

Sistem Deteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IOT Menggunakan Flame Sensor, MQ-6, dan LM35

Nurul Baiti^{*1}, Cucu Suhery², Kartika Sari³

^{1,2,3}Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak
e-mail: ^{*1}nurulbaiti@student.untan.ac.id, ²csuhery@siskom.untan.ac.id,

³kartika.sari@siskom.untan.ac.id

Abstrak

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan sumber energi yang banyak digunakan di rumah tangga dan industri, namun berpotensi menimbulkan bahaya kebocoran yang dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas berbasis Internet of Things (IoT) dengan tiga jenis sensor, yaitu MQ-6 untuk mendeteksi kadar gas LPG, flame sensor untuk mendeteksi keberadaan api, dan sensor LM35 untuk mengukur suhu. Data dari sensor dikirim ke NodeMCU ESP32 melalui koneksi WiFi dan diproses untuk menghasilkan notifikasi secara real time melalui Bot Telegram. Sistem juga dilengkapi aktuator otomatis berupa kipas, buzzer, dan servo-regulator sebagai respons awal terhadap potensi bahaya. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 93,33%, dengan sensor MQ-6 mendeteksi gas di atas 200 ppm, flame sensor berfungsi akurat, dan sensor LM35 memiliki akurasi lebih dari 99,5% dibandingkan termometer konvensional. Sistem mampu mendeteksi gas pada rentang 23-403 ppm dan suhu 26,05°C-38,98°C. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi multi-sensor, aktuator otomatis, dan notifikasi real time dapat meningkatkan efektivitas deteksi dini serta memperkuat keamanan penggunaan LPG di rumah tangga maupun industri kecil.

Kata kunci— Deteksi Gas, NodeMCU ESP32, MQ-6, Flame sensor, Telegram

1. PENDAHULUAN

Liquefied Petroleum Gas (LPG) telah menjadi sumber energi penting dalam kehidupan masyarakat modern, terutama untuk kebutuhan rumah tangga. Sejak program konversi energi dari minyak tanah ke LPG, penggunaan gas ini semakin meluas di Indonesia. Meskipun LPG menawarkan berbagai keunggulan seperti efisiensi energi, kemudahan penggunaan, dan potensi pengurangan emisi gas rumah kaca, penggunaannya juga membawa risiko signifikan yang tidak dapat diabaikan [1].

Data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) menunjukkan kompleksnya permasalahan keamanan terkait LPG. Antara tahun 2018 hingga 2022, tercatat 40 kasus kebocoran LPG di wilayah Jabodetabek, 32 kasus di Jawa Barat, 27 kasus di Jawa Timur, dan 15 kasus di Jawa Tengah. Kejadian-kejadian ini tidak hanya menimbulkan kerugian material yang mencapai ratusan juta rupiah, tetapi juga mengancam keselamatan jiwa masyarakat. Karakteristik LPG yang mudah menguap dan mudah terbakar menjadikannya potensi bahaya yang serius. Kebocoran yang tidak terdeteksi dapat dengan cepat berubah menjadi ledakan dahsyat jika terkena percikan api. Risiko ini mendorong perlunya pengembangan sistem deteksi dini yang efektif dan handal [2].

Penelitian terdahulu telah mengeksplorasi solusi berbasis teknologi untuk mengatasi masalah ini. Penelitian [3] merancang sistem deteksi berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan sensor gas MQ2 dan NodeMCU ESP8266, dengan kemampuan mengirim notifikasi melalui aplikasi Android. Selanjutnya, penelitian [4] mengintegrasikan berbagai perangkat dan objek fisik melalui jaringan internet, memungkinkan komunikasi dan pertukaran data secara otomatis. Teknologi ini menggunakan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas untuk mengumpulkan serta menganalisis informasi, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas di berbagai sektor seperti industri, kesehatan, dan rumah tangga. Dengan potensinya yang besar, IoT mendukung sistem yang lebih cerdas, pengambilan keputusan berbasis data, dan inovasi dalam pengembangan aplikasi serta layanan baru. Kemudian penelitian [5] mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 yang terhubung dengan modul Wemos D1 R1. Sistem ini dirancang untuk memantau keberadaan gas LPG di udara dan memberikan peringatan otomatis apabila terdeteksi kebocoran. Sensor MQ-2 berfungsi untuk mendeteksi berbagai jenis gas, termasuk LPG, dengan memanfaatkan perubahan resistansi sensor yang terpapar gas, yang kemudian diproses dan dikirim melalui Wemos D1 R1. Selain itu, penelitian [6] mengembangkan sistem pemantauan kebocoran gas LPG di rumah dengan menggunakan sensor MQ-2 yang mengirimkan data pengukuran ke mikrokontroler untuk diproses lebih lanjut. Hasil pengukuran dari sensor kemudian dikirim ke pengguna melalui bot Telegram yang memberikan notifikasi *real-time* mengenai potensi kebocoran gas. Berikutnya, penelitian [7] mengusulkan ambang batas 200 ppm pada sensor MQ-6 sebagai titik optimal untuk deteksi dini, sementara [8] menetapkan batas suhu 35°C sebagai indikator keamanan.

Merujuk pada konteks tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG yang komprehensif. Sistem akan memanfaatkan sensor MQ-6 untuk mendeteksi konsentrasi gas [9], sensor api untuk mengenali potensi kebakaran [10], dan sensor suhu LM35 untuk memantau perubahan temperature [11]. Data dari sensor diolah oleh NodeMCU ESP32 dan dikirimkan secara real-time melalui Bot Telegram sebagai sistem notifikasi. Selain memberikan peringatan dini, sistem ini juga dilengkapi aktuator otomatis berupa kipas, buzzer, dan servo-regulator untuk menanggapi kondisi bahaya secara langsung [12].

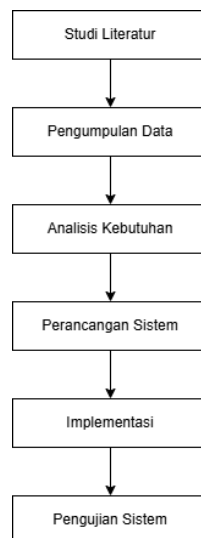
Berbeda dari penelitian terdahulu yang umumnya hanya mendeteksi kebocoran gas menggunakan satu jenis sensor dan memberikan notifikasi sederhana, penelitian ini mengusulkan integrasi multi-sensor (MQ-6, Flame, dan LM35) yang terhubung dengan NodeMCU ESP32 untuk mendeteksi gas, api, dan suhu secara bersamaan. Sistem ini juga dilengkapi aktuator otomatis (kipas, buzzer, dan servo-regulator) serta notifikasi real-time melalui Bot Telegram, menjadikannya solusi deteksi kebocoran LPG yang lebih komprehensif, adaptif, dan aplikatif. Selain itu, penelitian ini menyajikan analisis akurasi dan delay notifikasi secara kuantitatif, yang memperkuat kontribusi ilmiah terhadap pengembangan sistem keamanan berbasis IoT di lingkungan rumah tangga maupun industri kecil.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian menggambarkan keseluruhan proses dapat dilihat pada Gambar 1 yang terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut.

2.1. Studi Literatur

Tahap pertama adalah studi literatur, yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi dan referensi yang relevan terkait penelitian, khususnya dalam pengembangan sistem deteksi kebocoran gas LPG. Penulis memanfaatkan sumber dari jurnal ilmiah, buku, artikel, dan situs web, serta melakukan observasi langsung. Studi literatur ini juga mencakup analisis terhadap penelitian-penelitian terdahulu guna membandingkan pendekatan dan hasil penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sedang dilakukan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.2. Analisis Kebutuhan

Tahap Metode penelitian ini mencakup tahap analisis kebutuhan, yang dilakukan untuk mengidentifikasi dan menentukan semua perangkat keras serta perangkat lunak yang diperlukan dalam proses penelitian. Kebutuhan perangkat keras meliputi NodeMCU ESP32 sebagai pengendali utama[13], sensor MQ-6 untuk mendeteksi gas, *flame sensor* untuk mendeteksi keberadaan api, sensor suhu LM35 untuk mengukur temperatur, motor servo untuk mengontrol katup regulator[14], *fan* dan *buzzer* untuk memberikan peringatan, serta power supply untuk mendukung kebutuhan daya sistem.

Sementara itu, kebutuhan perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk menulis dan mengunggah program ke mikrokontroler, Telegram untuk mengirim notifikasi secara otomatis, dan Fritzing sebagai alat perancangan sirkuit elektronik serta pembuatan Printed Circuit Board (PCB). Selain itu, Draw.io digunakan untuk membuat diagram alir atau flowchart, dan Canva dimanfaatkan untuk mendesain elemen visual yang mendukung presentasi hasil penelitian. Identifikasi kebutuhan ini memastikan bahwa setiap komponen mendukung pengembangan sistem secara efektif dan efisien

2.3. Perancangan

Metode penelitian ini mencakup tahap perancangan sistem yang terdiri dari dua aspek utama, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Pada perancangan perangkat keras, dilakukan pengembangan sistem untuk mengintegrasikan berbagai komponen, termasuk sensor MQ-6, *flame sensor*, dan sensor LM35. Selain itu, dirancang komunikasi serial antara NodeMCU ESP32 dengan sensor-sensor tersebut guna memastikan data dapat ditransfer dan diproses dengan akurat. Sementara itu, perancangan perangkat lunak mencakup pengembangan kode program yang diunggah pada NodeMCU ESP32 untuk mengolah data dari sensor, mengontrol perangkat keras, serta menjalankan logika sistem secara keseluruhan. Program ini juga dirancang untuk mengirimkan notifikasi otomatis melalui Bot Telegram. Perancangan ini memastikan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi dengan baik sehingga sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian

2.4. Implementasi

Implementasi sistem yang dirancang untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara optimal. Tahap perancangan sistem melibatkan pembuatan diagram alir yang merinci alur kerja sistem, perancangan perangkat keras yang mencakup pemilihan dan penentuan komponen seperti

sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi, serta pengembangan perangkat lunak berupa kode program yang mendukung fungsi sistem. Selain itu, dilakukan perancangan purwarupa atau prototipe untuk mewujudkan desain ke dalam bentuk fisik alat uji coba. Seluruh proses perancangan ini mengacu pada hasil analisis kebutuhan untuk memastikan kesesuaian dengan tujuan penelitian.

Tahap implementasi sistem mencakup penerapan rancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Implementasi perangkat keras dilakukan melalui sistem pembacaan nilai kadar gas berdasarkan ppm menggunakan sensor MQ-6, sistem pendeteksi api menggunakan *flame sensor*, dan sistem pembacaan nilai suhu pada ruangan menggunakan sensor LM35. Sementara itu, implementasi perangkat lunak meliputi pengunggahan kode program pada NodeMCU ESP32 untuk mengintegrasikan semua sensor serta pengaturan fungsi sistem, termasuk pengiriman notifikasi otomatis melalui Bot Telegram. Dengan pelaksanaan kedua tahap ini, sistem diharapkan dapat bekerja sesuai dengan desain dan mendukung pengujian untuk mengevaluasi kinerjanya.

2.5. Pengujian Sistem

Tahap pengujian merupakan langkah penting dalam metode penelitian untuk memastikan sistem yang telah dikembangkan berfungsi sesuai dengan desain dan tujuan. Pengujian meliputi beberapa aspek, di antaranya pengujian pada sensor MQ-6 untuk mengetahui tingkat kadar gas dan memastikan notifikasi terkirim secara otomatis ketika konsentrasi gas melebihi ambang batas yang ditentukan. Pengujian pada *flame sensor* untuk mendeteksi keberadaan api, serta pengujian sensor LM35 untuk mengukur suhu ruangan dengan membandingkannya menggunakan termometer guna menghitung error pembacaan suhu. Selain itu, dilakukan pengujian pengiriman data dari NodeMCU ESP32 ke aplikasi Bot Telegram untuk memastikan notifikasi bekerja secara *real-time*. Pengujian terakhir adalah pengujian keseluruhan sistem, yang bertujuan untuk mengevaluasi integrasi antar komponen dan memastikan bahwa sistem dapat memberikan respons otomatis terhadap kondisi bahaya seperti kebocoran gas, keberadaan api, dan suhu tinggi. Tahapan ini memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan pengguna.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah implementasi selesai, sistem pendeteksi kebocoran gas LPG diuji untuk memastikan fungsionalitas komponen, termasuk sensor MQ-6, sensor LM35, *flame sensor*, motor servo, *buzzer*, *fan*, dan integrasi dengan Bot Telegram. Notifikasi *real-time* melalui Bot Telegram memastikan pengguna segera mengetahui potensi bahaya.

3.1. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor MQ-6

Pengujian sensor MQ-6 dilakukan sebanyak 30 kali untuk mengukur kadar gas dalam satuan ppm dan memantau status *fan*, servo, serta *buzzer* dalam sistem deteksi kebocoran gas LPG. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kadar gas tertinggi tercatat sebesar 409 ppm pada pengukuran ke-16, sedangkan nilai terendah sebesar 24 ppm pada pengukuran ke-9. Ambang batas kadar gas ditetapkan sebesar 200 ppm, yang digunakan sebagai parameter untuk mengaktifkan perangkat *fan*, servo, dan *buzzer*. Pada pengukuran ke-16 hingga ke-30, kadar gas yang terdeteksi melebihi ambang batas sehingga perangkat tersebut aktif. Sebaliknya, pada pengukuran ke-1 hingga ke-15, kadar gas berada di bawah ambang batas, menyebabkan perangkat tetap tidak aktif. Pemilihan ambang batas 200 ppm bertujuan untuk mendeteksi kondisi bahaya seperti kebocoran gas tanpa terlalu sensitif terhadap perubahan kecil yang tidak berbahaya, sehingga efisiensi operasional tetap terjaga. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor MQ-6 Pada Gas LPG

No	Nilai Kadar Gas (ppm)	Status Alat		
		<i>Fan</i>	Servo	<i>Buzzer</i>
1	28	off	open	off
2	66	off	open	off
:	:	:	:	:
8	61	off	open	off
9	24	off	open	off
:	:	:	:	:
16	409	on	close	on
:	:	:	:	:
28	335	on	close	on
29	312	on	close	on
30	328	on	close	on

3.2. Hasil Pengujian Pembacaan Flame sensor

Pengujian *flame sensor* dilakukan sebanyak 30 kali untuk mengevaluasi kemampuan mendeteksi keberadaan api serta integrasinya dengan sistem notifikasi. Pada 15 pengukuran pertama, nilai sensor menunjukkan tidak adanya api, dengan status tercatat sebagai "tidak ada api," dan sistem notifikasi tetap dalam keadaan non-aktif. Namun, pada pengukuran ke-16 hingga ke-30, nilai sensor berubah, mengindikasikan keberadaan api yang dicatat sebagai "ada api," sehingga sistem secara otomatis mengaktifkan notifikasi. Meskipun sistem berjalan sesuai harapan, ditemukan dua anomali pada pengukuran ke-22 dan ke-23, di mana notifikasi tidak terkirim akibat kendala teknis pada sistem atau jaringan. Hasil lengkap pengujian *flame sensor* terhadap deteksi api pada LPG disajikan dalam Tabel 2.

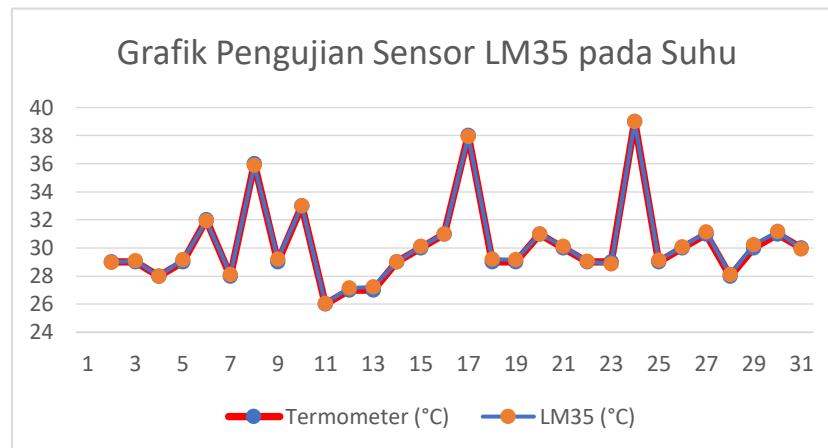
Tabel 2. Hasil Pengambilan Sampel *Flame sensor*

No	Nilai Sensor Api	Status Api	Notifikasi (Aktif/Non Aktif)
1	0	tidak ada api	non aktif
2	0	tidak ada api	non aktif
3	0	tidak ada api	non aktif
:	:	:	:
22	1	ada api	non aktif
23	1	ada api	non aktif
24	1	ada api	aktif
:	:	:	:
29	1	ada api	aktif
30	1	ada api	aktif

3.3. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor LM35

Pengujian sensor LM35 dilakukan sebanyak 30 kali untuk mengevaluasi akurasi pengukuran suhu dibandingkan dengan termometer konvensional. Akurasi dihitung dengan mengurangi error relatif dari 100%, di mana error relatif diperoleh dari selisih nilai terukur dan nilai sebenarnya, dibagi nilai sebenarnya, lalu dikalikan 100%. Akurasi tinggi menunjukkan error kecil, sehingga pengukuran dianggap andal dan mendekati nilai sebenarnya[15]. Rentang suhu yang diukur bervariasi antara 26,05°C hingga 39,98°C. Analisis hasil pengukuran melibatkan perhitungan error absolut, error relatif, dan tingkat akurasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor LM35 memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi, dengan nilai akurasi terendah sebesar

99,22% dan tertinggi mencapai 99,97%. Error absolut maksimum tercatat sebesar 0,22°C, sementara error relatif tertinggi hanya mencapai 0,78%. Sebagian besar pengukuran menunjukkan error absolut di bawah 0,2°C dan error relatif di bawah 0,5%, yang mencerminkan kinerja sensor yang sangat stabil dan konsisten. Rata-rata tingkat akurasi sensor LM35 berada di atas 99,5%, menunjukkan bahwa hasil pengukurannya mendekati hasil pengukuran termometer konvensional. Hasil lengkap pengujian disajikan dalam Gambar 2 dan Tabel 3.



Gambar 2. Grafik Pengujian Sensor LM35 Pada Suhu

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor LM35 Pada Suhu

No	Termometer (°C)	LM35 (°C)	error absolut	error relatif (%)	akurasi (%)
1	29	28,96	0,04	0,14	99,86
2	29	29,07	0,07	0,24	99,76
3	28	27,97	0,03	0,11	99,89
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
28	30	30,22	0,22	0,73	99,27
29	31	31,17	0,17	0,55	99,45
30	30	29,91	0,09	0,30	99,70

3.4. Hasil Pengujian Notifikasi Bot Telegram

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan pengiriman notifikasi melalui Bot Telegram yang terintegrasi dengan sensor MQ-6, *flame sensor*, dan sensor LM35. Hasil pengujian notifikasi Bot Telegram dapat dilihat pada Gambar 3.



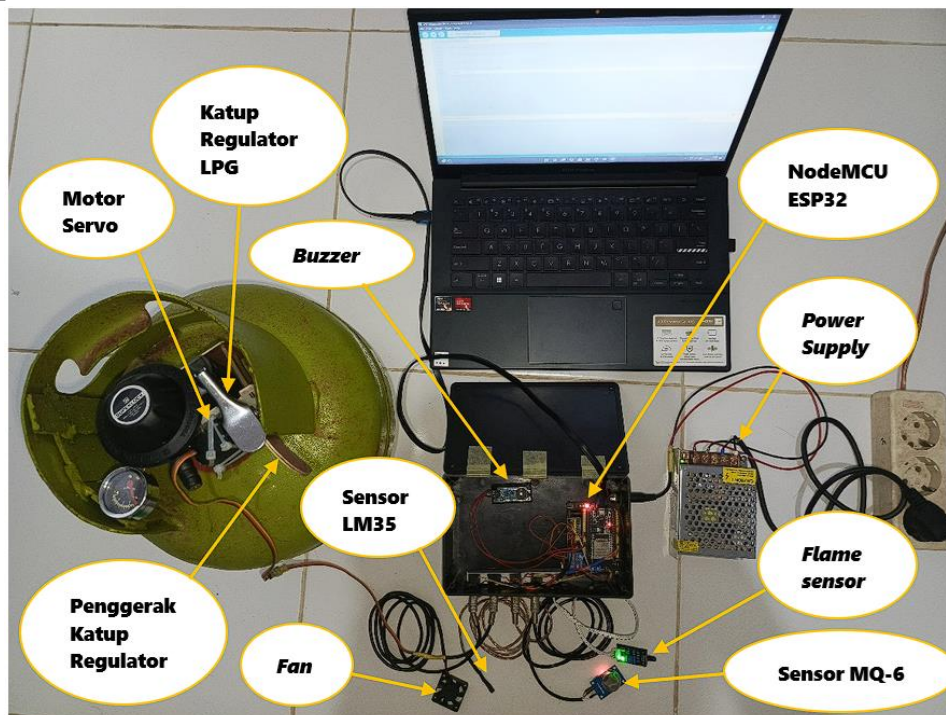
Gambar 3. Hasil Pengiriman Notifikasi pada Aplikasi Bot Telegram

Sistem memanfaatkan koneksi jaringan internet untuk mengirimkan data dari NodeMCU ESP32 secara real time. Saat sensor MQ-6 atau LM35 mendeteksi melebihi ambang batas maupun

flame sensor mendeteksi keberadaan api, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi ke Bot Telegram. Notifikasi tersebut berisi informasi detail, termasuk tingkat konsentrasi gas, status api, dan suhu lingkungan serta mengaktifkan perangkat pendukung seperti *fan*, servo, dan *buzzer* untuk respons tambahan.

3.5. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan integrasi komponen, termasuk NodeMCU ESP32, sensor MQ-6, *flame sensor*, dan sensor LM35, berfungsi sesuai harapan. Hasilnya menunjukkan sistem dapat mendeteksi kebocoran gas, peningkatan suhu, atau keberadaan api, lalu mengaktifkan perangkat pendukung seperti *fan*, servo, dan *buzzer*, serta mengirimkan notifikasi *real-time* melalui Bot Telegram. Pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengujian Keseluruhan Sistem Deteksi Kebocoran Gas pada LPG

Hasil pengujian keseluruhan sistem menunjukkan kinerja yang konsisten sesuai dengan spesifikasi, di mana masing-masing sensor diuji sebanyak 30 kali untuk memantau kadar gas, suhu, dan keberadaan api, serta mengontrol perangkat pendukung seperti *fan*, servo, dan *buzzer*. Sensor MQ-6 mencatat nilai kadar gas terbesar sebesar 409 ppm pada pengukuran ke-16 dan nilai terkecil sebesar 24 ppm pada pengukuran ke-9, dengan ambang batas 200 ppm untuk mengaktifkan perangkat pendukung. Pada pengukuran ke-16 hingga ke-30, nilai kadar gas melampaui ambang batas, sehingga perangkat seperti *fan*, servo, dan *buzzer* aktif. Sebaliknya, pada pengukuran ke-1 hingga ke-15, kadar gas di bawah 200 ppm sehingga perangkat tetap nonaktif.

Sensor LM35 mencatat suhu tertinggi sebesar 38,98°C pada pengukuran ke-23 dan suhu terendah sebesar 26,05°C pada pengukuran ke-10, dengan ambang batas 35°C untuk aktivasi perangkat. Perangkat mulai aktif pada suhu di atas ambang batas, misalnya pada pengukuran ke-7, meskipun kadar gas tetap di bawah 200 ppm. Pada nilai sensor api, keberadaan api (nilai 1) terdeteksi pada pengukuran ke-16 hingga ke-30, yang juga memicu aktivasi perangkat. Sebaliknya, nilai sensor api menunjukkan tidak ada api (nilai 0) pada pengukuran ke-1 hingga ke-15, sehingga perangkat tetap tidak aktif.

Sistem menunjukkan tingkat responsif yang baik dalam kondisi darurat berdasarkan ambang batas yang ditentukan. Namun, waktu delay dalam pengiriman notifikasi ke Bot Telegram tercatat pada 11 dari 13 sampel aktif, dengan rentang waktu antara 1,05 hingga 2,45 detik. Delay tercepat sebesar 1,05 detik terjadi pada pengukuran ke-7 dan ke-21, sedangkan delay terlama sebesar 2,45 detik pada pengukuran ke-24. Selain itu, terdapat dua kasus pada pengukuran ke-22 dan ke-23 di mana perangkat aktif tetapi notifikasi tidak terkirim, menunjukkan potensi perbaikan dalam sistem notifikasi. Secara keseluruhan, sistem memiliki tingkat efektivitas sebesar 93,33%, dengan 28 dari 30 sampel menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi. Sistem ini terbukti mampu merespons kondisi darurat berdasarkan kadar gas, suhu, dan keberadaan api, meskipun perlu optimasi lebih lanjut untuk meningkatkan keandalan notifikasi. Hasil pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Keseluruhan Sistem

NO	Nilai Kadar Gas (ppm)	Nilai Sensor Api	LM35(°C)	Status Alat			Delay Notifikasi (Second)
				<i>Fan</i>	<i>Servo</i>	<i>Buzzer</i>	
1	28	0	28,96	off	open	off	Tidak ada notifikasi
2	66	0	29,07	off	open	off	tidak ada notifikasi
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
7	62	0	35,89	on	close	on	1.05
8	61	0	29,21	off	open	off	tidak ada notifikasi
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	305	1	30,12	on	close	on	1.35
21	339	1	29,06	on	close	on	1.05
22	330	1	28,87	on	close	on	tidak ada notifikasi
23	306	1	38,98	on	close	on	tidak ada notifikasi
24	300	1	29,12	on	close	on	2.45
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
29	312	1	31,17	on	close	on	1.33
30	328	1	29,91	on	close	on	1.17

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dua poin kesimpulan utama dapat diambil sebagai berikut:

1. Sistem deteksi kebocoran gas LPG berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu mendeteksi kebocoran gas, keberadaan api, dan peningkatan suhu secara akurat dan real time. Sistem ini mengintegrasikan sensor MQ-6, flame sensor, dan LM35 dengan NodeMCU ESP32, serta dilengkapi aktuator otomatis berupa kipas, buzzer, dan servo-regulator yang merespons kondisi berbahaya secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 93,33% untuk deteksi gas dan api, serta lebih dari 99,5% untuk pengukuran suhu dengan error absolut maksimum 0,22°C. Sistem juga terbukti mampu memberikan notifikasi real-time melalui Bot Telegram dengan delay rata-rata 1-2,5 detik, sehingga pengguna dapat segera melakukan tindakan pencegahan.
2. Penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan sistem keamanan berbasis IoT melalui integrasi multi-sensor, aktuator otomatis, dan notifikasi kontekstual dalam satu arsitektur yang komprehensif. Pendekatan ini memperluas konsep deteksi kebocoran gas dari sekadar pemantauan menjadi sistem reaktif cerdas yang mampu bertindak otomatis ketika potensi bahaya terdeteksi.

3. Dari sisi penerapan, sistem ini dapat diadopsi pada lingkungan rumah tangga sebagai alat peringatan dini yang mudah dipasang, hemat daya, dan ekonomis, serta dapat diadaptasi untuk industri kecil seperti dapur komersial, pabrik makanan, atau bengkel yang menggunakan LPG. Dengan penambahan cadangan daya dan dashboard pemantauan daring, sistem ini berpotensi menjadi solusi keamanan gas yang praktis, terjangkau, dan dapat diimplementasikan secara luas untuk mendukung pengembangan smart home maupun smart industry.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan kekurangan yang ditemukan, saran untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Peneliti selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem notifikasi tambahan melalui platform lain atau aplikasi pendukung agar pengguna memperoleh variasi peringatan, terutama ketika terjadi gangguan konektivitas pada Bot Telegram, sehingga keandalan sistem dapat meningkat.
2. Penelitian berikutnya dapat mempertimbangkan penggunaan sensor dengan sensitivitas lebih tinggi atau jangkauan deteksi yang lebih luas, guna meningkatkan akurasi pengukuran serta efektivitas sistem dalam mendeteksi kebocoran gas pada berbagai kondisi lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prodi Rekayasa Sistem Komputer, FMIPA Universitas Tanjungpura yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhtar, M., Ariyanto, L., dan Wibisono, A., 2021, *Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG (Liquified Petroleum Gas) Berbasis Arduino Uno*, Laporan Penelitian, Indonesia.
- [2] Kristiyanto, A., dan Zulfikar, A. F., 2021, *Deteksi Kebocoran LPG Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy*, Laporan Penelitian, Indonesia.
- [3] Sari, E. L. I. P., Enriko, I. K. A., dan Melinda, 2023, *Design Gas LPG Leak Detection System Based on Internet of Things*, Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Sejarah (JIMPS), Vol. 8, No. 3, hal. 1053-1060, doi:10.24815/jimps.v8i3.24989.
- [4] Pratiwi, S. P., dan Nurhastuti, T., 2023, *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Wemos D1 R1 dengan Notifikasi Peringatan WhatsApp dan Telegram Berbasis IoT*, Jurnal Teknologi Informasi, Vol. 9, No. 2, hal. 97-105 [Online]. Available: <https://ejournal.urindo.ac.id/index.php/TI/index>.
- [5] Novianra, M. E., Karim, S., dan Suswanto, 2022, *Sistem Deteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Wemos R1 D1 dengan Sensor MQ-2*, Jurnal Teknik, Vol. 16, No. 2, hal. 190–199.
- [6] Tambunan, S., dan Stefanie, A., 2023, *Monitoring Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 pada Rumah dengan Notifikasi Bot Telegram*, JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), Vol. 7, No. 2, hal. 1423–1428, doi:10.36040/jati.v7i2.6815.

- [7] Setyawan, R., Dewanto, Y., dan Zariatn, D., 2018, *Prototipe Alat Deteksi Kandungan CO dan HC dalam Kabin Kendaraan Menggunakan Mikrokontroler Arduino*, Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin, Vol. 8, No. 2, hal. 55–60, doi:10.35814/teknobiz.v8i2.895.
- [8] Ahmad, J., Virgian, D., dan Sakti, S. Y., 2024, *Alat Pendeteksi Suhu dan Kebakaran Menggunakan Wemos D1 dan Sensor DHT22 Berbasis IoT*, Jurnal Teknik Informatika, Vol. 3, No. 1, hal. 143–151.
- [9] Tommy, A., 2022, *Implementation of a Gas Leakage Detection System Using the MQ-6 Sensor*, Brilliance Research in Artificial Intelligence, Vol. 2, No. 1, hal. 17–21, doi:10.47709/brilliance.v2i1.1536.
- [10] Istiyanto, I., Solehudin, R., Nofarenzi, Y., dan Setiyorini, T., 2022, *Alat Pendeteksi Dini Kebocoran Gas LPG dengan Sensor MQ2 dan Sensor Api Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU*, Jurnal Infortech, Vo.4, No.1, hal. 1-8 [Online]. Available: <http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/infortech>.
- [11] Patgiri, B., Barman, R., Rabha, J. P., dan Taid, R., 2021, *Microcontroller Based Advanced LPG and Methane Gas Leakage Detection and Response System*, Laporan Penelitian, India.
- [12] Irgian, M. I. P., dan Rozi, F., 2022, *Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Telegram Bot*, JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika), Vol. 7, No. 2, hal. 615–621, doi:10.29100/jipi.v7i2.1665.
- [13] Dasawati, E. S., dan Tanumihardja, W. J., 2024, *Aplikasi Peringatan Dini Kebocoran Gas LPG untuk Rumah Tangga dengan Modul NodeMCU ESP32*, Jurnal Informatika dan Bisnis, Vol. 13, No. 1, hal. 22–36, doi:10.46806/jib.v13i1.1148.
- [14] Amir, F., dan Maulan, R., 2020, *Sistem Pendeteksi Kebocoran Liquefied Petroleum Gas Menggunakan Metode Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Internet of Things*, JURTEK, Vol. 12, No. 2, hal. 151–158, doi:10.24853/jurtek.12.2.151-158.
- [15] Septiana, R., Roihan, I., dan Koestoer, R. A., 2020, *Testing a Calibration Method for Temperature Sensors in Different Working Fluids*, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol. 68, No. 2, hal. 84–93, doi:10.37934/ARFMTS.68.2.8493.