

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebakaran *indoor* berkembang cepat, sehingga keputusan evakuasi harus dibuat dalam menit (Han et al., 2025; Huang et al., 2024). Dengan adanya teknologi *Internet of Things* (IoT), memungkinkan dilakukannya pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time* melalui integrasi berbagai sensor, dari banyaknya sensor yang telah dikembangkan, sensor asap adalah sensor yang banyak digunakan untuk mendeteksi potensi bahaya kebakaran di fasilitas publik dan bangunan modern. Rute statis sering tidak aman karena kondisi asap, panas, dan *visibilitas* berubah dinamis (Huang et al., 2024). Sehingga deteksi cepat terhadap keberadaan asap, serta kemampuan untuk memetakan lokasi sensor dalam ruang fisik, memberikan peluang baru untuk meningkatkan sistem keselamatan dan manajemen evakuasi. Pada penelitian sebelumnya telah menerapkan IoT untuk melakukan deteksi dan peringatan dini dengan memberikan kesimpulan bahwa IoT pada *smart building* dapat memantau indikator bahaya dan pergerakan api secara *real-time* (Shaharuddin et al., 2023; Zhang et al., 2024). Meskipun sebagian besar sistem masih berfokus pada penyampaian informasi bahaya tanpa memberikan rekomendasi rute evakuasi yang optimal secara dinamis. Kondisi bangunan yang kompleks, distribusi titik bahaya yang berubah secara cepat, serta kebutuhan untuk menghindari area berisiko tinggi membuat pemilihan jalur evakuasi menjadi tantangan signifikan, terutama ketika keputusan harus diambil dalam situasi darurat yang penuh ketidakpastian. Tantangannya adalah mengubah data sensor menjadi pemetaan zona berbahaya yang mudah dipakai untuk keputusan rute (Ding et al., 2024). Dalam konteks untuk keputusan rute, telah dilakukan penelitian untuk perencanaan rute *emergency* khusus dalam ruangan, penelitian tersebut menggunakan algoritma SARSA dan *Q-learning* untuk dilakukan perbandingan. Berdasarkan lingkungan dalam ruangan sebenarnya dari gedung perkantoran, lingkungan rintangan grid yang lebih kompleks ditetapkan sebagai adegan eksperimen dalam ruangan. Hasil eksperimen memverifikasi efektivitas algoritma *Q-learning* untuk perencanaan jalur di lingkungan rintangan dalam

ruangan (Xu et al., 2022).

Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk menjawab pertanyaan utama mengenai bagaimana sistem berbasis IoT dan *Q-learning* dapat dirancang untuk mengoptimalkan rute evakuasi secara adaptif menggunakan pemetaan zona berbahaya yang diperbarui secara *real-time*, bagaimana efektivitas algoritma *Q-learning* dalam menghindari area berisiko yang teridentifikasi oleh sensor. Dengan menjawab pertanyaan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan sistem evakuasi cerdas yang lebih responsif, akurat, dan mampu meningkatkan keselamatan penghuni dalam kondisi darurat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

- 1) Bagaimana menentukan rute evakuasi yang aman pada kondisi kebakaran yang bersifat dinamis dan dapat berubah sewaktu-waktu?
- 2) Bagaimana memanfaatkan informasi sebaran asap dan tingkat bahaya pada setiap area bangunan untuk mendukung pengambilan keputusan rute evakuasi?
- 3) Bagaimana menghasilkan rute evakuasi yang mampu beradaptasi ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan selama proses evakuasi berlangsung?
- 4) Bagaimana pengaruh perubahan kondisi lingkungan terhadap kecepatan dan kualitas penentuan rute evakuasi?
- 5) Bagaimana mengevaluasi efektivitas rute evakuasi yang dihasilkan berdasarkan tingkat keselamatan dan risiko yang diterima oleh penghuni bangunan?
- 6) Bagaimana mengevaluasi apakah rute evakuasi yang dipilih berdasarkan nilai *reward* tertinggi mampu merepresentasikan rute yang paling aman pada kondisi kebakaran yang dinamis?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup penelitian tidak terlalu luas, batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian hanya fokus pada skenario 1 kantor pada bangunan *indoor coworking space*

1 kantor pada bangunan *coworking space* hanya memiliki 1 akses pintu masuk dan keluar

Tidak mempertimbangkan kondisi bahaya pada tangga darurat atau bahaya diluar area yang diuji

Mengevaluasi algoritma pada simulasi dan dataset *indoor* (tidak menguji langsung di lapangan).

Tidak mempertimbangkan faktor psikologis individu (mis. rasa panik), kepadatan manusia (*crowd*) dalam dinamika evakuasi.

Penggunaan sensor asap, sensor termal umum dan algoritma *Q-learning*.

Pemetaan area bangunan dan area berbahaya menggunakan model grid 2D

## **1.4 Tujuan dan Manfaat**

### **1.4.1 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengembangkan prototipe sistem rute evakuasi dinamis yang memperbarui jalur secara otomatis berdasarkan data sensor kebakaran *real-time*.
- 2) Membangun modul *IoT-edge* untuk memetakan data sensor asap/termal menjadi peta zona berbahaya digital.
- 3) Merumuskan fungsi reward multi-objektif dalam *Q-learning* yang menghitung keselamatan (paparan bahaya dan waktu evakuasi) untuk setiap rute.
- 4) Mengimplementasikan algoritma RL dengan *sample-efficiency* tinggi yang dapat cepat beradaptasi saat *deploy* dalam situasi darurat.
- 5) Menguji performa melalui simulasi kebakaran–evakuasi dan eksperimen skenario.

#### 1.4.2 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- 1) Meningkatkan keselamatan pengguna gedung melalui rute adaptif terhadap bahaya dan sekaligus memberi dukungan keputusan *real-time* bagi pengelola gedung pintar.
- 2) Menyediakan model rujukan bagi perancang gedung pintar untuk penempatan sensor dan algoritma evakuasi.
- 3) Menambah pengetahuan integrasi IoT dan pembelajaran mesin pada manajemen darurat (Huang et al., 2024; Shahrudin et al., 2023).