

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keselamatan penghuni gedung merupakan salah satu aspek utama dalam penyelenggaraan sarana pendidikan, khususnya di kawasan kampus yang memiliki intensitas aktivitas tinggi. Gedung-gedung kampus biasanya berfungsi ganda sebagai ruang perkuliahan, laboratorium, ruang administrasi, hingga fasilitas penunjang lain yang pada jam-jam sibuk dipadati mahasiswa, dosen, dan tenaga kependidikan. Kondisi ini meningkatkan tingkat kerentanan terhadap bahaya kebakaran, karena evakuasi harus dilakukan oleh jumlah penghuni yang relatif besar dalam waktu singkat. Risiko kebakaran pada gedung kampus dapat menimbulkan dampak serius, tidak hanya berupa kerugian material, tetapi juga potensi jatuhnya korban jiwa akibat paparan panas, asap, maupun gas beracun yang dihasilkan oleh proses pembakaran. Dalam situasi darurat kebakaran, kecepatan dan ketepatan proses evakuasi menjadi faktor penentu keselamatan jiwa.

Berbagai kajian dalam bidang keselamatan kebakaran menunjukkan bahwa bangunan dengan tingkat hunian tinggi dan kompleksitas fungsi ruang memiliki tantangan evakuasi yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan dengan hunian rendah. Tingginya jumlah penghuni, variasi aktivitas yang berlangsung secara bersamaan, serta kompleksitas tata ruang dapat memperpanjang waktu pergerakan dan meningkatkan potensi terjadinya kepadatan pada jalur evakuasi. Kondisi tersebut berimplikasi pada meningkatnya risiko keterlambatan evakuasi dan paparan penghuni terhadap asap dan panas apabila terjadi kebakaran (DiNenno et al., 2002; Fang et al., 2003; Hurley et al., 2016). Selain itu, standar keselamatan kebakaran internasional menekankan bahwa keterlambatan evakuasi pada bangunan dengan tingkat hunian tinggi dapat secara drastis meningkatkan potensi korban jiwa akibat paparan asap dan panas sebelum seluruh penghuni berhasil mencapai tempat aman (British Standards Institution, 2004).

Metode ASET dan RSET merupakan dua faktor yang memengaruhi total waktu evakuasi. ASET didefinisikan sebagai waktu yang tersedia sejak awal terdeteksinya api hingga kondisi lingkungan dalam gedung menjadi tidak layak huni (*untenable*

conditions), seperti tingginya asap di bawah ambang aman atau suhu yang membahayakan. Sementara itu, RSET adalah total waktu yang diperlukan penghuni untuk mendeteksi bahaya, bereaksi (pra-pergerakan), dan bergerak menuju pintu keluar. Suatu bangunan dikategorikan aman apabila ASET lebih besar daripada RSET (SNI 03-1746-2000, Permen PUPR No. 26/ 2008).

Penelitian mengenai evakuasi bangunan selama ini umumnya masih terbatas pada pendekatan deterministik yang hanya membandingkan *Available Safe Egress Time* (ASET) dengan *Required Safe Egress Time* (RSET). Pendekatan ini cenderung menyederhanakan kondisi nyata karena mengasumsikan parameter-parameter seperti waktu pra-pergerakan, kecepatan berjalan dan respons terhadap sistem peringatan sebagai nilai tetap, padahal sesungguhnya bersifat acak dan penuh ketidakpastian. Akibatnya, hasil analisis deterministik sering kali kurang mampu merepresentasikan risiko secara realistis. Kajian berbasis keandalan (*reliability analysis*) pada bangunan pendidikan masih relatif jarang dilakukan, terutama di Indonesia, meskipun bangunan kampus memiliki kompleksitas tata ruang, kepadatan tinggi serta variasi perilaku individu yang signifikan dalam memengaruhi proses evakuasi. (Babrauskas et al., 2010) Mengemukakan bahwa representasi ASET dan RSET sebagai nilai tunggal tidak mampu menggambarkan ketidakpastian perilaku manusia dan dinamika kebakaran yang sesungguhnya.

Pengembangan terbaru dalam penelitian keselamatan kebakaran adalah integrasi perbandingan ASET–RSET dengan analisis probabilitas keandalan. Pendekatan ini tidak hanya menilai apakah sebuah bangunan aman atau tidak, melainkan juga menghitung besarnya tingkat keyakinan (*probability of reliability*) bahwa penghuni dapat menyelesaikan evakuasi sebelum kondisi berbahaya tercapai. Indeks probabilitas keandalan, berupa rasio ASET/RSET, memberikan informasi kuantitatif yang lebih objektif, serta memungkinkan penentuan zona aman dan zona berbahaya dalam perancangan bangunan (Mao et al., 2024). Dalam perkembangannya, metode kuantitatif seperti *First Order Second Moment* (FOSM) dan *Monte Carlo Simulation* (MCS) digunakan untuk menghitung distribusi probabilitas dari ASET dan RSET. Kedua metode ini memungkinkan penelitian ini mengakomodasi ketidakpastian parameter secara lebih realistis, sehingga hasil analisis lebih representatif dibandingkan dengan pendekatan deterministik semata.

Sejumlah penelitian telah menerapkan pendekatan probabilistik dalam konteks gedung publik, namun penerapannya di lingkungan kampus di Indonesia masih sangat terbatas. Dengan tingginya okupansi, variasi perilaku penghuni, serta kompleksitas tata ruang, gedung kampus sesungguhnya merupakan objek yang sangat relevan untuk dikaji dari perspektif keandalan evakuasi. Oleh karena itu, diperlukan studi kasus pada salah satu kampus di Indonesia guna mengisi kesenjangan riset tersebut.

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas (DTL-FT Unand) memiliki 2 gedung dengan beberapa ruang perkuliahan, laboratorium, dan perkantoran dengan tingkat okupansi yang tinggi pada jam-jam kuliah. Berdasarkan data akademik 2024, jumlah mahasiswa aktif di DTL-FT Unand mencapai 598 orang, dengan aktivitas harian yang tersebar di beberapa gedung utama. Dalam satu ruang kuliah besar, kapasitas dapat mencapai 60 mahasiswa per sesi. Kondisi ini menunjukkan bahwa gedung di DTL-FT Unand memiliki potensi risiko signifikan bila terjadi kebakaran, terutama pada jam sibuk perkuliahan. Jalur evakuasi yang terbatas akibat terbatasnya jumlah tangga (tangga tunggal) dan kapasitas gedung yang besar berpotensi menimbulkan kepadatan berlebih (*bottleneck*), sehingga memperbesar kemungkinan nilai RSET melampaui ASET. Oleh karena itu, penelitian berbasis probabilistik diperlukan untuk memastikan tingkat keandalan evakuasi di kawasan ini.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapannya sebagai salah satu kajian yang mengintegrasikan metode ASET-RSET dengan analisis probabilitas keandalan (melalui MCS/FOSM) pada bangunan pendidikan tinggi. Penelitian oleh Mao dkk. (2025) dan Chen dan Mao (2018) menunjukkan efektivitas metode FOSM dan MCS dalam menganalisis keandalan evakuasi pada bangunan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dengan memperluas aplikasi *reliability analysis* di bidang keselamatan kebakaran, sekaligus memberikan kontribusi praktis berupa rekomendasi desain dan pengelolaan sarana evakuasi kampus.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis keandalan evakuasi penghuni gedung di kawasan DTL FT-Unand. Analisis dilakukan dengan mengintegrasikan ASET dan RSET dengan perhitungan indeks

probabilitas keandalan, sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai tingkat keberhasilan evakuasi. Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya peningkatan keselamatan penghuni serta menjadi acuan dalam upaya meningkatkan keselamatan penghuni gedung pendidikan di Indonesia, khususnya DTL-FT Unand.

1.2 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis berbasis probabilitas terhadap keandalan evakuasi penghuni gedung di DTL-FT Unand 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 DTL-FT Unand;
2. Menilai tingkat keandalan evakuasi penghuni gedung DTL-FT Unand berdasarkan nilai ASET dan RSET;
3. Menganalisis indeks keandalan dan probabilitas keberhasilan evakuasi dengan metode FOSM dan MCS;
4. Memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas dan keandalan sistem evakuasi kebakaran di DTL-FT Unand.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Sebagai sumber informasi, referensi, dan pertimbangan untuk pengambilan keputusan terkait sistem tanggap darurat kebakaran pada suatu bangunan;
2. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan model evaluasi evakuasi berbasis pendekatan kuantitatif dan probabilitas di lingkungan bangunan pendidikan;
3. Sebagai masukan bagi pihak pengelola Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas dalam mengevaluasi dan meningkatkan sistem evakuasi gedung untuk mendukung terciptanya kondisi evakuasi yang aman bagi penghuni gedung.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas yang terdiri dari dua gedung utama, yaitu:
 - Gedung A merupakan gedung lama di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas yang dilengkapi dengan satu tangga sebagai jalur evakuasi.
 - Gedung B merupakan gedung baru yang dibangun di lingkungan DTL-FT Unand, mulai dari area Laboratorium Air hingga musala. Gedung B memiliki 2 tangga yang terletak di bagian tengah dan ujung gedung. Kedua gedung tersebut masing-masing terdiri dari tiga lantai dengan fungsi utama sebagai ruang kuliah, laboratorium, ruang administrasi, dan ruang dosen.
2. Waktu penelitian dilakukan pada rentang Februari hingga Juni 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. Data perilaku penghuni diperoleh melalui survei atau literatur terkait waktu reaksi mahasiswa serta tenaga pendidik dan kependidikan dalam situasi darurat.
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 (P_f).

5. Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan cara observasi lapangan dan penyebaran kuesioner pada mahasiswa, tenaga pendidik dan kependidikan
6. Skenario kebakaran yang dianalisis dibatasi pada kejadian di hari dan jam perkuliahan (Senin s.d. Jumat pukul 08.00 WIB s.d. 17.40 WIB);
7. Asumsi penelitian menganggap penghuni dalam kondisi fisik normal (tidak menyertakan disabilitas) dan tidak mempertimbangkan perilaku panik ekstrem yang dapat melumpuhkan alur evakuasi total.
8. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan tiga skenario kebakaran utama, yaitu:

- (1) Kebakaran di lantai dasar (Laboratorium Air);
- (2) Kebakaran di lantai menengah (Laboratorium Mikrobiologi);
- (3) Kebakaran di lantai teratas (Laboratorium Komputer).

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 dan penyebaran kuesioner. 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 Fakultas Teknik Universitas Andalas, seperti deskripsi gedung, kapasitas, sarana keselamatan kebakaran, serta analisis potensi risiko berdasarkan sumber bahaya dan kerentanan penghuni. 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.



