

---

## Analisis Z-score untuk Deteksi Dini Kebakaran Berbasis IoT

Muhammad Iqbal Alhamdani<sup>1\*</sup>, Denis Prayogi<sup>2</sup>, Okky Herodion Simunn<sup>3</sup>

<sup>1\*,2,3</sup>Program Studi Teknik Informatika, STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati, Tarakan, Kalimantan Utara  
Email: <sup>1\*</sup>2051013@student.ppkia.ac.id, <sup>2</sup>denis@ppkia.ac.id, <sup>3</sup>okky@ppkia.ac.id

### Abstrak

Kebakaran adalah bencana yang dapat merusak aset, lingkungan, dan mengancam keselamatan jiwa. Kota Tarakan mengalami beberapa kejadian kebakaran selama Tahun 2025, yang salah satu penyebabnya adalah karena kebocoran gas rumah tangga yang terlambat terdeteksi. Kondisi seperti ini menunjukkan masih terbatasnya sistem deteksi dini yang bisa memberikan informasi secara tepat dan akurat. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis, serta membuat perangkat pendeteksi dini kebakaran berbasis IoT. Sensor yang digunakan yaitu MQ-2 untuk mendeteksi kebocoran gas dan flame sensor untuk mendeteksi api. Analisis data menggunakan Z-score dalam mendeteksi penyimpangan nilai sensor yang signifikan dari keadaan kondisi normal. Perangkat dilengkapi LCD dan buzzer sebagai alarm peringatan lokal yang dapat diketahui oleh orang-orang disekitar, serta terhubung ke halaman web untuk monitoring real-time ke petugas pemadam. Hasil penelitian dari beberapa percobaan menunjukkan bahwa potensi dini kebakaran dapat dideteksi dari perangkat yang dibangun. Z-score mampu menganalisis data dari tiga sensor gas untuk menentukan deteksi dalam bentuk siaga 1 sampai siaga 4, serta sistem memberikan peringatan dini berupa bunyi buzzer di lokasi, dan di dashboard website untuk petugas pemadam.

**Kata Kunci:** Deteksi dini kebakaran, MQ-2, sensor flame, Z-score, IoT.

## *Z-score Analysis for Early Fire Detection Based on IoT*

### Abstract

*Fire is a disaster that can damage assets, the environment, and threaten human safety. The city of Tarakan experienced several fires in 2025, one of which was caused by a household gas leak that was detected too late. This situation shows that early detection systems that provide accurate, precise information remain limited. Therefore, the purpose of this study is to analyze and create an IoT-based early fire detection device. The sensors used are an MQ-2 gas sensor to detect gas leaks and flame sensors to detect fire. Data analysis uses the Z-score to detect significant deviations in sensor values from normal conditions. The device is equipped with an LCD and a buzzer for local warning, audible to people nearby, and is connected to a web page for real-time monitoring by firefighters. The results of several experiments show that the potential for early fire detection can be detected from the device built. The Z-score analyzes data from three gas sensors to determine detection levels, ranging from alert 1 to alert 4, and the system provides early warnings via buzzer sounds at the location and on the website dashboard for firefighters.*

**Keywords:** Early fire detection, flame sensor, MQ-2, Z-score.

---

### I. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu ancaman insiden yang bisa terjadi kapan saja, dapat menimbulkan kerugian materiil, berpotensi mengancam keselamatan jiwa, dan bisa merusak lingkungan. Berbagai kajian telah menegaskan bahwa kebakaran sebagai peristiwa pembakaran yang tidak terkendali, ditambah dengan pelepasan gas beracun dan energi panas yang cepat, menuntut adanya sistem mitigasi yang responsif dan efektif [1] [2]. Dalam konteks manajemen risiko bencana, penekanan utama ditempatkan pada sistem peringatan dini (*early warning system*) yang terintegrasi untuk

meminimalkan waktu tanggap (*response time*) dan mengurangi skala kerusakan [3].

Insiden kebakaran tetap menjadi isu kritis, terutama di kawasan padat penduduk. Kota Tarakan, Kalimantan Utara, menjadi kasus studi yang relevan, di mana kerentanan tinggi tercermin dari insiden-insiden besar yang terjadi, seperti peristiwa pada Tahun 2025 yang melanda beberapa tempat dan menghanguskan rumah warga. Beberapa kali terjadinya kebakaran mengindikasikan bahwa sebagian besar kasus kebakaran di area padat penduduk seringkali diakibatkan oleh faktor kelalaian manusia, khususnya yang melibatkan

kegagalan perangkat atau ketidakhati-hatian yang memicu kebocoran gas LPG atau sumber api lainnya [4].

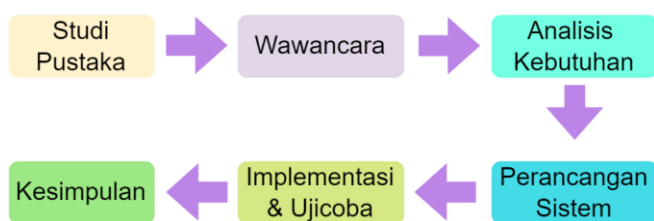
Analisis terhadap penanganan insiden menunjukkan adanya kesenjangan kritis yang menjadi fokus utama penelitian ini, yaitu keterlambatan pendeteksian dini. Keterlambatan ini terjadi karena sistem deteksi konvensional cenderung hanya efektif saat api telah membesar. Padahal, pemicu awalnya, seperti kebocoran gas atau nyala api kecil, sudah dapat dideteksi pada fase yang lebih awal [5]. Kondisi ini menyebabkan api cepat membesar dan penanganan oleh instansi terkait menjadi terlambat.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada deteksi awal atau potensi kebakaran menggunakan pendekatan berbasis teknologi, dimana beberapa sensor disimulasikan dipasang di berbagai posisi untuk mendeteksi adanya kebocoran atau titik api yang berpotensi membesar. Sensor MQ-2 merupakan salah satu sensor yang bisa digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas bocor yang berasal dari tabung, dikombinasikan dengan flame sensor yang dapat mendeteksi adanya titik api secara sensitif pada gelombang inframerah (.760 nm–1.100 nm) [6]. Dalam menentukan status siaga 1-4 skala kebakaran, maka digunakan metode statistik Z-score. Penerapan metode statistik dinamis seperti nilai Z-score terbukti mampu membedakan kondisi normal dan kondisi potensi bahaya secara lebih cepat dan akurat. Metode ini sensitif terhadap perubahan nilai atau *outlier* [7] yang mendadak dari sensor, memungkinkan perangkat mengidentifikasi perubahan signifikan sebagai status bahaya kritis. Sistem deteksi dan pemantauan tidak hanya dapat memberikan peringatan lokal melalui suara buzzer, namun dapat juga mengirimkan titik koordinat terjadinya kebakaran secara real-time kepada petugas terkait karena terintegrasi dengan IoT (*Internet of Things*) [8].

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini melakukan beberapa tahapan penelitian agar lebih fokus dan terarah [9]:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

#### 1. Studi Pustaka

Tahapan ini, peneliti mencari sumber rujukan sebagai pedoman dan landasan teori data-data observasi dengan cara membaca artikel, dan buku-buku di Perpustakaan yang berhubungan dengan mikrokontroler, MQ-2, flame sensor, dan lainnya.

#### 2. Wawancara

Peneliti selanjutnya melakukan wawancara ke kantor pemadam kebakaran setempat untuk mencari informasi terkait data-data yang diperlukan, seperti sistem yang akan dibuat beserta cara kerjanya.

#### 3. Analisis Kebutuhan

Tahapan ini penulis melakukan analisa kebutuhan terkait perangkat yang akan digunakan dalam pembuatan deteksi dini kebakaran, serta analisis metode yang digunakan, dalam hal ini adalah penggunaan z-score untuk mendeteksi adanya kemungkinan potensi kebakaran.

#### 4. Perancangan Sistem

Tahapan berikutnya adalah merancang sistem perangkat keras dan lunak. Rancangan perangkat keras meliputi skema rangkaian elektronik dari berbagai modul sensor dan listrik agar dapat bekerja dengan baik. Rancangan perangkat lunak meliputi alur kerja sistem serta tampilan monitoring deteksi dini.

#### 5. Implementasi & Ujicoba

Tahapan ini merupakan implementasi dari rancangan yang sudah dibuat sebelumnya. Memastikan semua komponen perangkat keras diujicoba dan dapat bekerja dengan baik, mendeteksi dan mengirimkan informasi yang dibutuhkan, serta melakukan evaluasi jika ada suatu kondisi tidak sesuai dengan yang diharapkan.

#### 6. Kesimpulan

Tahapan terakhir adalah menarik kesimpulan dari penelitian yang sudah dikerjakan. Kesimpulan meliputi apakah sudah mencapai tujuan penelitian dan menyelesaikan permasalahan. Hasil akhir berupa laporan penelitian dan publikasi di jurnal ilmiah.

#### B. Z-score

Z-score merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk mendeteksi adanya penyimpangan data terhadap nilai rata-rata. Z-score bekerja dengan cara membandingkan nilai observasi dengan rata-rata (mean) serta standar deviasi dari data historis. Semakin besar nilai Z Score yang dihasilkan, maka semakin jauh nilai tersebut menyimpang dari kondisi normal [7]. Z-score dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Dimana:

Z = nilai Z-score

X = nilai aktual saat ini

$\mu$  /  $\mu$  = rata-rata (mean) dari data

$\sigma$  /  $\sigma$  = simpangan baku (standard deviation) dari data

#### C. Kebutuhan Perangkat & Pendukung

##### 1. ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berukuran kecil dan harga murah, yang memiliki teknologi 12 bit. Dibuat oleh perusahaan bernama Espressif Systems, mikrokontroler ini sudah dilengkapi modul WiFi. Sehingga memungkinkan untuk dapat terkoneksi ke jaringan internet [10] dan digunakan untuk proyek IoT.



Gambar 2. ESP32

2. Sensor MQ-2

MQ-2 merupakan sensor yang dapat mendeteksi konsentrasi gas diudara yang mudah terbakar. Jenis gas yang dapat dideteksi oleh sensor ini adalah LPG, Metana, gas butane, alkohol, hidrogen, dan asap [11].



Gambar 3. Sensor MQ-2

3. Sensor Flame

Sensor flame merupakan sensor yang dapat mendeteksi keberadaan api berdasarkan inframerah yang dipancarkan pada gelombang 760 nm sampai 1.100 nm [6]. Sensor ini sangat sensitif terhadap titik api, sehingga cocok digunakan untuk sistem deteksi dini.



Gambar 4. Sensor Flame

4. Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronika yang dapat mengubah getaran suara menjadi getaran suara. Komponen ini sangat cocok digunakan pada perangkat yang membutuhkan indikator bunyi untuk sebuah *alert*.



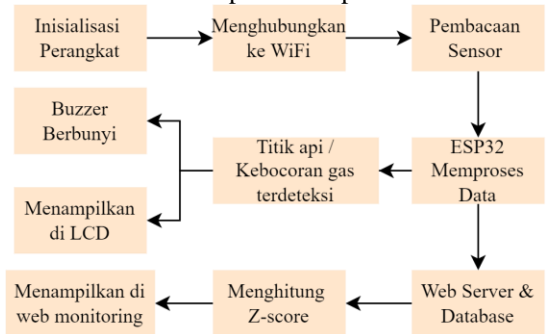
Gambar 5. Buzzer

5. LCD\_I2C 16x2

LCD (Liquid Crystal Display) merupakan komponen yang digunakan sebagai penampil, fungsinya mirip seperti monitor. Tersedia dengan berbagai jenis dan ukuran, namun pada penelitian ini, yang digunakan adalah LCD I2C ukuran 16x2

D. Perancangan Sistem

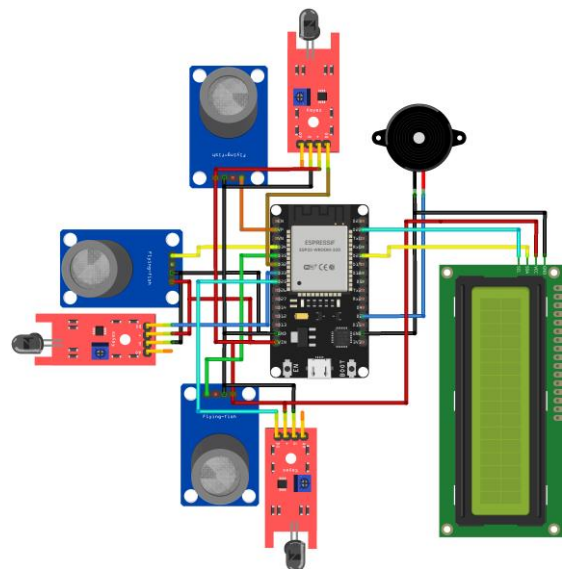
Sistem deteksi dini kebakaran yang dibuat pada penelitian ini berupa perangkat yang terdiri dari masing-masing 3 (tiga) sensor MQ-2 dan sensor flame. MQ-2 berperan penting karena sebagai deteksi dini kebocoran gas yang dapat memicu kebakaran. Data dari sensor MQ-2 dan flame dikirim dari ESP32 ke web server, kemudian menyimpan data nilai tersebut di database. Web server akan mengolah data MQ-2 untuk melihat apakah terjadi *outlier* dari rata-rata pembacaan sensor. Untuk mengetahui penyimpangan atau *outlier* pada data sensor, digunakan perhitungan Z-score menggunakan persamaan (1). Hasil dari Z-score inilah yang menentukan apakah terjadi kebocoran gas yang signifikan dan mengetahui lokasi berdasarkan lokasi MQ-2 yang berada di tempat berbeda-beda. Sementara flame berfungsi untuk memvalidasi apakah dari kebocoran itu, terdeteksi titik api. Blok diagram dari keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram Sistem Deteksi Dini Kebakaran

Status kebocoran gas langsung diinfokan ke petugas dalam bentuk layar di web monitoring yang menampilkan kondisi real-time. Sehingga petugas dapat melakukan mitigasi lebih cepat karena sudah mengetahui potensi kebakaran.

Komponen-komponen yang terhubung pada perangkat deteksi dini kebakaran dapat dilihat pada Gambar 7.



fritzing

Gambar 7. Skema Elektronika Perangkat Deteksi Dini Kebakaran

Desain skema Elektronika memberikan gambaran tentang keseluruhan alur kabel yang di pasang pada perangkat. sensor MQ-2 dan flame diletakkan di beberapa titik, kemudian terdapat buzzer dan LCD sebagai output dari data yang diterima dari perangkat. Tabel 1 memaparkan lebih detail mengenai pin-pin yang digunakan.

Tabel 1. Alur Kabel pada Perangkat

No	Deskripsi
1.	Pin VCC pada MQ-2 (1) (2) (3) terhubung ke pin 5V
2.	Pin GND Pada MQ-2 (1) (2) (3) terhubung ke pin GND
3.	Pin A0 pada MQ-2 (1) terhubung ke pin D34
4.	Pin A0 pada MQ-2 (2) terhubung ke pin D35
5.	Pin A0 pada MQ-2 (3) terhubung ke pin VP/D39
6.	Pin VCC pada Flame Sensor (1) (2) (3) terhubung ke pin 5V
7.	Pin GND Pada Flame Sensor (1) (2) (3) terhubung ke pin GND
8.	Pin D0 flame sensor (1) terhubung ke pin D33
9.	Pin D0 flame sensor (2) terhubung ke pin D32
10.	Pin D0 flame sensor (3) terhubung ke pin D25
11.	Pin VCC pada buzzer terhubung ke pin D2
12.	Pin GND pada buzzer terhubung ke GND
13.	Pin vcc pada lcd terhubung ke 5v
14.	Pin GND pada lcd terhubung ke GND
15.	Pin Sda pada LCD terhubung ke pin D21
16.	Pin SCL pada Lcd terhubung ke pin D22

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Ujicoba Perangkat

Perangkat deteksi dini kebakaran dibangun menggunakan miniatur yang disimulasikan untuk mendeteksi kebocoran gas dan titik api di beberapa titik lokasi di suatu ruangan. Ujicoba dilakukan dengan cara memberikan gas pada ketiga sensor untuk memastikan apakah sensor bekerja dengan baik. Selain itu, peneliti juga memberikan konsentrasi gas yang lebih banyak pada salah satu sensor MQ-2 dibandingkan dengan lainnya untuk menguji sensitifitas dari Z-score.



Gambar 8. Ujicoba Sensor MQ-2

Selain menguji MQ-2, peneliti juga melakukan ujicoba meletakkan titik api di posisi yang terjangkau oleh sensor

flame. Pada penelitian ini, flame digunakan hanya untuk mendeteksi ada atau tidak ada api, jadi tidak mendeteksi intensitas besarnya api.



Gambar 9. Ujicoba Sensor Flame

#### B. Implementasi Z-score

Penelitian ini menggunakan Z-score untuk menentukan tingkat siaga kebakaran berdasarkan nilai-nilai dari sensor gas MQ-2. Jika nilai Z-score lebih tinggi dari ambang batas atau *threshold* yang telah ditentukan, maka kemungkinan telah terjadi kejadian tidak normal seperti adanya gas yang bocor di salah satu atau semua titik. Untuk menghitung Z-score, maka digunakan persamaan (1), kemudian datanya berdasarkan data historis dari ketiga sensor MQ-2. Tabel 2 merupakan detail data yang diambil setiap satu menit dari ketiga sensor.

Tabel 2. Data Sensor Gas

Data ke	Sensor Gas 1	Sensor Gas 2	Sensor Gas 3
1	422	79	272
2	441	77	277
3	438	48	258
4	401	63	256
5	425	32	295
6	443	80	269
7	433	49	292
8	411	61	257
9	388	59	254
10	401	62	285

Berdasarkan data pada Tabel 2, maka nilai Z-score dari masing-masing sensor adalah:

$$Z - \text{score sensor1} = \frac{422 - 226.43}{144.04} = 1.1413165$$

$$Z - \text{score sensor2} = \frac{79 - 226.43}{144.04} = -1.238$$

$$Z - \text{score sensor3} = \frac{272 - 226.43}{144.04} = 0.102$$

144.04 merupakan standar deviasi berdasarkan 30 data dari nilai sensor. Dari perhitungan tersebut, nilai terbaik atau dengan index tertinggi adalah 1.1413165 dari Z-score sensor gas1. Ini menunjukkan bahwa sensor gas1 mendeteksi lebih banyak kadar gas daripada sensor lainnya, namun sistem belum memberikan peringatan kebakaran karena nilainya masih dibawah *threshold*.

#### C. Hasil Analisis

Berdasarkan 5 percobaan, maka didapatkan data seperti pada Tabel 3. Untuk mengurangi kesalahan deteksi (*false*

positive), seperti orang yang sedang menyalakan korek api di area jangkauan sensor tidak terdeteksi kebocoran gas, maka digunakan *threshod*. Nilai ini ditentukan berdasarkan percobaan deteksi, sehingga didapat nilai *threshod* adalah 4 (empat). Artinya jika Z-score tertinggi nilainya lebih dari 4 (empat), maka sistem akan mendeteksi kebocoran gas dan berpotensi kebakaran siaga 1 (satu).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Z-score

Uji coba	Z-score 1	Z-score 2	Z-score 3	Max Z-score	Ket
1	3.99	2.86	0.02	3.99	0
2	4.12	1.08	2.3	4.12	1
3	3.9	0.93	5.67	5.67	2
4	3.82	0.89	6.76	6.76	3
5	3.36	7.49	6.12	7.49	4

Tabel 3 menampilkan sampel data uji coba yang dilakukan pada penelitian ini. Pada kolom keterangan, terdapat angka 0 (nol) yang berarti tidak ada mendeteksi kebocoran gas. Sedangkan angka 1-4 menandakan ada kebocoran dengan status siaga1 sampai siaga4.



Gambar 10. Simulasi Monitoring Deteksi Dini Kebakaran

Hasil yang ditampilkan pada pihak petugas terlihat pada Gambar 10. Dimana simulasi menggunakan dua titik lokasi. Terlihat untuk lokasi rumah pertama disimulasikan tidak ada terdeteksi titik api dan tidak ada kebocoran gas. Sedangkan simulasi rumah kedua, meskipun tidak ada terdeteksi api, namun sensor membaca banyak terdapat konsentrasi gas di udara akibat kebocoran, sehingga sistem memberikan informasi siaga 4 karena nilainya berada diatas *threshod* yang ditentukan. Sistem juga menginformasikan lokasi rumah dengan mengklik link “ini”. Buzzer akan otomatis aktif apabila ada titik api atau sistem menginformasikan status siaga.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem yang dibangun berhasil mendeteksi kondisi siaga berdasarkan pembacaan gas yang di analisis menggunakan Z-Score, sehingga mampu memberikan peringatan dini secara otomatis. Flame berfungsi untuk memastikan apakah ada titik api di lokasi terjadinya kebocoran. Meskipun hasil uji coba menunjukkan keberhasilan deteksi, namun perlu adanya uji coba lebih lanjut pada skala yang lebih besar karena sensor bisa saja mendeteksi kesalahan karena sensitifitas pembacaannya. Penyesuaian *threshod* dalam menentukan status siaga juga perlu dipertimbangkan pada kondisi yang lebih nyata.

#### REFERENSI

[1] R. Afdalina and I. Slipilia, “Strategi Preventif dalam

Manajemen Risiko Kebakaran di Wilayah Permukiman Kota Padang,” *J. Adm. Pemerintah. Desa*, vol. 06, no. 02, pp. 1–17, 2025, doi: <https://doi.org/10.47134/villages.v6i2.334>.

[2] Z. Zulkifli, M. Muhallim, and H. Hasnahwati, “Pengembangan Sistem Alarm Dan Pemadam Kebakaran Otomatis Menggunakan Internet of Things,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4774.

[3] A. T. Jordan, E. Purwanto, and A. I. Pradana, “Implementasi IOT Untuk Deteksi Kebocoran Gas dan Peringatan Dini di Rumah Tangga,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 3, pp. 7716–7731, 2025.

[4] Y. A. Hasan, M. Mardiana, and G. F. Nama, “Sistem Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas LPG Otomatis Berbasis Arduino Uno Menggunakan Metode Prototype,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 10, no. 3, pp. 201–207, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v10i3.2671>.

[5] K. Prasojo, D. M. Rahman, and M. Akram, “Pengembangan Sistem Peringatan Kebakaran Berbasis IoT Dengan Jaringan Sensor Nirkabel,” *Pengemb. Sist. Peringatan Kebakaran Berbas. IoT Dengan Jar. Sens. Nirkabel*, vol. 2, no. 1, pp. 16–26, 2024, doi: <https://doi.org/10.61220/joresd.v2i1.249>.

[6] J. Yahya, N. Rahaningsih, and R. Danar, “Analisa Performa Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran Berbasis Arduino Uno Menggunakan Flame Sensor 5 Kanal Dan Simbol Darurat,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 1, pp. 437–444, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8458.

[7] M. Hussain and T. Zhang, “Machine learning-based outlier detection for pipeline in-line inspection data,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 254, no. PA, p. 110553, 2025, doi: 10.1016/j.res.2024.110553.

[8] M. Muspita, H. Hadriansa, and O. H. Simung, “Rekayasa Sistem Pemilah Sampah Logam dan Non Logam Berbasis IoT,” *J. Appl. Microcontroller Auton. Syst.*, vol. 5, no. 1, pp. 19–24, 2025.

[9] N. N. Rias, H. Haryansyah, and D. Prayogi, “Rekayasa Perangkat Pengendali Lampu pada Rumah Pintar Berbasis AI Menggunakan Telegram,” *J. Appl. Microcontroller Auton. Syst.*, vol. 5, no. 1, pp. 6–11, 2025.

[10] M. Rumanta, R. M. Kunda, and F. Manuhutu, “Design and Development of Biosensors for Detecting Marine Water Quality Based on ESP32 Microcontroller Devices,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 10, no. 6, pp. 3131–3136, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10i6.6944.

[11] R. Inggi and J. Pangala, “Perancangan Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Arduino,” *J. Sist. Inf. dan Sist. Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 12–22, 2021, doi: 10.51717/simkom.v6i1.51.