalan, serta dinamika perkembangan kebakaran. Pendekatan deterministik yang menggunakan satu nilai tunggal untuk setiap parameter belum mampu merepresentasikan variasi kondisi tersebut, sehingga berpotensi menghasilkan estimasi tingkat keselamatan yang kurang representatif. Oleh karena itu, diperlukan integrasi antara perbandingan *Available Safe Egress Time* (ASET) dan *Required Safe Egress Time* (RSET) dengan analisis probabilitas

keandalan untuk mengakomodasi ketidakpastian setiap parameter serta menghasilkan penilaian keandalan sistem evakuasi yang lebih akurat dan realistis.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi metode ASET-RSET dengan analisis probabilitas keandalan melalui simulasi MCS hingga 1.000.000 iterasi dan metode FOSM yang diterapkan secara spesifik pada bangunan rumah sakit di Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dengan menjembatani penerapan konsep analisis probabilitas keandalan ke dalam evaluasi keselamatan evakuasi kebakaran pada bangunan rumah sakit. Selain itu, penelitian ini diharapkan menghasilkan rekomendasi praktis bagi pengelola RS Padang Eye Center dalam meningkatkan sistem mitigasi kebakaran dan efektivitas proses evakuasi.

Metode *Available Safe Egress Time* (ASET) dan *Required Safe Egress Time* (RSET) merupakan pendekatan yang sederhana dan banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat keselamatan evakuasi kebakaran melalui perbandingan antara waktu aman yang tersedia dan waktu yang dibutuhkan penghuni untuk melakukan evakuasi. Metode ini juga dapat dikombinasikan dengan analisis probabilistik, seperti *First Order Second Moment* (FOSM) dan simulasi Monte Carlo, sehingga mampu mempertimbangkan ketidakpastian pada parameter evakuasi.

1.2 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis berbasis probabilistik terhadap keandalan evakuasi penghuni gedung Rumah Sakit Padang Eye Center dengan menggunakan pendekatan ASET dan RSET, serta indeks probabilitas keandalan melalui metode *First Order Second Moment* (FOSM) dan *Monte Carlo Simulation* (MCS).

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi potensi bahaya dan risiko kebakaran pada gedung Rumah Sakit Padang Eye Center;
2. Menilai tingkat keandalan evakuasi penghuni gedung Rumah Sakit Padang Eye Center berdasarkan nilai ASET dan RSET;

3. Menganalisis probabilitas keberhasilan evakuasi dengan metode FOSM dan MCS;
4. Memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas dan keandalan sistem evakuasi kebakaran di Rumah Sakit Padang Eye Center.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Sebagai dasar justifikasi teknis dalam menentukan efektivitas sistem proteksi kebakaran aktif dan pasif di tempat kerja;
2. Memberikan sumbangan ilmiah dalam pengembangan model evaluasi evakuasi yang memanfaatkan pendekatan kuantitatif dan probabilistik, khususnya untuk diterapkan pada fasilitas pelayanan kesehatan yang memiliki kompleksitas risiko tinggi;
3. Sebagai bahan masukan bagi pihak pengelola rumah sakit dalam melakukan evaluasi serta peningkatan sistem evakuasi, guna memastikan dan meningkatkan keselamatan seluruh penghuni gedung, terutama dalam menentukan prioritas alokasi sumber daya manusia dan peralatan saat terjadi kondisi darurat.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di Rumah Sakit Padang Eye Center, yang terdiri dari 6 lantai dan satu basement, masing-masing lantai memiliki beberapa ruangan seperti poli, laboratorium, farmasi, kamar rawat inap dan lain-lain;
2. Waktu penelitian dilakukan pada rentang April hingga Agustus 2026;
3. Parameter penelitian ini meliputi:
 - a. Parameter ASET diperoleh berdasarkan tinggi asap kritis, suhu ambang batas, dan konsentrasi gas berbahaya yang mengacu pada standar internasional keselamatan kebakaran (NFPA 101 dan ISO 1357:2012).
 - b. Parameter RSET mencakup waktu deteksi, waktu pra-pergerakan, dan waktu pergerakan penghuni menuju pintu keluar.
 - c. Analisis probabilitas keandalan menggunakan metode *First Order Second Moment* (FOSM) dan *Monte Carlo Simulation* (MCS) dilakukan dengan

memodelkan waktu pra-pergerakan (t_p) dan waktu pergerakan (t_m) sebagai variabel stokastik berdasarkan distribusi probabilitas yang ditentukan dari nilai rata-rata (*mean*) dan simpangan baku (*standard deviation*) hasil pengolahan data. Variabel tersebut digunakan untuk menghitung fungsi batas ($g = ASET - RSET$), indeks keandalan (β), probabilitas keberhasilan (Pr), probabilitas kegagalan (Pf), serta analisis sensitivitas guna mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh terhadap keandalan evakuasi.

- d. Data perilaku penghuni diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada tenaga medis, tenaga nonmedis, dan keluarga pasien di RS Padang Eye Center. Kuesioner digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik respons penghuni terhadap keadaan darurat, yang selanjutnya digunakan untuk mengestimasi waktu pra-pergerakan (*pre-movement time*) sebagai salah satu parameter dalam analisis FOSM dan Monte Carlo Simulation.
4. Analisis dalam penelitian ini mencakup:
 - a. Perhitungan deterministik awal melalui perbandingan langsung nilai ASET dan RSET.
 - b. Analisis probabilistik menggunakan metode *First Order Second Moment* (FOSM) untuk mendapatkan indeks keandalan (β) dan *Monte Carlo Simulation* (MCS) dengan 1.000.000 iterasi untuk mendapatkan distribusi probabilitas kegagalan (Pr).
5. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi:
 - a. Data untuk analisis ASET diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pihak manajemen RS Padang Eye Center. Data yang dikumpulkan meliputi denah gedung, jumlah dan dimensi jalur evakuasi, lokasi pintu keluar darurat, karakteristik bangunan, sistem proteksi kebakaran, serta informasi yang diperlukan untuk menentukan parameter *Available Safe Egress Time* (ASET).
 - b. Data untuk analisis RSET dan analisis probabilitas keandalan diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada dokter, perawat, staf nonmedis, dan keluarga/pengunjung pasien. Data yang dikumpulkan meliputi karakteristik penghuni, waktu reaksi (*pre-movement time*), serta informasi yang

digunakan untuk mengestimasi waktu pergerakan (*movement time*). Selanjutnya, data tersebut diolah untuk memperoleh nilai rata-rata dan simpangan baku sebagai parameter masukan dalam analisis *Required Safe Egress Time* (RSET), *First Order Second Moment* (FOSM), dan *Monte Carlo Simulation* (MCS).

6. Skenario kebakaran yang dianalisis dibatasi pada kejadian di hari dan jam operasi rumah sakit (Senin sd. Sabtu pukul 08.00 WIB sd. 17.40 WIB);
7. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan tiga skenario kebakaran utama, yaitu:

- (1) Kebakaran di Lantai Dasar (Area Parkir/Basement);
- (2) Kebakaran di Lantai Menengah (Ruang Operasi dan Ruang Tunggu);
- (3) Kebakaran di Lantai Teratas (Ruangan Laundry).

Pemilihan ketiga skenario ini didasarkan pada perbedaan posisi sumber api yang dapat memengaruhi pola evakuasi penghuni. Variasi perilaku penghuni (waktu deteksi, waktu pra-pergerakan, dan kecepatan berjalan) tidak dijadikan skenario terpisah, melainkan dimodelkan dalam analisis probabilistik menggunakan metode FOSM dan MCS.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, maksud dan tujuan, manfaat, ruang lingkup dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori dasar evakuasi bangunan, metode *Available Safe Egress Time* (ASET), *Required Safe Egress Time* (RSET), probabilitas keandalan, tahapan evakuasi, serta penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan penelitian yang akan dilakukan. Kemudian pengumpulan data primer dengan cara observasi

lapangan, penyebaran kuesioner, dan wawancara. Setelah itu dilakukan analisis data sehingga diperoleh kesimpulan dan saran berdasarkan hasil pembahasan.

BAB IV PEMBAHASAN

Berisikan tentang data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan meliputi gambaran umum lokasi Rumah Sakit Padang Eye Center, seperti deskripsi gedung, kapasitas, sarana keselamatan kebakaran, serta analisis potensi risiko berdasarkan sumber bahaya, kerentanan penghuni, dan hasil kuesioner maupun wawancara. Selanjutnya dilakukan analisis evakuasi dengan metode ASET-RSET untuk membandingkan waktu evakuasi aman dengan waktu yang dibutuhkan penghuni, yang dilanjutkan dengan perhitungan indeks probabilitas keandalan pada masing-masing gedung serta faktor-faktor yang memengaruhi keandalan evakuasi, serta rekomendasi pengendalian bahaya kebakaran berdasarkan hasil evaluasi.

BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian.

