

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Transformasi energi nasional di Indonesia mengalami perubahan signifikan sejak diluncurkannya program konversi minyak tanah ke *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) pada tahun 2007 [1]. Penggunaan LPG kini telah menjadi kebutuhan primer di berbagai sektor, terutama karena efisiensi panas dan kemudahan aksesibilitasnya [2]. Secara teknis, LPG merupakan campuran hidrokarbon yang didominasi oleh propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) dengan rasio komposisi sekitar 30:70 [3]. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) hingga April 2024, terdapat sekitar 41,8 juta pengguna terdaftar subsidi tepat LPG, di mana 86% di antaranya berasal dari sektor rumah tangga dan usaha mikro [4]. Namun, karakteristik LPG yang sangat mudah terbakar (*flammable*) dan memiliki tekanan uap tinggi (sekitar 120 psig) menciptakan risiko besar apabila terjadi kebocoran yang tidak terdeteksi sejak dini [3].

Risiko kebocoran gas LPG menjadi ancaman serius bagi keselamatan publik karena dapat memicu ledakan destruktif saat gas terakumulasi dalam ruang tertutup [5]. Data nasional dari Pusat Studi Kebijakan Publik (Puskepi) mencatat terjadinya peningkatan kasus ledakan gas LPG sebanyak kurang lebih 600 insiden dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir [6]. Kondisi ini diperburuk oleh laporan Badan Standardisasi Nasional (BSN) yang

mengungkapkan bahwa 66% tabung gas LPG yang beredar di masyarakat berada dalam kondisi di bawah standar keamanan atau belum layak pakai [6]. Sebagai gambaran dampak di wilayah perkotaan, Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan Provinsi DKI Jakarta melaporkan statistik kebakaran akibat gas sebanyak 25 kasus pada 2021, meningkat drastis menjadi 40 kasus pada 2022, sebelum akhirnya berada pada angka 27 kasus di tahun 2023 [4].

Urgensi penanganan kebocoran gas juga sangat nyata di tingkat regional, khususnya di Provinsi Jawa Tengah. Implementasi program konversi di wilayah ini, seperti di Kabupaten Banyumas, telah berlangsung intensif sejak tahun 2009 guna mendorong efisiensi energi masyarakat [7]. Namun, seiring dengan meluasnya penggunaan gas, angka kecelakaan akibat kebocoran pun terus dilaporkan meningkat, terutama di daerah pemukiman padat penduduk yang rentan terhadap penyebaran api. Hal ini menuntut adanya penguatan infrastruktur keamanan berbasis teknologi di fasilitas-fasilitas publik Jawa Tengah untuk meminimalisir risiko kerugian materi maupun korban jiwa akibat insiden teknis pada perangkat LPG [7].

Secara spesifik di Kabupaten Tegal, kerawanan akibat kegagalan deteksi kebocoran gas telah memberikan dampak nyata bagi masyarakat. Tercatat sebuah insiden ledakan gas di wilayah Kabupaten Tegal yang mengakibatkan dua unit rumah terbakar habis serta menyebabkan satu warga mengalami luka-luka serius akibat keterlambatan respons terhadap kebocoran gas [8]. Kejadian tersebut menjadi bukti objektif bahwa sistem

pengawasan manual yang masih mengandalkan kehadiran manusia di lokasi tidak lagi memadai untuk menjamin keamanan. Kasus ini menegaskan bahwa deteksi dini merupakan langkah preventif mutlak yang harus diterapkan guna melindungi aset dan nyawa di wilayah Tegal [8].

Pendeteksian kebocoran gas secara manual memiliki keterbatasan yang sangat krusial karena sifat gas yang sulit diidentifikasi secara visual [9]. Meskipun produsen telah menambahkan zat etil merkaptan sebagai pemberi bau khas, kebocoran dalam jumlah kecil ($<0,1$ ppbv) sering kali tetap tidak terdeteksi oleh indra penciuman manusia [8]. Faktor lingkungan seperti penggunaan AC atau ventilasi yang tertutup dapat menghalangi penyebaran bau gas, sehingga kebocoran sering kali diabaikan hingga mencapai level yang membahayakan,. Selain itu, risiko terbesar terjadi pada malam hari saat penghuni sedang tidur atau ketika lokasi tidak diawasi, di mana akumulasi gas dapat mencapai batas ledak minimum tanpa adanya peringatan [10].

Area dapur secara teknis dikategorikan sebagai zona dengan tingkat risiko kebakaran tertinggi karena intensitas penggunaan LPG yang berlangsung secara terus-menerus [11]. Karakteristik fisik gas LPG yang memiliki berat jenis lebih besar dibandingkan udara (sekitar 2.01) menyebabkan gas yang bocor cenderung mengendap dan berkumpul di area lantai atau sudut-sudut dapur yang sulit dijangkau sirkulasi udara alami [6]. Jika akumulasi gas ini bertemu dengan percikan api sekecil apa pun, ledakan hebat dapat terjadi secara instan. Oleh karena itu, dapur memerlukan

pengawasan otomatis selama 24 jam untuk memastikan setiap titik instalasi tetap berada dalam kondisi aman [12].

Tingkat risiko tersebut teramplifikasi secara drastis pada fasilitas Dapur Program Makan Bergizi Gratis (MBG), yang merupakan inisiatif strategis pemerintah guna memenuhi kecukupan gizi anak sekolah dan ibu hamil sebagai intervensi pendidikan nasional [13]. Dapur MBG beroperasi sebagai pusat produksi makanan skala besar yang menerapkan metode masak massal dengan beban operasional yang sangat panjang setiap harinya [14]. Penggunaan gas LPG bertekanan tinggi pada fasilitas seperti dapur Makanan Bergizi Gratis (MBG) memiliki potensi bahaya ledakan yang destruktif jika kebocoran tidak dideteksi secara dini [15]. Keberlangsungan operasional dapur ini memiliki urgensi yang sangat vital, mengingat ribuan porsi makanan harus didistribusikan secara tepat waktu untuk mendukung kesehatan sumber daya manusia [14].

Penggunaan gas LPG secara intensif di fasilitas produksi ini menyimpan potensi bahaya ledakan dan kebakaran yang bersumber dari kebocoran teknis. Faktor risiko ini sering kali dipicu oleh degradasi material pada komponen instalasi, seperti selang gas yang getas, kerusakan pada katup regulator, maupun kesalahan manusia (*human error*) dalam prosedur pemasangan tabung gas [16]. Mengingat LPG mengandung senyawa propana dan butana yang lebih berat dari udara, gas yang bocor akan cenderung mengendap dan terakumulasi di permukaan lantai ruangan [17]. Akumulasi gas yang tidak kasat mata ini sangat berbahaya karena jika tercampur dengan

oksigen dan terpapar sumber api sekecil apa pun, dapat memicu ledakan hebat [18]. Dampak dari kegagalan deteksi kebocoran gas di Dapur MBG akan mengakibatkan kerugian yang bersifat sistemik dan berantai. Ledakan atau kebakaran tidak hanya mengancam keselamatan nyawa para pekerja di lapangan, tetapi juga akan menghancurkan aset produksi bernilai tinggi dan melumpuhkan total operasional dapur [19].

Selama ini, sistem pengawasan keamanan pada area dapur umumnya masih bergantung pada pengawasan manual manusia yang memiliki keterbatasan fundamental. Indra penciuman manusia sering kali gagal menyadari akumulasi gas pada konsentrasi rendah, terutama di lingkungan dapur yang penuh dengan aroma masakan [20]. Sistem proteksi konvensional umumnya hanya mengandalkan alarm suara lokal (*buzzer*) tanpa adanya integrasi pemantauan jarak jauh yang bersifat *real-time* [21]. Kelemahan ini menyebabkan peringatan bahaya tidak tersampaikan secara efektif apabila petugas sedang tidak berada di lokasi, yang mengakibatkan penanganan bahaya menjadi sangat terlambat [22]. Selain itu, kesulitan dalam memantau beberapa lokasi dapur yang tersebar di wilayah berbeda secara bersamaan menjadi hambatan utama bagi pihak pengelola dalam menyelenggarakan prosedur keamanan yang terpusat [23].

Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan pendekatan mitigasi yang jauh lebih efisien [24]. Konsep IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor ke dalam satu jaringan nirkabel yang dapat diakses secara terpusat [25]. Penggunaan

sensor gas MQ-6 yang dikolaborasikan dengan sensor *Passive Infrared* (PIR) telah terbukti mampu memberikan data lingkungan yang akurat terkait indikasi kebocoran gas dan keberadaan manusia di area bahaya [26]. Melalui integrasi modul GPS secara *real-time*, posisi koordinat lokasi kejadian dapat diketahui secara presisi, sementara antarmuka *web monitoring* memfasilitasi visualisasi data bagi pengguna dari lokasi manapun [27].

Berdasarkan berbagai permasalahan tersebut, penelitian ini mengimplementasikan sistem peringatan dini kebocoran gas LPG berbasis IoT dengan arsitektur *multi-node* pada Dapur Program Makan Bergizi Gratis (MBG). Sistem memanfaatkan sensor MQ-6 untuk mendeteksi kebocoran gas LPG, sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan manusia di sekitar area dapur, serta modul GPS Neo-6M untuk memperoleh informasi lokasi perangkat secara *real-time*. Data yang diperoleh dari setiap node diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan dikirim melalui *Firebase Realtime Database* sehingga kondisi setiap perangkat dapat dipantau secara terpusat. Untuk meningkatkan kemampuan identifikasi kondisi gas, penelitian ini mengimplementasikan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) yang telah dikonversi ke dalam format *TensorFlow Lite* sehingga dapat dijalankan pada ESP32. Berbeda dengan sebagian penelitian sebelumnya yang masih mengandalkan metode berbasis *threshold*, pendekatan yang diterapkan mampu melakukan klasifikasi kondisi Gas dan Normal berdasarkan pola pembacaan sensor MQ-6. Integrasi arsitektur *multi-node*, komunikasi data berbasis IoT, serta implementasi CNN pada perangkat *edge* menghasilkan

sistem yang mampu melakukan deteksi kebocoran gas LPG secara cepat sekaligus mendukung pemantauan pada beberapa lokasi dapur MBG.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasikan sensor MQ-6, sensor PIR, dan modul GPS Neo-6M pada mikrokontroler ESP32 untuk membangun sistem deteksi kebocoran gas LPG pada Dapur MBG?
2. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan arsitektur multi-node berbasis IoT untuk melakukan pemantauan kebocoran gas LPG pada beberapa lokasi Dapur MBG secara terpusat?
3. Bagaimana mengimplementasikan metode *Convolutional Neural Network (CNN)* pada ESP32 menggunakan *TensorFlow Lite* untuk mengklasifikasikan kondisi Gas dan Normal berdasarkan data sensor MQ-6?
4. Bagaimana kinerja sistem yang dikembangkan berdasarkan hasil pengujian sensor, performa model CNN, Implementasi *TFLite* pada ESP32, serta waktu respon sistem?

1.3. Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada tiga aspek utama sesuai dengan pertanyaan penelitian:

1. Penelitian ini berfokus pada implementasi sistem deteksi kebocoran gas LPG berbasis IoT pada Dapur MBG.
2. Parameter sistem dibatasi pada pendeteksian kebocoran gas menggunakan sensor MQ-6 yang diproses menggunakan metode CNN, deteksi keberadaan manusia menggunakan sensor PIR, pengiriman informasi lokasi menggunakan modul GPS Neo-6M, serta pemberian peringatan melalui *buzzer* sebagai alarm lokal.
3. Sistem tidak mendeteksi nyala api maupun asap secara langsung, tetapi hanya mendeteksi kebocoran gas LPG sebagai indikator awal yang berpotensi menyebabkan ledakan atau kebakaran.
4. Sistem menggunakan modul GPS Neo-6M untuk memperoleh dan mengirimkan informasi lokasi kejadian dalam bentuk koordinat latitude dan longitude secara real-time tanpa melakukan analisis pemetaan, navigasi, maupun penentuan rute.
5. Sistem dirancang menggunakan konsep multi-node untuk memantau beberapa lokasi dapur MBG yang terhubung ke satu platform monitoring terpusat.
6. Komunikasi data menggunakan jaringan internet (*Wi-Fi*) dan Firebase sebagai media pertukaran data secara real-time, sehingga kinerja sistem dipengaruhi oleh ketersediaan dan kestabilan koneksi jaringan.
7. Penelitian ini tidak membahas sistem pengendalian otomatis terhadap sumber bahaya, seperti pemutusan aliran gas, dan aktivasi alat pemadam

kebakaran, melainkan hanya pada tahap deteksi dan pemberian peringatan dini.

8. Pengujian sistem dilakukan pada skala prototipe dan tidak mencakup implementasi secara luas pada seluruh dapur MBG yang beroperasi.
9. Pengujian sistem difokuskan pada kinerja sensor MQ-6, sensor PIR, modul GPS Neo-6M, implementasi model CNN menggunakan *TensorFlow Lite* pada ESP32, komunikasi data, pengiriman informasi lokasi, serta waktu respons sistem.
10. Penelitian ini tidak membahas aspek keamanan jaringan, enkripsi data, manajemen hak akses pengguna, maupun keamanan basis data secara mendalam.
11. Penelitian ini tidak membahas integrasi dengan layanan komunikasi lain seperti SMS, panggilan telepon, atau aplikasi pesan instan selain media monitoring yang digunakan dalam penelitian.
12. Model CNN yang digunakan pada penelitian ini dibatasi untuk melakukan klasifikasi dua kondisi, yaitu Gas dan Normal, berdasarkan data pembacaan sensor MQ-6.

1.4. Tujuan dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan sensor MQ-6, sensor PIR, dan modul GPS Neo-6M pada mikrokontroler ESP32 untuk membangun sistem deteksi kebocoran gas LPG pada Dapur Program MBG.
2. Merancang dan mengimplementasikan arsitektur multi-node berbasis IoT untuk melakukan pemantauan kebocoran gas LPG pada beberapa lokasi Dapur MBG secara terpusat.
3. Mengimplementasikan metode CNN pada ESP32 menggunakan *TensorFlow Lite* untuk mengklasifikasikan kondisi Gas dan Normal berdasarkan data sensor MQ-6.
4. Untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian sensor, performa model CNN, Implementasi *TFLite* pada ESP32, serta waktu respon sistem.
5. Mengimplementasikan sensor MQ-6, sensor PIR, dan modul GPS Neo-6M pada mikrokontroler ESP32 untuk membangun sistem deteksi kebocoran gas LPG pada Dapur Program MBG.
6. Merancang dan mengimplementasikan arsitektur multi-node berbasis IoT untuk melakukan pemantauan kebocoran gas LPG pada beberapa lokasi Dapur MBG secara terpusat.
7. Mengimplementasikan metode CNN pada ESP32 menggunakan *TensorFlow Lite* untuk mengklasifikasikan kondisi Gas dan Normal berdasarkan data sensor MQ-6.

8. Untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian sensor, performa model CNN, Implementasi *TFLite* pada ESP32, serta waktu respon sistem.

1.4.2. Manfaat

1. Bagi Universitas Harkat Negeri
Memberikan kontribusi ilmiah terkait penerapan fungsi sensor (gas, pergerakan, dan lokasi) dalam pembuatan arsitektur IoT terdistribusi dan menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya dalam mengoptimalkan sistem peringatan dini pada fasilitas produksi pangan berskala besar.
2. Bagi Industri
Membantu pengelola program MBG dalam meminimalisir risiko kebakaran yang disebabkan oleh kebocoran gas sehingga keberlangsungan distribusi gizi masyarakat tetap terjaga, membantu pengelola memperoleh informasi kondisi kebocoran gas dan lokasi perangkat secara lebih cepat sehingga dapat mendukung proses penanganan awal, dan memberikan solusi pengawasan yang efisien karena mampu memantau banyak lokasi dapur sekaligus tanpa harus menempatkan personel keamanan secara fisik di setiap titik.

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini diuraikan dalam 6 bab mengenai isi dari laporan yang terdiri dari :

BAB I PENDAHULUAN:

Bab ini memberikan gambaran umum mengenai isi laporan, yang mencakup lima sub-bab, yaitu: latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA:

Bab ini membahas penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem peringatan dini kebocoran gas berbasis *Internet of Things* (IoT), sensor MQ-6, ESP32, *Convolutional Neural Network* (CNN), *TensorFlow Lite*, dan arsitektur *multi-node*. Bab ini juga menyajikan landasan teori yang digunakan sebagai dasar dalam perancangan dan pengembangan sistem.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN:

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi prosedur penelitian, metode pengumpulan data, kebutuhan penelitian, pengolahan dataset, penerapan metode CNN, serta pengujian model dan sistem. Bab ini juga menjelaskan lokasi dan waktu pelaksanaan penelitian serta tahapan pengembangan sistem yang digunakan..

BAB IV ANALISA DAN PERANCANGAN SISTEM:

Bab ini membahas analisis kebutuhan dan perancangan sistem peringatan dini kebocoran gas. Pembahasan meliputi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, perancangan arsitektur *multi-node* , diagram blok, *flowchart*, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN:

Bab ini berisi penjelasan mengenai hasil implementasi sistem yang telah dirancang serta pembahasan terhadap hasil pengujian sistem. Pada bab ini dijelaskan juga proses penerapan sistem, hasil pengujian yang dilakukan, serta analisis kinerja sistem berdasarkan tujuan penelitian.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN:

Bab ini menyajikan rangkuman kesimpulan dari pembahasan pada bab-bab sebelumnya serta memberikan saran untuk pengembangan penelitian mendatang.