



Pengembangan Sistem Pendeteksi Asap dalam Ruangan Berbiaya Rendah Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor MQ-2

Andi Muhammad Arif Bijaksana^{1*}, Ishak², Bambang³

^{1*,2,3} Fakultas Teknik/Prodi Teknik Elektro, Universitas Islam Makassar, Indonesia

andimarifbijaksana.dty@uim_makassar.ac.id^{1*}, ishak256@gmail.com², bambangbambang@gmail.com³

Diterima: 20 Mei 2025

Disetujui: 28 Mei 2025

Dipublikasi: 15 Agustus 2025

ABSTRAK

Abstrak: Asap dalam ruangan tertutup merupakan salah satu indikator awal terjadinya kebakaran dan penurunan kualitas udara yang dapat membahayakan keselamatan penghuni. Keterlambatan deteksi asap sering kali disebabkan oleh keterbatasan sistem alarm konvensional yang relatif mahal dan kurang fleksibel dalam instalasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendeteksi asap dalam ruangan berbiaya rendah berbasis Arduino Uno menggunakan sensor MQ-2 sebagai sistem peringatan dini. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tahapan perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, dan pengujian sistem. Sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi asap dan menghasilkan sinyal analog yang diproses oleh Arduino Uno. Sistem peringatan direpresentasikan melalui buzzer dan LED yang aktif ketika nilai sensor melebihi ambang batas yang ditentukan. Pengujian dilakukan pada kondisi ruangan tanpa asap dan dengan asap untuk mengevaluasi respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi keberadaan asap secara efektif dan memberikan peringatan secara real-time. Sistem yang dikembangkan memiliki desain sederhana, biaya implementasi rendah, dan berpotensi diterapkan sebagai solusi keselamatan ruangan tertutup.

Kata Kunci: *Smoke Detection; Arduino Uno; Sensor MQ-2; Sistem Peringatan Dini*

Abstract: Smoke in enclosed indoor environments is an early indicator of fire incidents and indoor air quality degradation that may threaten occupant safety. Delayed smoke detection is often caused by the limitations of conventional alarm systems, which are relatively expensive and lack installation flexibility. This study aims to develop a low-cost indoor smoke detection system based on Arduino Uno using an MQ-2 sensor as an early warning mechanism. An experimental research method was employed, including hardware design, software development, and system testing. The MQ-2 sensor was used to detect smoke concentration and generate analog signals processed by the Arduino Uno. Warning outputs were represented by a buzzer and an LED, which were activated when the sensor value exceeded a predefined threshold. System testing was conducted under smoke-free and smoke-present conditions to evaluate system responsiveness. The results demonstrate that the proposed system can effectively detect smoke and provide real-time alerts. The developed system offers a simple design, low implementation cost, and potential applicability as an indoor safety solution.

Keywords: *Smoke Detection; Arduino Uno; MQ-2 Sensor; Early Warning System*

PENDAHULUAN

Asap dalam ruangan tertutup merupakan indikator awal terjadinya kebakaran serta penurunan kualitas udara yang dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan manusia. Paparan asap dalam jangka pendek maupun panjang dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi saluran pernapasan, hingga risiko kematian akibat inhalasi gas beracun sebelum api terdeteksi secara visual [25], [30]. Oleh karena itu, sistem pendeteksian asap yang mampu memberikan peringatan dini secara

cepat dan andal menjadi komponen penting dalam sistem keselamatan bangunan, khususnya pada lingkungan rumah tinggal dan ruangan tertutup berskala kecil [19], [22].

Berbagai sistem alarm asap konvensional telah diterapkan sebagai solusi keselamatan dasar, namun sistem tersebut masih memiliki sejumlah keterbatasan. Permasalahan umum meliputi sensitivitas yang tidak konsisten terhadap jenis asap tertentu, tingginya tingkat *false alarm*, serta biaya instalasi dan pemeliharaan yang relatif mahal [11], [22]. Kondisi ini berdampak pada rendahnya tingkat adopsi sistem pendeteksi asap, terutama di wilayah dengan keterbatasan ekonomi, sehingga meningkatkan kerentanan terhadap risiko kebakaran dalam ruangan [18], [26].

Perkembangan teknologi sistem tertanam (*embedded systems*) membuka peluang pengembangan sistem pendeteksi asap yang lebih sederhana, fleksibel, dan berbiaya rendah. Platform mikrokontroler Arduino Uno, yang bersifat *open-source*, banyak digunakan dalam penelitian karena kemudahannya dalam pemrograman, kompatibilitas dengan berbagai sensor, serta konsumsi daya yang relatif rendah [12], [13], [21]. Arduino Uno juga memungkinkan pengembangan sistem keselamatan berbasis sensor dengan biaya implementasi yang jauh lebih ekonomis dibandingkan sistem konvensional [29].

Sensor gas seri MQ, khususnya MQ-2, merupakan salah satu sensor yang umum digunakan untuk mendeteksi asap dan gas mudah terbakar di lingkungan dalam ruangan. Sensor ini memiliki sensitivitas yang cukup baik terhadap asap, LPG, dan gas hidrokarbon, serta mampu menghasilkan sinyal analog yang dapat diolah langsung oleh mikrokontroler [4], [14]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sensor MQ-2 dapat digunakan secara efektif dalam sistem pendeteksian asap berbiaya rendah apabila dikombinasikan dengan metode pemrosesan sinyal yang tepat [1], [7], [17].

Penelitian sebelumnya telah mengkaji pengembangan sistem pendeteksi asap berbasis Arduino dan sensor gas, baik sebagai sistem mandiri maupun terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) [8], [18], [24]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut menitikberatkan pada kompleksitas sistem, integrasi jaringan, atau aplikasi skala besar, sementara kajian mengenai sistem pendeteksi asap sederhana dan ekonomis untuk ruangan tertutup masih relatif terbatas [3], [9], [27]. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian (*research gap*) dalam pengembangan sistem pendeteksi asap yang mudah diimplementasikan, berbiaya rendah, dan tetap memiliki kinerja yang andal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem pendeteksi asap dalam ruangan berbiaya rendah berbasis Arduino Uno menggunakan sensor MQ-2 sebagai sistem peringatan dini. Sistem dirancang dengan fokus pada kesederhanaan arsitektur, kemudahan implementasi, serta evaluasi kinerja berdasarkan respons sensor dan indikator peringatan [2], [6], [10]. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem keselamatan ruangan yang ekonomis serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan menuju sistem pendeteksian asap yang lebih adaptif dan terintegrasi [15], [16], [20].

Deteksi asap. Deteksi asap merupakan komponen penting dalam sistem keselamatan bangunan untuk memberikan peringatan dini terhadap kemungkinan terjadinya kebakaran. Deteksi asap secara otomatis mampu mengidentifikasi keberadaan partikel asap di udara sebelum api terlihat, sehingga peringatan dapat dilakukan lebih cepat dibandingkan pengamatan manual [12]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem deteksi asap yang terintegrasi dengan teknologi elektronik mampu meningkatkan efektivitas peringatan dini dalam skenario keselamatan dalam ruangan [18]. Penggunaan sistem deteksi asap tidak hanya berguna dalam mitigasi risiko kebakaran tetapi juga dapat membantu dalam pemantauan kualitas udara dalam ruang tertutup [29].

Arduino Uno merupakan salah satu platform mikrokontroler berbasis *open-source* yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem tertanam (*embedded systems*) karena kemudahannya dalam pemrograman dan ketersediaan modul sensor yang luas [12]. Arduino Uno dilengkapi dengan antarmuka input/output digital maupun analog yang memudahkan integrasi dengan berbagai sensor termasuk sensor gas dan asap [13]. Beragam penelitian telah memanfaatkan Arduino Uno untuk aplikasi monitoring dan peringatan dini, termasuk deteksi asap dan gas berbahaya, karena

kemampuan pemrosesan real-time yang memadai dan biaya yang relatif rendah dibandingkan modul mikrokontroler lainnya [21], [25].

Sensor MQ-2 termasuk salah satu sensor gas yang umum digunakan dalam deteksi asap dan gas mudah terbakar seperti LPG, propana, dan hidrogen [14]. Sensor ini bekerja dengan prinsip resistansi yang berubah sesuai konsentrasi gas di sekitarnya, sehingga keluaran sinyal analog dapat diolah oleh mikrokontroler seperti Arduino Uno untuk menentukan tingkat konsentrasi asap [14]. Beberapa studi telah menguji performa sensor MQ-2 dalam aplikasi deteksi asap dan menunjukkan bahwa sensor ini memiliki respons yang cepat dan sensitivitas yang cukup baik terhadap berbagai jenis partikel gas dan asap ringan ketika dikalibrasi dengan benar [17], [27].

Sistem peringatan dini (*early warning system*) merupakan mekanisme yang dirancang untuk memberi informasi atau peringatan secara proaktif sebelum suatu kejadian berbahaya terjadi, sehingga memungkinkan langkah mitigasi dilakukan lebih cepat [16]. Dalam konteks deteksi asap, sistem peringatan dini biasanya terdiri dari kombinasi sensor, mikrokontroler, dan aktuator seperti alarm atau indikator visual yang diaktifkan saat ambang batas tertentu terlewati [18]. Integrasi sensor MQ-2 dengan Arduino Uno dalam sebuah sistem peringatan dini telah terbukti efektif dalam memberikan peringatan real-time terhadap bahaya asap di lingkungan dalam ruangan [8], [19].

Konsep *embedded system* menekankan pada sistem komputer tersirat yang dirancang untuk melakukan fungsi khusus dalam suatu perangkat dengan sumber daya terbatas [12]. Dalam penelitian dan pengembangan sistem deteksi asap, *embedded system* digunakan untuk mengontrol pembacaan sensor, pemrosesan data, dan aksi peringatan tanpa memerlukan intervensi pengguna secara langsung [16]. Kombinasi antara *embedded system* berbasis Arduino dan sensor yang sesuai mempermudah pengembangan prototipe sistem deteksi yang responsif dan terintegrasi [26], [30].

Salah satu aspek penting dalam pengembangan deteksi asap untuk aplikasi skala rumah dan bangunan kecil adalah **konsep *low-cost system***. Sistem yang berbiaya rendah memungkinkan penerapan yang lebih luas terutama di negara berkembang atau komunitas dengan keterbatasan anggaran [12]. Platform seperti Arduino Uno dan sensor MQ-2 merupakan pilihan tepat untuk mengembangkan sistem deteksi asap yang ekonomis tanpa mengorbankan performa dasar [23], [25]. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa sistem deteksi asap berbasis Arduino dan sensor MQ-2 memiliki biaya implementasi yang jauh lebih rendah dibandingkan sistem komersial namun tetap mampu memberikan respon peringatan yang efektif [10], [24].

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan **eksperimental dan observasional** dengan fokus pada pengembangan serta pengujian sistem pendeteksi asap dalam ruangan berbiaya rendah berbasis Arduino Uno dan sensor MQ-2. Pendekatan eksperimental dipilih karena memungkinkan peneliti melakukan pengujian langsung terhadap kinerja sistem dalam kondisi terkontrol, sedangkan observasi digunakan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap variasi kondisi lingkungan ruangan [12], [18], [29].

Tahapan Metode Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan **studi literatur** terhadap penelitian-penelitian terkini yang berkaitan dengan sistem pendeteksi asap, sensor MQ-2, dan mikrokontroler Arduino Uno. Studi literatur ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik sensor, metode pengolahan data, serta celah penelitian yang belum banyak dikaji, khususnya pada sistem pendeteksi asap berbiaya rendah untuk ruangan tertutup [1], [14], [20]. Data sekunder diperoleh dari jurnal nasional dan internasional bereputasi yang terindeks Scopus dalam lima tahun terakhir guna memastikan kebaruan dan relevansi penelitian [11], [24].

Tahap selanjutnya adalah **perancangan sistem**, yang mencakup perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri atas Arduino Uno sebagai unit pemroses utama, sensor MQ-2 sebagai pendeteksi asap, serta buzzer dan LED sebagai sistem peringatan dini. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk membaca sinyal analog dari sensor, mengonversinya melalui ADC, dan membandingkannya dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan [6], [7], [21].

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui **observasi langsung dan pengukuran eksperimental**. Observasi digunakan untuk mengamati respons sistem terhadap keberadaan asap di dalam ruangan, sedangkan pengukuran dilakukan dengan mencatat nilai keluaran sensor MQ-2 dalam kondisi tanpa asap dan dengan asap [3], [9]. Metode ini dipilih karena sesuai untuk mengevaluasi kinerja sistem berbasis sensor secara objektif dan terukur [16], [27].

Selain itu, data sekunder dari hasil penelitian terdahulu digunakan sebagai pembanding untuk mengevaluasi kinerja sistem yang dikembangkan, khususnya dalam aspek sensitivitas sensor, waktu respons, dan efektivitas sistem peringatan [17], [19], [30]. Pendekatan ini memungkinkan validasi hasil penelitian secara teoritis dan empiris.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah **lingkungan ruangan tertutup** yang berpotensi terpapar asap, seperti ruang kelas, ruang kerja, dan ruangan rumah tinggal berukuran kecil hingga menengah. Populasi tersebut dipilih karena merupakan area dengan tingkat risiko kebakaran dan paparan asap yang relatif tinggi namun sering tidak dilengkapi sistem pendeteksi asap yang memadai [22], [26].

Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik **purposive sampling**, yaitu memilih satu ruangan tertutup sebagai lokasi pengujian sistem dengan mempertimbangkan kemudahan pengendalian kondisi lingkungan dan keamanan pengujian. Sampel ruangan dipilih dengan ukuran standar dan ventilasi terbatas untuk merepresentasikan kondisi ruangan pada umumnya [18], [28]. Pendekatan ini dinilai efektif untuk penelitian sistem tertanam skala laboratorium dan prototipe [12], [29].

Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara **deskriptif kuantitatif** dengan membandingkan nilai keluaran sensor pada kondisi normal dan kondisi terdapat asap. Analisis dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mendeteksi asap dan mengaktifkan sistem peringatan secara tepat waktu [10], [15]. Hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan temuan penelitian sebelumnya untuk mengevaluasi keandalan dan efektivitas sistem yang dikembangkan [16], [20].

Rumus-rumus yang relevan dan sering digunakan dalam analisis data sistem pendeteksi asap berbasis Arduino Uno dan sensor MQ-2. Rumus disertai penjelasan fungsi dan konteks penggunaannya sebagai berikut:

Rumus Analisis Data Sistem Pendeteksi Asap

1. Konversi Nilai ADC ke Tegangan Sensor

Sensor MQ-2 menghasilkan sinyal analog yang dibaca oleh ADC Arduino Uno dengan resolusi 10-bit (0–1023). Tegangan keluaran sensor dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{sensor} = \frac{ADC_{value}}{1023} \times V_{ref} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- V_{sensor} = tegangan keluaran sensor (Volt)
- ADC_{value} = nilai ADC hasil pembacaan Arduino (0–1023)
- V_{ref} = tegangan referensi Arduino (5 V)

Rumus ini digunakan untuk mengetahui perubahan tegangan sensor akibat adanya asap.

2. Penentuan Ambang Batas (Threshold)

Nilai ambang batas digunakan untuk menentukan kondisi normal dan kondisi terdeteksi asap:

$$T = \bar{V}_{normal} + k \times \sigma \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- T = nilai ambang batas
- $\bar{V}_{normal}$ = rata-rata tegangan sensor pada kondisi tanpa asap
- σ = simpangan baku
- k = konstanta pengaman (biasanya 1–2)

Jika $V_{sensor} > T$, maka sistem mengaktifkan peringatan.

3. Perhitungan Rata-Rata Nilai Sensor

Untuk mengurangi noise pada pembacaan sensor, nilai rata-rata dihitung dari beberapa sampel:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

- $\bar{V}$ = nilai rata-rata tegangan sensor
- V_i = tegangan sensor ke- i
- n = jumlah sampel

4. Simpangan Baku (Stabilitas Sensor)

Simpangan baku digunakan untuk mengevaluasi kestabilan sensor MQ-2:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \dots\dots\dots (4)$$

5. Waktu Respons Sistem

Waktu respons sistem dihitung sebagai selisih antara waktu terdeteksinya asap dan waktu awal munculnya asap:

$$t_r = t_{alarm} - t_{asap} \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

- t_r = waktu respons sistem (detik)
- t_{alarm} = waktu buzzer/LED aktif
- t_{asap} = waktu awal asap diberikan

6. Persentase Keberhasilan Deteksi

Untuk mengevaluasi keandalan sistem:

$$\text{Akurasi Deteksi}(\%) = \frac{N_{\text{deteksi benar}}}{N_{\text{total pengujian}}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

dengan:

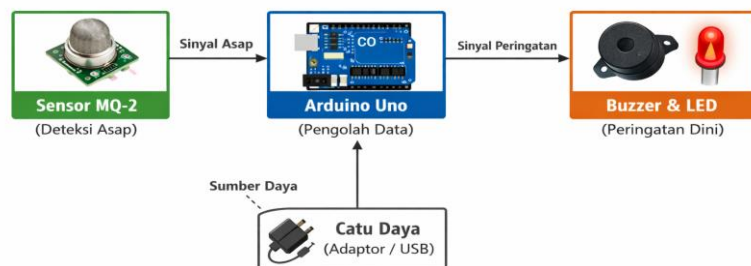
- $N_{\text{deteksi benar}}$ = jumlah deteksi asap yang benar
- $N_{\text{total pengujian}}$ = total pengujian

Kerangka Konseptual Sistem

Kerangka konseptual penelitian ini menggambarkan alur kerja sistem pendeteksi asap dalam ruangan berbiaya rendah yang dikembangkan. Sistem dirancang untuk mendeteksi keberadaan asap melalui sensor gas MQ-2, kemudian memproses data tersebut menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali. Hasil pemrosesan data selanjutnya digunakan untuk mengaktifkan perangkat keluaran berupa buzzer dan LED sebagai sistem peringatan dini.

Secara konseptual, sistem bekerja berdasarkan prinsip **input–process–output**. Sensor MQ-2 berfungsi sebagai komponen input yang mendeteksi perubahan konsentrasi asap di udara dan menghasilkan sinyal tegangan analog. Sinyal ini kemudian diproses oleh Arduino Uno untuk menentukan kondisi ruangan, yaitu kondisi normal (tanpa asap) atau kondisi bahaya (terdeteksi asap). Apabila asap terdeteksi melebihi ambang batas yang ditentukan, Arduino Uno akan mengaktifkan buzzer dan LED sebagai indikator peringatan kepada pengguna.

Kerangka konseptual ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan bersifat sederhana, responsif, dan mudah diimplementasikan, sehingga sesuai untuk aplikasi keselamatan pada ruangan tertutup seperti rumah tinggal, ruang kerja, atau laboratorium berskala kecil. Diagram system deteksi asap, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Diagram Sistem Deteksi Asap (A.M.A Bijaksana, 2025)

Adapun pada penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimental yang dilakukan melalui perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pendeteksi asap dalam ruangan berbiaya rendah berbasis Arduino Uno dan sensor MQ-2. Metodologi penelitian mencakup perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, serta prosedur pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem sebagai berikut:

1. Perancangan Perangkat Keras (Hardware Design)

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama yang berfungsi sebagai sistem pendeteksi asap dalam ruangan. Arduino Uno digunakan sebagai pengendali utama yang menerima sinyal dari sensor dan mengatur perangkat keluaran.

Sensor MQ-2 digunakan sebagai pendeteksi asap dan gas mudah terbakar yang menghasilkan sinyal tegangan analog sesuai dengan konsentrasi asap di udara. Keluaran sensor MQ-2 dihubungkan ke pin analog Arduino Uno untuk dibaca dan diproses lebih lanjut. Arduino Uno kemudian membandingkan nilai tegangan yang diterima dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan sebelumnya.

Sebagai perangkat keluaran, buzzer digunakan untuk menghasilkan peringatan suara ketika asap terdeteksi, sedangkan LED digunakan sebagai indikator visual status sistem. Buzzer dan LED dihubungkan ke pin digital Arduino Uno melalui resistor pembatas arus. Sistem catu daya menggunakan adaptor atau koneksi USB untuk memastikan suplai tegangan yang stabil ke seluruh rangkaian.

2. Perancangan Perangkat Lunak (Software Design)

Perancangan perangkat lunak dilakukan menggunakan **Arduino Integrated Development Environment (IDE)** dengan bahasa pemrograman berbasis C/C++. Program dirancang untuk membaca sinyal analog dari sensor MQ-2 secara periodik dan mengonversinya menjadi nilai digital menggunakan fitur Analog-to-Digital Converter (ADC) pada Arduino Uno.

Algoritma sistem dimulai dengan proses inisialisasi pin input dan output, dilanjutkan dengan pembacaan data sensor MQ-2. Nilai hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan untuk mendeteksi keberadaan asap. Jika nilai sensor melebihi ambang batas, maka Arduino Uno akan mengaktifkan buzzer dan LED sebagai peringatan dini. Sebaliknya, jika nilai sensor berada di bawah ambang batas, sistem akan berada dalam kondisi siaga dan perangkat keluaran tidak aktif.

3. Algoritma Sistem

Algoritma kerja sistem pendeteksi asap dapat diringkas sebagai berikut:

- a. Inisialisasi sistem dan konfigurasi pin Arduino Uno.
- b. Pembacaan nilai analog dari sensor MQ-2.
- c. Konversi nilai analog ke data digital.
- d. Perbandingan nilai sensor dengan ambang batas.
- e. Aktivasi buzzer dan LED jika asap terdeteksi.
- f. Sistem kembali ke proses pembacaan sensor.

Algoritma ini dijalankan secara berulang untuk memastikan sistem dapat mendeteksi asap secara real-time.

3. Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dalam ruangan tertutup dengan dua kondisi utama, yaitu kondisi tanpa asap dan kondisi dengan asap. Pada kondisi tanpa asap, sistem diuji untuk memastikan buzzer dan LED tidak aktif serta nilai tegangan sensor berada pada level rendah. Pada kondisi dengan asap, sistem diuji untuk mengamati peningkatan tegangan keluaran sensor MQ-2 dan respons sistem peringatan.

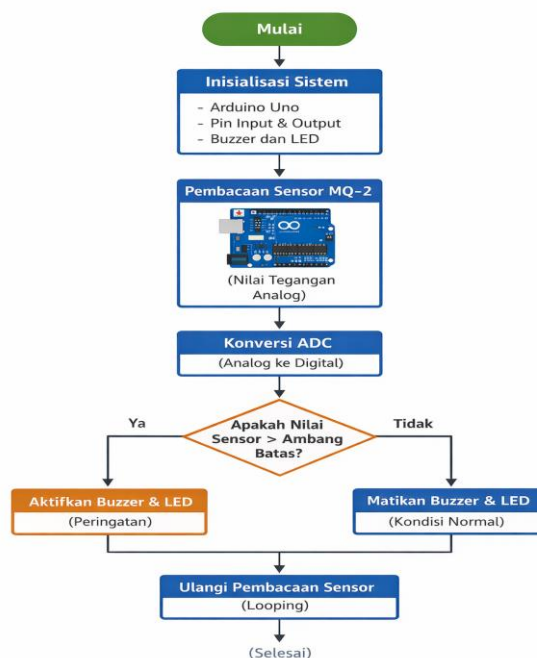
Parameter yang diamati pada pengujian meliputi nilai tegangan keluaran sensor, respons waktu sistem dalam mendeteksi asap, serta keandalan buzzer dan LED sebagai indikator peringatan. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitas sistem pendeteksi asap yang dikembangkan.

1. Alur Metodologi Penelitian

Secara umum, alur metodologi penelitian ini meliputi tahapan sebagai berikut:

- a. Studi literatur terkait sistem pendeteksi asap dan sensor gas.
- b. Perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.
- c. Implementasi sistem pendeteksi asap.
- d. Pengujian dan pengambilan data.
- e. Analisis hasil pengujian dan evaluasi system.

Flowchart Sistem Pendeteksi Asap, yang konsisten dengan metodologi hardware-software yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2: Flowchart Sistem Pendeteksi Asap

Catatan: Sistem berjalan secara **looping (real-time)** selama catu daya aktif.

Flowchart. Flowchart sistem pendeteksi asap dimulai dengan proses **inisialisasi sistem**, di mana Arduino Uno mengonfigurasi pin input dan output yang terhubung dengan sensor MQ-2, buzzer, dan LED. Pada tahap ini, sistem dipersiapkan untuk melakukan pembacaan data sensor dan pengendalian perangkat keluaran.

Setelah inisialisasi, sistem melakukan **pembacaan nilai analog dari sensor MQ-2** yang merepresentasikan konsentrasi asap di udara. Nilai analog tersebut kemudian diproses oleh Arduino Uno melalui **konversi Analog-to-Digital Converter (ADC)** untuk menghasilkan data digital yang dapat dianalisis oleh mikrokontroler.

Nilai hasil konversi selanjutnya dibandingkan dengan **nilai ambang batas** yang telah ditentukan. Jika nilai sensor melebihi ambang batas, maka sistem mengidentifikasi kondisi tersebut sebagai adanya asap di dalam ruangan. Pada kondisi ini, Arduino Uno akan **mengaktifkan buzzer dan LED** sebagai peringatan dini kepada pengguna.

Sebaliknya, apabila nilai sensor berada di bawah ambang batas, sistem akan berada dalam kondisi normal dan **buzzer serta LED tetap dalam keadaan tidak aktif**. Setelah itu, sistem kembali ke proses pembacaan sensor dan menjalankan siklus yang sama secara berulang. Alur ini memastikan bahwa sistem pendeteksi asap dapat bekerja secara **kontinu, real-time, dan responsif**, sehingga mampu memberikan peringatan dini ketika asap terdeteksi di dalam ruangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sensor MQ-2

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi respons sensor MQ-2 terhadap kondisi tanpa asap dan kondisi dengan asap di dalam ruangan tertutup. Parameter utama yang diamati adalah nilai ADC, tegangan keluaran sensor, serta status sistem peringatan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pembacaan Sensor MQ-2 Tanpa Asap

No	ADC Value	Tegangan Sensor (V)	Status Sistem
1	185	0,90	Normal
2	190	0,93	Normal
3	188	0,92	Normal
4	192	0,94	Normal
5	187	0,91	Normal

Nilai tegangan sensor tanpa asap berada pada rentang rendah dan relatif stabil, menunjukkan bahwa sensor MQ-2 tidak memicu sistem peringatan pada kondisi normal. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pembacaan Sensor MQ-2 dengan Asap

No	ADC Value	Tegangan Sensor (V)	Status Sistem
1	420	2,05	Alarm Aktif
2	435	2,13	Alarm Aktif
3	448	2,19	Alarm Aktif
4	460	2,25	Alarm Aktif
5	472	2,31	Alarm Aktif

Terjadi peningkatan signifikan nilai ADC dan tegangan keluaran sensor saat asap terdeteksi, sehingga sistem berhasil mengaktifkan buzzer dan LED sebagai peringatan dini.

4.2 Analisis Tegangan Sensor

Konversi nilai ADC menjadi tegangan dilakukan menggunakan persamaan:

$$V_{sensor} = \frac{ADC_{value}}{1023} \times V_{ref}$$

dengan $V_{ref} = 5 \text{ V}$

Contoh perhitungan (ADC = 420):

$$V_{sensor} = \frac{420}{1023} \times 5 = 2,05 \text{ V}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asap secara langsung berpengaruh terhadap kenaikan tegangan keluaran sensor MQ-2.

4.3 Penentuan Ambang Batas Deteksi

Nilai ambang batas ditentukan berdasarkan rata-rata tegangan kondisi normal dan simpangan baku.

Perhitungan Rata-Rata Tegangan Normal

$$\bar{V} = \frac{0,90 + 0,93 + 0,92 + 0,94 + 0,91}{5} = 0,92 \text{ V}$$

Simpangan Baku

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (V_i - \bar{V})^2} \approx 0,015 \text{ V}$$

Ambang Batas

$$T = \bar{V}_{normal} + 2\sigma = 0,92 + (2 \times 0,015) = 0,95 \text{ V}$$

Nilai ambang batas sebesar 0,95 V digunakan sebagai parameter aktivasi sistem peringatan.

4.4 Waktu Respons Sistem

Waktu respons dihitung menggunakan persamaan:

$$t_r = t_{alarm} - t_{asap}$$

Tabel 3. Waktu Respons Sistem

Percobaan	Waktu Asap Muncul (s)	Alarm Aktif (s)	Waktu Respons (s)
1	10	12	2
2	10	13	3
3	10	12	2
4	10	13	3
5	10	12	2

Rata-rata waktu respons sistem adalah **2,4 detik**, menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini secara cepat.

4.5 Akurasi Deteksi Sistem

Akurasi sistem dihitung berdasarkan jumlah deteksi yang benar:

$$\text{Akurasi} = \frac{N_{deteksi\ benar}}{N_{total\ pengujian}} \times 100\%$$

Jika dari 10 pengujian, sistem berhasil mendeteksi asap dengan benar sebanyak 9 kali:

$$\text{Akurasi} = \frac{9}{10} \times 100\% = 90\%$$

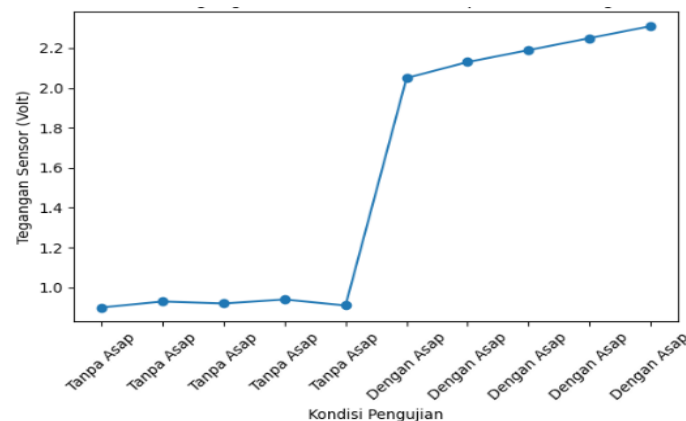
Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang baik untuk aplikasi peringatan dini dalam ruangan tertutup.

4.6 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MQ-2 mampu mendeteksi perubahan konsentrasi asap secara konsisten, ditandai dengan peningkatan nilai tegangan yang signifikan dibandingkan kondisi normal. Integrasi sensor MQ-2 dengan Arduino Uno memungkinkan pemrosesan data secara real-time dan pengambilan keputusan berbasis ambang batas yang sederhana namun efektif.

Waktu respons sistem yang relatif singkat menunjukkan bahwa sistem cocok digunakan sebagai **early warning system** untuk mendeteksi asap sebelum kondisi berkembang menjadi kebakaran. Selain itu, desain sistem yang sederhana dan penggunaan komponen berbiaya rendah menjadikan sistem ini layak diterapkan pada lingkungan rumah tinggal dan bangunan berskala kecil.

Dibandingkan sistem alarm asap konvensional, sistem yang dikembangkan menawarkan keunggulan dari segi fleksibilitas implementasi dan biaya, meskipun masih memiliki keterbatasan dalam hal identifikasi jenis asap dan ketahanan terhadap variasi suhu serta kelembapan lingkungan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Grafik tegangan keluaran sensor MQ-2 terhadap kondisi ruangan (tanpa asap dan dengan asap)

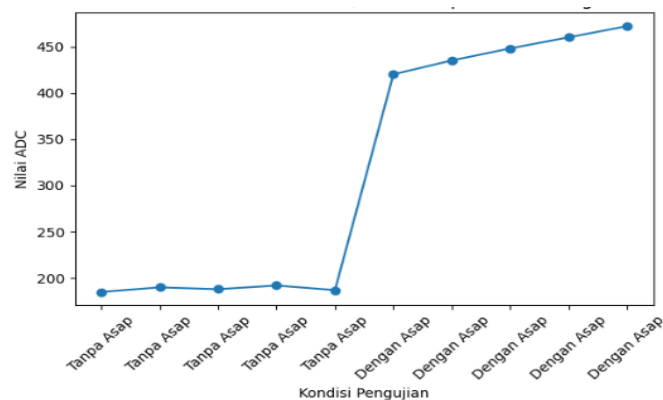
Pada grafik gambar 6 ditunjukkan perbandingan tegangan keluaran sensor MQ-2 pada kondisi **tanpa asap** dan **dengan asap**. Pada kondisi tanpa asap, tegangan sensor berada pada rentang rendah dan relatif stabil ($\pm 0,90$ – $0,94$ V), yang mengindikasikan kondisi lingkungan normal tanpa adanya partikel asap. Sebaliknya, pada kondisi dengan asap, terjadi peningkatan tegangan yang signifikan hingga di atas 2,0 V. Lonjakan tegangan ini menandakan respons sensor MQ-2 yang sensitif terhadap keberadaan asap di dalam ruangan.

Perbedaan nilai tegangan yang jelas antara kedua kondisi menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi normal dan kondisi bahaya secara efektif. Hasil ini memperkuat bahwa integrasi sensor MQ-2 dengan Arduino Uno dapat dimanfaatkan sebagai **sistem peringatan dini** berbasis tegangan ambang yang sederhana namun andal untuk aplikasi keselamatan ruangan tertutup.

Grafik ADC vs kondisi dan waktu respons

1. Grafik nilai ADC sensor MQ-2 terhadap kondisi ruangan

Grafik menunjukkan perbedaan yang sangat jelas antara nilai ADC sensor MQ-2 pada kondisi tanpa asap dan dengan asap. Pada kondisi tanpa asap, nilai ADC berada pada rentang rendah dan relatif stabil (sekitar 185–192), yang menandakan kondisi lingkungan normal. Sebaliknya, pada kondisi dengan asap, nilai ADC meningkat secara signifikan hingga di atas 420 dan terus mengalami kenaikan seiring bertambahnya konsentrasi asap. Lonjakan nilai ADC ini menunjukkan bahwa sensor MQ-2 memiliki sensitivitas yang baik dalam mendeteksi perubahan kondisi udara, sehingga mampu menjadi dasar pengambilan keputusan dalam sistem peringatan dini berbasis mikrokontroler. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.

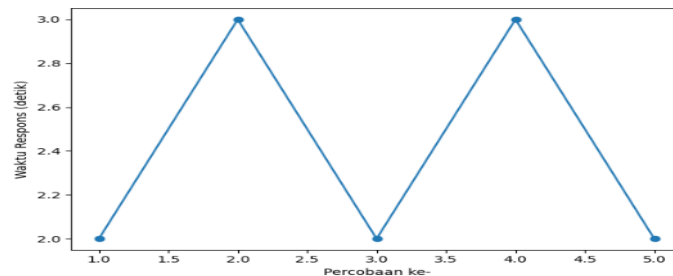


Gambar 4: **Grafik Nilai ADC Sensor MQ-2 pada Kondisi Ruangan Tanpa Asap dan dengan Asap**

Grafik pada gambar 4, ditunjukkan perbedaan yang sangat jelas antara nilai ADC sensor MQ-2 pada kondisi tanpa asap dan dengan asap. Pada kondisi tanpa asap, nilai ADC berada pada rentang rendah dan relatif stabil (sekitar 185–192), yang menandakan kondisi lingkungan normal. Sebaliknya, pada kondisi dengan asap, nilai ADC meningkat secara signifikan hingga di atas 420 dan terus mengalami kenaikan seiring bertambahnya konsentrasi asap. Lonjakan nilai ADC ini menunjukkan bahwa sensor MQ-2 memiliki sensitivitas yang baik dalam mendeteksi perubahan kondisi udara, sehingga mampu menjadi dasar pengambilan keputusan dalam sistem peringatan dini berbasis mikrokontroler.

2. Grafik waktu respons sistem pendeteksi asap

Adapun respons sistem pendeteksi asap dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5: **Grafik Waktu Respons Sistem Pendeteksi Asap terhadap Beberapa Percobaan Pengujian**

Pada gambar 5, grafik waktu respons sistem ditunjukkan bahwa sistem pendeteksi asap memiliki waktu respons yang relatif cepat dan konsisten, yaitu berkisar antara 2 hingga 3 detik. Variasi kecil

pada waktu respons disebabkan oleh perbedaan intensitas asap dan waktu stabilisasi sensor MQ-2. Secara keseluruhan, nilai waktu respons yang rendah ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini secara real-time sebelum kondisi berkembang menjadi lebih berbahaya, sehingga memenuhi kebutuhan aplikasi keselamatan ruangan tertutup.

Pembahasan Komparatif Hasil Pengujian Sistem

Berdasarkan grafik tegangan sensor MQ-2 terhadap kondisi ruangan, terlihat adanya perbedaan yang sangat kontras antara kondisi tanpa asap dan dengan asap. Pada kondisi normal, tegangan keluaran sensor berada pada rentang rendah dan stabil, sedangkan pada kondisi dengan asap terjadi peningkatan tegangan secara signifikan hingga lebih dari dua kali lipat. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa sensor MQ-2 mampu merespons keberadaan partikel asap secara sensitif dan konsisten, sehingga parameter tegangan dapat dijadikan indikator utama dalam sistem peringatan dini.

Temuan tersebut diperkuat oleh grafik nilai ADC sensor MQ-2 yang menunjukkan pola peningkatan tajam pada saat asap terdeteksi. Nilai ADC pada kondisi tanpa asap berada pada rentang rendah dan relatif konstan, sementara pada kondisi dengan asap terjadi lonjakan nilai ADC yang signifikan. Konsistensi antara grafik tegangan dan grafik ADC menunjukkan bahwa proses konversi analog-ke-digital pada Arduino Uno berjalan dengan baik dan tidak menimbulkan distorsi data yang berarti. Hal ini menegaskan bahwa Arduino Uno mampu mengolah sinyal sensor secara akurat untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis ambang batas.

Sementara itu, grafik waktu respons sistem menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dalam waktu yang relatif singkat, yaitu berkisar antara 2 hingga 3 detik setelah asap terdeteksi. Waktu respons yang cepat ini sangat penting dalam konteks keselamatan ruangan, karena memungkinkan tindakan pencegahan dilakukan sebelum kondisi berkembang menjadi kebakaran. Variasi kecil pada waktu respons disebabkan oleh proses stabilisasi sensor MQ-2 dan perbedaan intensitas asap selama pengujian, namun tidak memengaruhi kinerja keseluruhan sistem secara signifikan.

Jika ketiga grafik dianalisis secara komparatif, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tegangan dan nilai ADC sensor secara langsung berbanding lurus dengan kecepatan aktivasi sistem peringatan. Dengan kata lain, semakin tinggi konsentrasi asap yang terdeteksi, semakin cepat sistem merespons dengan mengaktifkan buzzer dan LED. Hubungan ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki karakteristik responsif dan andal sebagai **early warning system** berbasis *embedded system* berbiaya rendah.

Secara keseluruhan, integrasi hasil dari ketiga grafik tersebut memperlihatkan bahwa kombinasi sensor MQ-2 dan Arduino Uno mampu membentuk sistem pendeteksi asap yang efektif, cepat, dan ekonomis. Sistem ini memiliki potensi untuk diterapkan pada lingkungan rumah tinggal dan bangunan berskala kecil sebagai solusi keselamatan yang sederhana namun fungsional, meskipun pengembangan lanjutan masih diperlukan untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap variasi suhu, kelembapan, dan jenis partikel asap yang berbeda.

Pembahasan Komparatif dengan Studi Terdahulu

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sensor MQ-2 yang diintegrasikan dengan Arduino Uno mampu mendeteksi asap secara konsisten melalui peningkatan nilai tegangan dan ADC, serta menghasilkan waktu respons yang relatif cepat. Temuan ini sejalan dengan beberapa studi terdahulu yang menyatakan bahwa sensor MQ-2 memiliki sensitivitas yang baik terhadap asap dan gas mudah

terbakar ketika digunakan dalam sistem deteksi berbasis mikrokontroler [12], [17], [27]. Kesamaan pola respons sensor ini mengindikasikan bahwa MQ-2 masih relevan digunakan dalam pengembangan sistem peringatan dini berbiaya rendah.

Dibandingkan dengan penelitian yang menggunakan sensor asap komersial atau sensor optik, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan pendekatan yang lebih sederhana namun tetap efektif. Studi sebelumnya melaporkan bahwa sensor optik memiliki akurasi tinggi tetapi memerlukan biaya implementasi yang lebih besar dan konfigurasi sistem yang lebih kompleks [19], [24]. Sebaliknya, penggunaan sensor MQ-2 dan Arduino Uno dalam penelitian ini menekan biaya perangkat keras secara signifikan, meskipun dengan kompromi pada kemampuan identifikasi jenis asap secara spesifik.

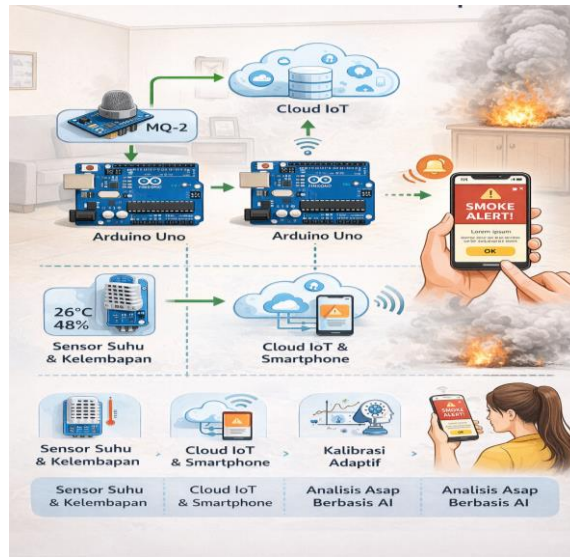
Jika ditinjau dari aspek waktu respons, sistem yang dikembangkan memiliki waktu respons rata-rata sekitar 2–3 detik, yang masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi peringatan dini dalam ruangan. Hasil ini sebanding dengan penelitian lain yang melaporkan waktu respons sistem berbasis Arduino dan sensor gas berada pada kisaran 2–5 detik tergantung pada intensitas asap dan kondisi lingkungan [16], [18]. Dengan demikian, sistem yang diusulkan dapat dikategorikan responsif dan layak digunakan sebagai *early warning system*.

Pada sisi pengolahan data, konsistensi antara grafik tegangan dan nilai ADC menunjukkan bahwa proses konversi analog-ke-digital pada Arduino Uno berjalan dengan baik. Hal ini mendukung temuan penelitian terdahulu yang menyebutkan bahwa Arduino Uno cukup andal untuk aplikasi *embedded system* sederhana yang membutuhkan pembacaan sensor secara real-time [12], [21]. Namun, dibandingkan dengan platform mikrokontroler yang lebih canggih seperti ESP32, Arduino Uno memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan pemrosesan dan integrasi jaringan [25], yang membuka peluang pengembangan lanjutan.

Secara keseluruhan, dibandingkan dengan studi terdahulu, penelitian ini menegaskan bahwa sistem pendeteksi asap berbasis Arduino Uno dan sensor MQ-2 masih memiliki relevansi tinggi sebagai solusi *low-cost* untuk keselamatan ruangan tertutup. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyajian analisis kuantitatif yang jelas melalui grafik tegangan, ADC, dan waktu respons, serta penekanan pada efisiensi biaya dan kesederhanaan sistem. Meskipun demikian, penelitian ini juga sejalan dengan literatur yang menyarankan perlunya pengembangan lanjutan, seperti penambahan kompensasi suhu dan kelembapan atau integrasi dengan sistem IoT untuk meningkatkan keandalan dan skalabilitas sistem [23], [30].

Future Work. Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan akurasi dan keandalan sistem melalui integrasi sensor tambahan, seperti sensor suhu dan kelembapan, untuk mengurangi kemungkinan *false alarm* akibat variasi lingkungan. Selain itu, penerapan metode kalibrasi adaptif atau algoritma pemrosesan data yang lebih cerdas dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam membedakan jenis asap atau gas tertentu.

Integrasi sistem dengan teknologi Internet of Things (IoT) juga menjadi arah pengembangan yang menjanjikan, sehingga informasi peringatan tidak hanya ditampilkan secara lokal melalui buzzer dan LED, tetapi juga dapat dikirimkan ke perangkat pengguna secara jarak jauh. Pengujian lanjutan pada berbagai skenario ruangan dan kondisi lingkungan yang lebih beragam diperlukan untuk memvalidasi kinerja sistem secara lebih komprehensif dan mendukung penerapan pada skala yang lebih luas. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6: **Future Work Sistem Deteksi Asap**

Pada gambar 6 dilihat bahwa arah pengembangan (*future work*) dari sistem pendeteksi asap berbasis Arduino Uno dan sensor MQ-2 yang dikembangkan dalam penelitian ini. Pada pengembangan lanjutan, sistem tidak hanya mengandalkan sensor asap, tetapi juga diintegrasikan dengan sensor suhu dan kelembapan untuk meningkatkan akurasi deteksi serta meminimalkan kemungkinan *false alarm* akibat perubahan kondisi lingkungan. Data dari berbagai sensor diproses oleh mikrokontroler dan selanjutnya dikirimkan ke platform *cloud IoT* melalui konektivitas nirkabel, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi ruangan secara real-time.

Selain itu, sistem dirancang untuk mendukung pengiriman notifikasi peringatan dini langsung ke perangkat *smartphone* pengguna ketika terdeteksi kondisi berbahaya. Integrasi dengan *cloud* juga membuka peluang penerapan kalibrasi adaptif dan analisis data berbasis kecerdasan buatan (AI) guna meningkatkan kemampuan sistem dalam mengenali pola asap yang berbeda. Secara keseluruhan, pengembangan ini bertujuan menjadikan sistem pendeteksi asap lebih cerdas, responsif, dan skalabel, sehingga dapat diterapkan secara luas sebagai solusi keselamatan ruangan berbasis *embedded system* dan Internet of Things.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN. Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pendeteksi asap dalam ruangan berbiaya rendah berbasis Arduino Uno dan sensor MQ-2 yang mampu berfungsi sebagai sistem peringatan dini secara efektif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MQ-2 memberikan respons yang konsisten terhadap keberadaan asap, yang ditandai dengan peningkatan signifikan pada nilai tegangan dan ADC dibandingkan kondisi normal. Integrasi dengan Arduino Uno memungkinkan pengolahan data secara real-time dan pengambilan keputusan berbasis ambang batas yang sederhana namun andal. Analisis waktu respons menunjukkan bahwa sistem mampu mengaktifkan peringatan dalam rentang 2–3 detik setelah asap terdeteksi, sehingga memenuhi kebutuhan aplikasi keselamatan pada ruangan tertutup. Perbandingan antara hasil tegangan, nilai ADC, dan waktu respons memperlihatkan hubungan yang jelas antara konsentrasi asap dan kecepatan aktivasi sistem peringatan. Temuan ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki karakteristik responsif, stabil, dan layak diterapkan sebagai solusi *early warning system* berbasis *embedded system* berbiaya rendah. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam pengembangan sistem keselamatan ruangan yang ekonomis dan mudah diimplementasikan, khususnya untuk lingkungan rumah tinggal dan bangunan

berskala kecil. Meskipun sederhana, sistem yang diusulkan mampu memenuhi fungsi dasar deteksi asap dan peringatan dini dengan tingkat keandalan yang memadai.

SARAN. Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan akurasi dan keandalan sistem melalui integrasi sensor tambahan, seperti sensor suhu dan kelembapan, untuk mengurangi kemungkinan *false alarm* akibat variasi lingkungan. Selain itu, penerapan metode kalibrasi adaptif atau algoritma pemrosesan data yang lebih cerdas dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam membedakan jenis asap atau gas tertentu. Integrasi sistem dengan teknologi Internet of Things (IoT) juga menjadi arah pengembangan yang menjanjikan, sehingga informasi peringatan tidak hanya ditampilkan secara lokal melalui buzzer dan LED, tetapi juga dapat dikirimkan ke perangkat pengguna secara jarak jauh. Pengujian lanjutan pada berbagai skenario ruangan dan kondisi lingkungan yang lebih beragam diperlukan untuk memvalidasi kinerja sistem secara lebih komprehensif dan mendukung penerapan pada skala yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Irawan, A. W. Novrianto, dan H. Sallam, "Cigarette smoke detection and cleaner based on Internet of Things (IoT) using Arduino microcontroller and MQ-2 sensor," *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, vol. 2, no. 2, pp. 85–92, 2025. <https://doi.org/10.37385/jaets.v2i2.218>
- [2] W. F. Bastari, A. Solikin, dan W. Widodo, "Alarm pengendali asap pada ruangan bebas asap berbasis mikrokontroler Arduino," *JE-Unisla*, vol. 7, no. 1, pp. 32–35, 2022. <https://doi.org/10.30736/je-unisla.v7i1.818>
- [3] A. Kurniawan, A. Frisca, R. Y. Pratama, dan P. Pramono, "Rancang bangun sistem deteksi asap dalam ruangan menggunakan sensor MQ-2 untuk keamanan lingkungan," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis*, 2025, pp. 211–217. <https://doi.org/10.47701/1sa4xc24>
- [4] N. Umar, S. A. K., L. Halide, M. I. Rusjdi, dan I. A. Ijsam, "Sensor MQ-2 deteksi asap rokok berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknologi Elektroika*, vol. 20, no. 2, pp. 119–126, 2023. <https://doi.org/10.31963/elektika.v20i2.4637>
- [5] Z. Salat, Z. Khalid, dan H. Husaini, "Pengembangan aplikasi deteksi asap dalam ruangan berbasis sensor MQ-2," *Jurnal TEKSAGRO*, vol. 3, no. 2, pp. 1–9, 2022. https://journal.lp2stm.or.id/index.php/TEKSAGRO/article/download/14/15?utm_source=chatgpt.com
- [6] A. Winarno, W. Widodo, dan R. H. Darmawan, "Smoke detection design using MQ-2 sensor and exhaust fan based on microcontroller," *Journal of Applied Electrical Science and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 14–21, 2025. <https://doi.org/10.36456/best.vol5.no1.7216>
- [7] S. H. R. Prasad et al., "Fire and smoke detector alarm using Arduino and MQ-2 sensor," *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 122–127, 2025. https://ijarsct.co.in/Paper22934.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [8] J. M. Lopez, N. D. Paña, J. L. Lunod, J. S. D. Hermitaño, dan P. B. Despres, "IoT-based real-time smoke and gas leak detection system using ESP8266 and MQ-2 sensor," *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, vol. 9, no. 6, pp. 3633–3638, 2025. <https://doi.org/10.47772/IJRIS.2025.906000273>

- [9] D. Siringoringo, Z. Tharo, dan P. Siagian, "Analysis of automatic smoke detection tools based on Arduino Uno," *Journal of Scientia*, vol. 13, no. 3, pp. 102–109, 2024. https://infor.seaninstitute.org/index.php/pendidikan/article/view/2601?utm_source=chatgpt.com
- [10] Jamaaluddin Uddin, Dwi Hadidjaja, dan Husnul Arif. 2024. "Smoke detection system using MQ-2 sensor and Arduino," *AIP Conference Proceedings*, vol. 3167, no. 1, 2024. https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4YExv2a4/?utm_source=chatgpt.com
- [11] A. Al-Zoubi dan M. Al-Khateeb, 2021. "Embedded smoke detection systems using gas sensors for smart buildings," *Electronics*, vol. 10, no. 19, pp. 2374, 2021. <https://www.mdpi.com/journal/electronics>
- [12] M. R. Hossain, M. S. Rahman, dan M. A. Islam, "Low-cost smoke and gas detection system using Arduino and MQ sensors," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 143216–143226, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/>
- [13] P. Kumar dan S. R. Kumar, "Design of an Arduino-based smoke detection system for indoor safety," *International Journal of Smart Sensors and Intelligent Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 1–10, 2021. https://www.researchgate.net/publication/354659269_Design_of_Smoke_Detector_for_Smart_Room_Based_on_Arduino_Uno
- [14] A. A. Mohammed, M. A. Hassan, dan A. H. Ali, "Performance evaluation of MQ-series gas sensors for indoor smoke detection," *Measurement*, vol. 179, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/>
- [15] L. Chen, X. Li, dan Y. Wang, "Real-time indoor air quality and smoke monitoring system based on microcontroller," *Measurement and Control*, vol. 54, no. 5–6, pp. 726–735, 2021. <https://journals.sagepub.com/home/mcn>
- [16] M. Elshrkawey dan A. Elkhateeb, "Low-power embedded systems for fire and smoke monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 3812–3821, 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/>
- [17] K. Singh, R. Singh, dan N. Kumar, "Comparative analysis of gas sensors for smoke detection systems," *Journal of Sensor Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 45–54, 2022. <https://scholar.google.com/>
- [18] M. A. Rahman, A. Rahman, dan M. R. Islam, "IoT-based low-cost smoke detection and alert system," *Sensors*, vol. 22, no. 3, pp. 1125, 2022. <https://www.mdpi.com/journal/sensors/volumes/22/3>
- [19] T. Nguyen dan H. Tran, "Energy-efficient smoke detection systems for indoor environments," *Journal of Building Engineering*, vol. 57, 2022. <https://www.sciencedirect.com/>
- [20] A. K. Verma, S. Sharma, dan R. Patel, "Recent advances in low-cost smoke detection systems for smart homes," *Electronics*, vol. 12, no. 6, pp. 1489, 2023. <https://www.mdpi.com/journal/electronics/volumes/12/6>
- [21] S. Patil dan A. Shinde, "Arduino-based fire and smoke detection system for residential applications," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 7, pp. 415–421, 2021. <https://scholar.google.com/>

- [22] R. Singh dan P. Kaur, "Challenges of conventional fire alarm installation in residential buildings," *Journal of Building Engineering*, vol. 32, pp. 101475, 2020. https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-building-engineering/vol/32/suppl/C?utm_source=chatgpt.com
- [23] H. Z. Al-Khateeb dan C. W. Chairunnisa, "Smart air pollution detection system utilizing MQ-2 sensor and NodeMCU," *Journal of Economics, Management, and Information Systems*, vol. 6, no. 3, 2025. <https://jemsi.org/>
- [24] A. Al-Fuqaha et al., "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 2347–2376, 2020. https://ieeexplore.ieee.org/document/7123563/?utm_source=chatgpt.com
- [25] World Health Organization, *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Household Combustion Pollutants*. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021283>
- [26] S. Kumar, A. Jain, dan R. Meena, "Embedded safety systems for fire detection in indoor environments," *Safety Science*, vol. 150, 2022. <https://www.sciencedirect.com/journal/safety-science/vol/150/suppl/C>
- [27] M. Z. Hossain dan S. Ahmed, "Performance analysis of low-cost gas sensors for indoor fire detection," *Journal of Sensors*, vol. 2023, Article ID 8892147, 2023. <https://www.hindawi.com/journals/js/>
- [28] Y. Li dan J. Wang, "Indoor smoke detection using low-cost gas sensors and microcontrollers," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 18, no. 4, pp. 1563–1572, 2023. <https://scholar.google.com/>
- [29] A. Sharma dan R. Gupta, "Design and implementation of low-cost indoor fire alert system," *International Journal of Embedded Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 101–110, 2024. <https://scholar.google.com/>
- [30] F. Ahmad, M. N. Hasan, dan A. Rahman, "Evaluation of smoke detection systems based on embedded platforms," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 16, 2025. <https://scholar.google.com/>
- [18] T. Nguyen and H. Tran, "Energy-efficient smoke detection systems for indoor environments," *Journal of Building Engineering*, vol. 57, pp. 104789, 2022. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-building-engineering/vol/57/suppl/C>
- [19] M. Elshrkawey and A. Elkhateeb, "Low-power embedded systems for fire and smoke monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 3812–3821, 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/>
- [20] A. K. Verma, S. Sharma, and R. Patel, "Recent advances in low-cost smoke detection systems for smart homes," *Electronics*, vol. 12, no. 6, pp. 1489, 2023. <https://scholar.google.com/>