

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Penelitian mengenai sistem keamanan dan pendeteksian bahaya terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi nirkabel. Berikut adalah rangkuman beberapa penelitian relevan yang menjadi acuan dalam penyusunan tugas akhir ini:

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Penulis, Tahun	Fokus Penelitian	Teknologi Yang Digunakan	Hasil Penelitian	Research Gap
1.	Aisa et al., 2026 [28].	Sistem deteksi kebocoran gas berbasis IoT terintegrasi server.	MQ-5, ESP8266, IR Sensor, Web Dashboard	Sistem mampu mengirimkan hasil deteksi ke server dengan waktu respons sekitar 20 detik dan akurasi sensor IR mencapai 95%.	Belum menggunakan MQ-6 (spesifik LPG), tidak menerapkan CNN, dan arsitektur masih <i>single-node</i> .
2.	Surya et al., 2026 [29].	Sistem deteksi kebocoran gas berbasis IoT menggunakan ESP32.	MQ-2, ESP32, Blynk, Motor Servo	Sistem mampu memberikan peringatan secara <i>real-time</i> ketika konsentrasi gas melebihi 400 ppm.	Penentuan kondisi masih menggunakan nilai ambang (<i>threshold</i>), serta belum menggunakan sensor PIR dan modul GPS.

No	Penulis, Tahun	Fokus Penelitian	Teknologi Yang Digunakan	Hasil Penelitian	Research Gap
3	Fauzi & Sukarno, 2025 [30].	Monitoring kebocoran gas berbasis IoT.	MQ-02, DHT11, NodeMCU, Telegram.	Sistem memiliki waktu pengiriman data sekitar 2 detik dan waktu <i>reconnect Wi-Fi</i> sekitar 8 detik.	Tidak menggunakan MQ-6, belum menerapkan klasifikasi <i>edge AI</i> , dan tidak dilengkapi koordinat GPS.
4	Mardiansyah et al., 2024 [2].	Sistem deteksi kebocoran gas LPG.	Sensor MQ-6, Mikrokontroler, <i>Buzzer</i> .	Sensor MQ-6 mampu mendeteksi gas pada jarak 30 cm dengan waktu respons 0,16 detik.	belum menerapkan CNN pada ESP32, serta belum mendukung arsitektur <i>multi-node</i> dan informasi lokasi GPS
5	F. T. Arumsari, dkk. (2023) [14].	Sistem deteksi kebakaran dan kebocoran gas berbasis IoT.	Wemos D1 R1, Sensor MQ-2, <i>Flame Sensor</i> , <i>Buzzer</i> , Telegram.	Sistem mampu mendeteksi api pada jarak 0–80 cm serta mengirimkan notifikasi ketika konsentrasi gas melebihi nilai ambang 400 ppm.	Masih menggunakan metode <i>threshold</i> , belum mendukung arsitektur <i>multi-node</i> , dan belum menggunakan modul GPS maupun sensor PIR.

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian terdahulu pada Tabel 2.1, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian telah mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG berbasis IoT. Namun, sebagian besar

penelitian masih menentukan kondisi kebocoran gas menggunakan metode *threshold*, sehingga keputusan sistem hanya didasarkan pada satu nilai pembacaan sensor. Selain itu, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih menerapkan arsitektur *single-node*, belum mendukung pemantauan pada beberapa lokasi secara bersamaan, serta belum mengintegrasikan sensor PIR dan modul GPS sebagai informasi pendukung dalam proses monitoring.

Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG berbasis IoT dengan arsitektur *multi-node* menggunakan sensor MQ-6, sensor PIR, dan modul GPS Neo-6M yang diintegrasikan dengan ESP32. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penentuan kondisi Gas dan Normal dilakukan menggunakan metode CNN yang diimplementasikan pada ESP32 menggunakan *TensorFlow Lite*. Dengan pendekatan tersebut, sistem tidak hanya mampu mendeteksi kebocoran gas LPG, tetapi juga mendukung pemantauan pada beberapa lokasi secara terpusat serta memberikan informasi lokasi perangkat yang mendeteksi kebocoran gas.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Deteksi Kebocoran Gas

Sistem deteksi kebocoran gas merupakan sebuah infrastruktur keamanan yang dirancang untuk mengidentifikasi keberadaan gas berbahaya di udara secara otomatis [31]. Penggunaan LPG di Indonesia sangat luas baik untuk kebutuhan domestik maupun industri, namun sifatnya yang sangat mudah terbakar menimbulkan risiko ledakan jika

terjadi kebocoran yang tidak tertangani [5]. Sistem ini bertujuan untuk mendeteksi kebocoran gas LPG sedini mungkin sehingga risiko ledakan maupun kebakaran akibat kebocoran gas dapat diminimalkan [32].

Prinsip kerja sistem ini berfokus pada pemantauan kualitas udara melalui sensor gas yang secara kontinu mengirimkan data ke unit pemrosesan [5]. Komponen utamanya terdiri dari sensor gas sebagai masukan (*input*), mikrokontroler sebagai pengolah data (*process*), dan aktuator seperti *buzzer* atau sistem notifikasi sebagai keluaran (*output*) [12]. Dalam sistem peringatan dini, deteksi kebocoran gas berperan sebagai garda depan mitigasi bencana yang memberikan waktu respons bagi manusia untuk melakukan tindakan preventif atau evakuasi [33].

2.2.2. Early Warning System

Early Warning System (EWS) atau sistem peringatan dini merupakan serangkaian prosedur dan teknologi yang digunakan untuk memberikan informasi mengenai potensi bahaya sedini mungkin sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan cepat [33]. Tujuan utama penerapan EWS adalah mengurangi risiko kerugian material serta meningkatkan keselamatan manusia melalui waktu tanggap (*response time*) yang lebih singkat [34]. Dalam bidang keselamatan kerja, EWS membantu pengguna memperoleh informasi ketika terdeteksi adanya kondisi yang berpotensi membahayakan sehingga tindakan penanganan dapat segera dilakukan [35].

Tahapan sistem peringatan dini meliputi proses deteksi, pengolahan data, dan penyampaian informasi kepada pengguna [36]. Pada sistem deteksi kebocoran gas LPG, EWS bekerja dengan mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm lokal ketika kebocoran gas terdeteksi serta mengirimkan informasi hasil deteksi sesuai dengan rancangan sistem [13]. Dengan demikian, pengguna dapat segera mengetahui adanya kebocoran gas LPG dan melakukan tindakan penanganan sesuai kebutuhan [13].

2.2.3. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat melalui jaringan internet sehingga perangkat tersebut dapat saling bertukar data secara otomatis [34]. Penerapan IoT memungkinkan proses pemantauan, pengiriman data, dan pengendalian perangkat dilakukan dari jarak jauh sesuai dengan kebutuhan sistem [37].

Pada penelitian ini, konsep IoT digunakan untuk menghubungkan setiap node dengan sistem monitoring sehingga informasi hasil deteksi dapat dikirimkan melalui jaringan internet secara *real-time*. Dengan demikian, kondisi setiap node dapat dipantau tanpa harus berada secara langsung di lokasi perangkat [38].

2.2.4. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis *System-on-Chip* (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan banyak

digunakan pada pengembangan sistem IoT [39]. ESP32 telah dilengkapi dengan konektivitas *Wi-Fi* dan Bluetooth sehingga mampu mendukung komunikasi data secara nirkabel [34].

Selain memiliki konektivitas nirkabel, ESP32 juga menggunakan prosesor *dual-core* yang mampu mengolah data dari berbagai sensor secara bersamaan [38]. Pada penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem yang membaca data sensor MQ-6, sensor PIR, dan modul GPS Neo-6M, kemudian menjalankan model CNN serta mengendalikan keluaran sistem.

2.2.5. Sensor Gas MQ6

Sensor MQ-6 merupakan perangkat pengindera elektrokimia yang dirancang khusus untuk mendeteksi keberadaan gas LPG dengan tingkat sensitivitas tinggi [19]. Prinsip kerja sensor ini menggunakan lapisan timah dioksida (SnO_2) sebagai bahan semikonduktor yang sensitivitasnya akan meningkat ketika terpapar molekul gas mudah terbakar di udara [40]. Manakala konsentrasi gas LPG meningkat, nilai konduktivitas pada lapisan sensor akan naik secara proporsional, yang kemudian dikonversi menjadi perubahan hambatan listrik [18].

Keluaran dari sensor MQ-6 berupa sinyal analog yang nantinya diolah oleh unit ADC (*Analog to Digital Converter*) pada mikrokontroler untuk menjadi nilai data digital [18]. Karakteristik sensor ini memiliki stabilitas yang baik dan waktu respon yang sangat cepat, namun memerlukan proses pemanasan agar hasil pembacaannya

akurat[4]. Pada sistem deteksi dini, sensor ini diletakkan pada posisi strategis di dekat saluran bahan bakar untuk mengawasi indikasi kebocoran secara spesifik [41].

2.2.6. Sensor PIR

Sensor *Passive Infrared* (PIR) merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi pergerakan berdasarkan perubahan radiasi panas (*infrared*) yang dipancarkan oleh tubuh manusia atau makhluk hidup lainnya [42]. Sensor ini bekerja secara pasif karena tidak memancarkan sinyal *infrared*, tetapi hanya menerima perubahan radiasi panas yang berada di sekitarnya [43]. Ketika terjadi perubahan radiasi panas, sensor akan menghasilkan keluaran digital sebagai penanda adanya pergerakan [43].

Pada penelitian ini, sensor PIR digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia di sekitar lokasi pemasangan perangkat. Informasi tersebut berfungsi sebagai data pendukung pada sistem sehingga pengguna dapat mengetahui apakah terdapat aktivitas manusia di sekitar area yang terdeteksi mengalami kebocoran gas LPG [28].

2.2.7. Modul GPS

Modul GPS (*Global Positioning System*) merupakan perangkat yang digunakan untuk memperoleh informasi lokasi berdasarkan sinyal yang diterima dari satelit [44]. Modul GPS, seperti Ublox Neo-6M, bekerja dengan menerima sinyal untuk mengetahui posisi perangkat dalam bentuk koordinat *latitude* dan *longitude* [45].

Pada penelitian ini, modul GPS Neo-6M digunakan untuk memperoleh informasi koordinat lokasi setiap node yang dipasang pada area dapur MBG. Informasi tersebut digunakan untuk mengetahui posisi node yang mendeteksi kebocoran gas LPG sehingga memudahkan proses identifikasi lokasi perangkat [46]. Dengan adanya modul GPS, setiap node dapat dibedakan berdasarkan lokasi pemasangannya sehingga mendukung proses pemantauan pada sistem multi-node [45].

2.2.8. Konsep Multi Node System

Konsep *multi-node system* merupakan sistem yang menggunakan beberapa perangkat (*node*) yang ditempatkan pada lokasi berbeda untuk melakukan pemantauan secara bersamaan [47]. Setiap *node* bekerja secara mandiri dalam melakukan pembacaan sensor, pengolahan data, dan pengiriman informasi sesuai dengan fungsi yang telah dirancang [48]. Setiap unit terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32 sebagai pengontrol utama, sensor MQ-6 untuk mendeteksi kebocoran gas, serta sensor PIR untuk memantau pergerakan atau keberadaan manusia di area dapur [49].

Setiap *node* kemudian mengirimkan hasil deteksi sesuai dengan arsitektur sistem yang digunakan sehingga proses pemantauan dapat dilakukan pada beberapa lokasi Dapur MBG secara bersamaan. Perancangan sistem didukung oleh diagram blok dan *flowchart* untuk

menggambarkan hubungan antar komponen serta alur kerja sistem secara keseluruhan [50].

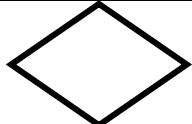
2.2.9. Flowchart

Flowchart atau diagram alir merupakan gambaran alur kerja suatu sistem yang disajikan menggunakan simbol-simbol tertentu [51]. *Flowchart* digunakan untuk menunjukkan urutan proses, pengolahan data, serta pengambilan keputusan sehingga alur kerja sistem lebih mudah dipahami [47]. Dengan adanya *flowchart*, proses kerja sistem dapat digambarkan secara sistematis mulai dari proses awal hingga menghasilkan keluaran [51].

Pada penelitian ini, *flowchart* digunakan untuk menggambarkan alur kerja sistem yang dimulai dari proses inisialisasi ESP32, pembacaan data sensor MQ-6, sensor PIR, dan modul GPS Neo-6M. Data dari sensor MQ-6 kemudian diproses menggunakan model CNN yang telah diimplementasikan pada ESP32 menggunakan *TFLite* untuk menentukan kondisi Gas atau Normal. Apabila sistem mendeteksi kondisi Gas, *buzzer* akan aktif sebagai peringatan dini dan hasil deteksi dikirimkan sesuai dengan rancangan sistem. *Flowchart* sistem yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.2. [16].

Tabel 2. 2 Simbol Diagram Alir/*Flowchart*

No	Simbol	Nama Simbol	Fungsi
1.		<i>Terminator</i> (Mulai/Selesai)	Menunjukkan awal atau akhir dari proses

No	Simbol	Nama Simbol	Fungsi
2.		<i>Preparation</i>	Menunjukkan proses persiapan atau inisialisasi sebelum proses utama dilakukan
3.		Proses	Menunjukkan Langkah atau proses kegiatan
4.		<i>Input/Output</i>	Menunjukkan input data atau output informasi
5.		<i>Decision</i>	Menunjukkan kondisi tertentu yang menghasilkan dua kemungkinan percabangan jalur: Ya / Tidak (<i>Yes / No</i>).
5.		<i>Flowline</i>	Menyatakan arah atau jalurnya alur proses dari satu simbol ke simbol berikutnya.

2.2.10. Diagram Blok

Diagram blok merupakan gambaran sederhana yang menunjukkan hubungan antar komponen dalam suatu sistem [36]. Diagram blok digunakan untuk menjelaskan fungsi setiap komponen serta alur perpindahan data dari masukan (*input*), proses (*process*), hingga keluaran (*output*) [52]. Dengan menggunakan diagram blok, hubungan antar komponen dapat dipahami dengan lebih mudah sehingga membantu proses perancangan sistem [53].

Pada penelitian ini, diagram blok terdiri atas sensor MQ-6, sensor PIR, dan modul GPS Neo-6M sebagai perangkat masukan yang berfungsi memperoleh data kondisi lingkungan dan informasi

lokasi perangkat [16]. Data tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan model CNN yang telah dikonversi ke *TensorFlow* Lite[34]. Berdasarkan hasil pemrosesan tersebut, sistem menghasilkan keluaran berupa kondisi Gas atau Normal serta mengaktifkan *buzzer* apabila terdeteksi kebocoran gas LPG [53].

Tabel 2. 3 Diagram Blok

No	Simbol	Nama Simbol	Fungsi
1.		Blok Proses / Komponen	Menunjukkan komponen, modul, atau proses dalam sistem
2.		Aliran sinyal / data	Menunjukkan arah aliran sinyal atau data antar komponen
3.		Aliran output	Menunjukkan Output.
4.		Batas sistem	Menunjukkan pengelompokan sistem berdasarkan fungsi

2.2.11. Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan salah satu metode *deep learning* yang digunakan untuk mengenali pola pada suatu data secara otomatis [54]. Selain banyak digunakan pada pengolahan citra, CNN satu dimensi (*1D CNN*) juga dapat

diterapkan untuk mengolah data yang berbentuk deret waktu, seperti data pembacaan sensor [55]. CNN bekerja dengan mengekstraksi pola dari data masukan melalui *convolution layer* sehingga karakteristik data dapat dikenali secara otomatis [55].

Struktur CNN terdiri atas *convolution layer* yang berfungsi mengekstraksi fitur serta *dense layer* yang digunakan untuk menentukan hasil akhir berdasarkan fitur yang diperoleh [56]. Fungsi klasifikasi ini digunakan untuk membedakan antara kondisi lingkungan normal dengan indikasi bahaya [57]. Dengan memanfaatkan pola data tersebut, CNN dapat membedakan kedua kondisi secara lebih baik dibandingkan apabila hanya menggunakan satu nilai pembacaan sensor [58].

2.2.12. Time Series

Time series atau deret waktu merupakan kumpulan data yang disusun berdasarkan urutan waktu pengambilan data. Pada sistem sensor gas, data *time series* menunjukkan perubahan nilai sensor dari waktu ke waktu sehingga dapat menggambarkan pola perubahan konsentrasi gas yang terjadi [59].

Analisis deret waktu sering kali menggunakan metode *sliding window*, di mana sejumlah data dalam rentang waktu tertentu (*window size*) diambil untuk diproses sebagai satu unit masukan bagi algoritma klasifikasi [60]. Pendekatan tersebut digunakan agar model CNN dapat mengenali pola perubahan nilai sensor MQ-6,

sehingga penentuan kondisi Gas atau Normal tidak hanya didasarkan pada satu data pembacaan sensor, tetapi berdasarkan rangkaian data yang berurutan [61].

2.2.13. TensorFlow Lite

TensorFlow Lite merupakan teknologi yang digunakan untuk menjalankan model *machine learning* pada perangkat dengan sumber daya yang terbatas. *TensorFlow Lite* melakukan optimasi model sehingga ukuran model menjadi lebih kecil dan dapat dijalankan dengan lebih efisien pada perangkat *embedded* [61].

TensorFlow Lite digunakan untuk mengimplementasikan model CNN pada mikrokontroler ESP32. Dengan menggunakan *TensorFlow Lite*, model CNN dapat dijalankan secara langsung pada ESP32 untuk menentukan kondisi Gas atau Normal berdasarkan data sensor MQ-6 tanpa memerlukan proses pengolahan pada komputer [62].

2.2.14. Quantization INT8

Kuantisasi *INT8* merupakan teknik optimasi model dengan mengubah parameter model dari format *Float32* menjadi bilangan bulat 8-bit (*INT8*) [63]. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Post Training Quantization*, yaitu proses kuantisasi yang dilakukan setelah model selesai dilatih sehingga ukuran model dapat diperkecil tanpa menurunkan performa secara signifikan [63].

Perbedaan utama antara *Float32* dan *INT8* terletak pada penggunaan memori dan kebutuhan komputasi. Format *INT8* memerlukan memori yang lebih kecil sehingga lebih sesuai digunakan pada perangkat *embedded* seperti ESP32 [63]. Pada penelitian ini, kuantisasi *INT8* digunakan untuk menghasilkan model CNN dengan ukuran yang lebih kecil sehingga lebih mudah diimplementasikan pada ESP32