

Penerapan Kalman Filter pada Sistem Penanggulangan Bencana Kebakaran Dengan Sensor MQ-2 Berbasis IoT

Muhammad Anwar Sadat Faidar^{1*}, Della Adelia², Rahmad Hidayat³, Salman Mahatir⁴, Elka Pranita⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Teknokrat Indonesia; Jl. Z.A. Pagar Alam; (+62721) 702022

Received: 01-04-2026

Accepted: 04-05-2026

Keywords:

MQ-2;

Kalman Filter;

IoT;

Sistem Peringatan Dini.

Correspondent Email:

muhammad_anwar@teknokrat.ac.id

Abstrak. Kebakaran merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di lingkungan rumah tangga dan ruang tertutup, yang umumnya diawali oleh kebocoran gas mudah terbakar. Salah satu permasalahan pada sistem deteksi gas adalah ketidakstabilan pembacaan sensor akibat noise dan pengaruh lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem penanggulangan kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) dengan meningkatkan kestabilan pembacaan sensor MQ-2 menggunakan algoritma Kalman Filter. Sistem dikembangkan menggunakan sensor MQ-2, mikrokontroler ESP32, serta platform IoT sebagai media monitoring. Kalman Filter diterapkan untuk mereduksi fluktuasi dan noise pada data sensor. Hasil pengujian menunjukkan penurunan fluktuasi sinyal yang signifikan dibandingkan data mentah, yang dibuktikan dengan evaluasi kuantitatif menggunakan parameter variansi dan standar deviasi. Pada kondisi gas tidak terdeteksi, nilai variansi menurun dari 23.77 menjadi 1.96, menunjukkan efektivitas Kalman Filter dalam mereduksi noise. Sistem juga mampu menampilkan kondisi lingkungan secara real-time pada LCD dan platform IoT Blynk, baik pada kondisi aman maupun saat terdeteksinya gas. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan layak digunakan sebagai sistem peringatan dini berbasis IoT.

Abstract. Fire is one of the most common disasters in households and enclosed environments, often initiated by the leakage of flammable gases. One of the main challenges in gas detection systems is the instability of sensor readings caused by noise and environmental influences. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based fire mitigation system by improving the stability of MQ-2 sensor readings using the Kalman Filter algorithm. The system is developed using an MQ-2 sensor, an ESP32 microcontroller, and an IoT platform for monitoring purposes. The Kalman Filter is applied to reduce fluctuations and noise in sensor data before it is used for decision-making. Experimental results show a significant reduction in signal fluctuations compared to raw data, resulting in more consistent and reliable sensor readings. The system is also capable of displaying environmental conditions in real time on both an LCD and the IoT platform (Blynk), under both safe conditions and gas detection scenarios. Therefore, the proposed system is considered suitable for IoT-based early warning and fire mitigation applications.

1. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di lingkungan permukiman dan ruang tertutup, dengan dampak yang meliputi ancaman keselamatan

jiwa, kerusakan properti, serta kerugian ekonomi. Banyak kejadian kebakaran diawali oleh kebocoran gas mudah terbakar yang terakumulasi di dalam ruangan dan sulit terdeteksi secara dini oleh manusia, sehingga

diperlukan sistem deteksi dini yang mampu memantau kondisi lingkungan secara kontinu dan memberikan peringatan secara cepat dan andal [1, 2, 3].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong lahirnya berbagai sistem deteksi kebocoran gas dan kebakaran berbasis sensor. Sistem ini umumnya mengintegrasikan sensor gas dengan mikrokontroler dan jaringan komunikasi untuk mendukung pemantauan jarak jauh serta notifikasi *real-time* kepada pengguna [4]. Pendekatan tersebut dinilai efektif dalam meningkatkan tingkat keamanan, baik pada lingkungan rumah tangga maupun ruang tertutup lainnya, seperti laboratorium dan fasilitas publik [5, 6].

Sensor MQ-2 merupakan salah satu sensor gas yang paling banyak digunakan dalam sistem deteksi kebocoran gas LPG dan kebakaran karena sensitivitasnya terhadap gas mudah terbakar dan asap. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor MQ-2 dengan platform IoT seperti ESP8266 dan ESP32 mampu membangun sistem peringatan dini kebocoran gas LPG yang fungsional dan mudah diimplementasikan [5, 7, 8]. Sistem serupa juga telah diterapkan pada lingkungan laboratorium untuk memantau parameter suhu, kelembapan, dan gas secara terintegrasi berbasis IoT [6, 5, 9].

Meskipun demikian, sebagian besar sistem deteksi kebocoran gas berbasis IoT masih menitikberatkan pada aspek perancangan perangkat keras, mekanisme komunikasi data, serta penyampaian notifikasi. Penentuan kondisi bahaya umumnya dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap nilai ambang batas tertentu [10, 11]. Pendekatan ini relatif sederhana, namun memiliki keterbatasan ketika dihadapkan pada karakteristik sensor analog yang cenderung menghasilkan data fluktuatif akibat pengaruh lingkungan [12].

Sensor analog, termasuk sensor gas MQ-2, diketahui rentan terhadap *noise* pengukuran dan perubahan kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan [6]. Permasalahan serupa juga dilaporkan pada penggunaan sensor suhu non-kontak, di mana pengaruh suhu lingkungan dapat menurunkan akurasi pembacaan sensor jika data tidak diproses lebih lanjut [12]. Hal ini menunjukkan bahwa tantangan utama dalam

sistem pemantauan berbasis sensor bukan hanya terletak pada pemilihan perangkat keras, tetapi juga pada kualitas data yang dihasilkan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa algoritma Kalman Filter merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan akurasi dan kestabilan pembacaan sensor dengan cara mereduksi *noise* lingkungan [13, 14, 15, 16]. Penerapan Kalman Filter pada sensor suhu telah terbukti mampu menghasilkan data yang lebih halus dan mendekati nilai sebenarnya, meskipun sensor digunakan pada kondisi lingkungan yang dinamis [17, 18]. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa Kalman Filter memiliki potensi besar untuk diterapkan pada sensor lain yang memiliki karakteristik fluktuatif, termasuk sensor gas MQ-2.

Selain pada sistem pemantauan suhu, Kalman Filter juga telah banyak diterapkan pada berbagai aplikasi berbasis IoT dan sistem *real-time*, seperti pemantauan kualitas air [18], sistem kendali [13], sistem monitoring lingkungan [19], hingga mereduksi *noise* yang ada pada robot *mobile* [20]. Hasil-hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa Kalman Filter merupakan algoritma estimasi yang bersifat umum, fleksibel, dan dapat diintegrasikan dengan sensor berbiaya rendah untuk meningkatkan keandalan data.

Namun demikian, penerapan Kalman Filter pada sistem deteksi kebocoran gas LPG dan penanggulangan kebakaran berbasis sensor MQ-2 masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian deteksi gas berbasis IoT masih mengandalkan pembacaan sensor mentah dan pendekatan ambang batas statis, yang berpotensi menimbulkan alarm palsu atau keterlambatan respons ketika data sensor mengalami fluktuasi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan penerapan Kalman Filter yang dioptimasi pada sistem deteksi gas berbasis sensor MQ-2 untuk meningkatkan kualitas data sensor dalam sistem peringatan dini kebakaran berbasis IoT. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya menerapkan Kalman Filter secara langsung, penelitian ini menitikberatkan pada penyesuaian parameter *noise covariance* (Q dan R) secara empiris untuk memperoleh performa filtering yang optimal dalam mereduksi *noise* dan fluktuasi sinyal sensor. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh penerapan Kalman

Filter terhadap kestabilan sinyal sebagai upaya untuk meminimalkan potensi false alarm pada sistem deteksi gas. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini terletak pada pendekatan optimasi Kalman Filter dalam meningkatkan reliabilitas sistem deteksi gas berbasis IoT.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk menunjang pengembangan sistem penanggulangan bencana kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT), maka dalam penelitian ini digunakan sensor gas MQ-2 serta penerapan algoritma Kalman Filter sebagai metode peningkatan kualitas data sensor.

2.1. Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 merupakan sensor gas berbasis semikonduktor yang banyak digunakan untuk mendeteksi gas mudah terbakar seperti LPG, metana, dan asap, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi deteksi kebocoran gas dan indikasi awal kebakaran [11].



Gambar 1. Sensor MQ-2

Gambar 1. menunjukkan bentuk fisik dari sensor MQ-2. Penggunaan sensor MQ-2 dengan mikrokontroler dan platform *Internet of Things* (IoT) seperti Arduino, ESP8266, dan ESP32 memungkinkan pemantauan kondisi gas secara *real-time* serta pemberian peringatan dini kepada pengguna melalui *alarm* maupun notifikasi jarak jauh [1].

2.2. Kalman Filter

Kalman Filter merupakan algoritma estimasi yang digunakan untuk memperkirakan keadaan suatu sistem dari data pengukuran yang terkontaminasi noise melalui proses prediksi dan pembaruan secara iteratif. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa Kalman Filter efektif dalam mereduksi noise dan meningkatkan kestabilan pembacaan pada

sensor analog, seperti sensor suhu dan sensor lingkungan, sehingga data yang dihasilkan menjadi lebih halus dan mendekati nilai sebenarnya [12].

Keunggulan Kalman Filter terletak pada kemampuannya meningkatkan kualitas data sensor tanpa memerlukan model fisik yang kompleks. Pendekatan ini telah banyak diterapkan pada sistem pemantauan berbasis IoT dan sistem *real-time* dengan hasil yang signifikan dalam menekan fluktuasi data [16]. Oleh karena itu, Kalman Filter memiliki potensi besar untuk diterapkan pada sensor MQ-2 yang memiliki karakteristik pembacaan fluktuatif, khususnya dalam sistem deteksi kebocoran gas dan kebakaran.

2.3. Penanggulangan Kebakaran Berbasis IoT

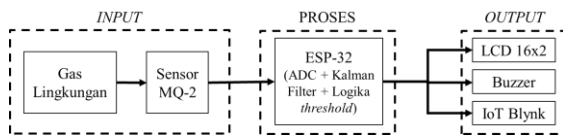
Sistem penanggulangan bencana kebakaran berbasis IoT memanfaatkan jaringan perangkat terhubung untuk memantau kondisi lingkungan secara kontinu dan menyampaikan informasi secara *real-time* kepada pengguna. Dalam konteks deteksi kebocoran gas, sistem IoT memungkinkan integrasi sensor gas, mikrokontroler, dan media komunikasi untuk memberikan peringatan dini ketika terdeteksi kondisi berbahaya, sehingga dapat meningkatkan tingkat keamanan lingkungan rumah tangga maupun ruang tertutup lainnya [11, 5, 6].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan perancangan sistem penanggulangan bencana kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT).

3.1. Desain Sistem

Sistem dirancang untuk mendeteksi keberadaan gas mudah terbakar sebagai indikator awal potensi kebakaran dengan memanfaatkan sensor MQ-2, mikrokontroler ESP32, serta algoritma Kalman Filter sebagai metode pemrosesan data sensor. Secara umum, sistem terdiri dari tiga bagian utama, yaitu unit sensor, unit pemrosesan data, dan unit keluaran, Gambar 2 menunjukkan blok diagram dari sistem yang dibuat.

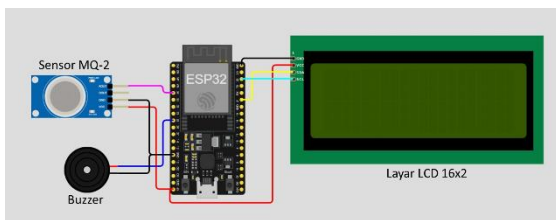


Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Sensor MQ-2 berfungsi sebagai perangkat masukan yang mendeteksi konsentrasi gas di lingkungan dan menghasilkan sinyal analog. Sinyal ini kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang bertindak sebagai pusat pengendali sistem. Data hasil pemrosesan selanjutnya digunakan untuk menampilkan informasi kondisi lingkungan serta memberikan peringatan dini melalui perangkat buzzer, layar LCD 16x2 dan sistem IoT.

3.2. Hardware Sistem

Sistem ini terdiri dari sensor gas MQ-2, mikrokontroler ESP32, modul LCD 16x2 dengan I2C, dan buzzer sebagai indikator peringatan. Sensor MQ-2 dihubungkan ke pin analog ESP32 untuk membaca sinyal tegangan yang merepresentasikan konsentrasi gas di lingkungan. ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan yang memadai serta mendukung konektivitas *wireless* untuk implementasi sistem IoT. Gambar 3 menunjukkan rangkaian skematik sistem pada penelitian ini.

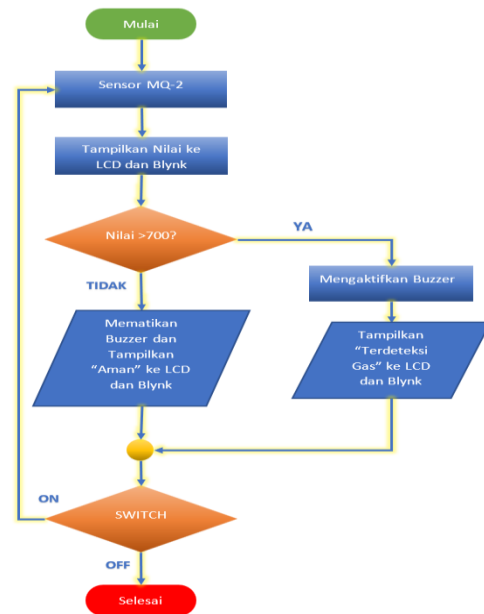


Gambar 3. Hardware Sistem

Gambar 3 menjelaskan bahwa layar LCD digunakan untuk menampilkan nilai sensor dan status sistem secara lokal, sedangkan buzzer berfungsi sebagai alarm ketika terdeteksi konsentrasi gas di atas ambang batas yang ditentukan. Selain itu, ESP32 juga digunakan untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke platform IoT sehingga memungkinkan pemantauan kondisi gas secara jarak jauh.

3.3. Flowchart Sistem

Gambar 4 menunjukkan *flowchart* dari sistem yang dikembangkan.



Gambar 4. Flowchart Sistem

Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa Alur kerja sistem diawali dengan pembacaan data dari sensor MQ-2 secara kontinu. Nilai analog yang dihasilkan sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan ditampilkan ke LCD serta dikirimkan ke platform IoT. Selanjutnya, sistem membandingkan nilai sensor terhadap nilai ambang batas untuk menentukan kondisi lingkungan. Apabila nilai sensor melebihi ambang batas, sistem akan mengaktifkan buzzer sebagai peringatan dini dan menampilkan status bahaya pada LCD dan platform IoT. Sebaliknya, apabila nilai sensor berada di bawah ambang batas, sistem menampilkan status aman dan buzzer berada dalam kondisi tidak aktif. Proses ini berlangsung secara berulang selama sistem dalam kondisi aktif.

3.4. Penerapan Kalman Filter

Untuk meningkatkan kestabilan pembacaan sensor MQ-2, penelitian ini menerapkan algoritma Kalman Filter sebagai metode pemrosesan data sensor. Nilai pembacaan sensor diperlakukan sebagai *state* sistem yang diestimasi dari data pengukuran yang terkontaminasi *noise* lingkungan. Model sistem dan pengukuran dinyatakan sebagai:

$$x_k = x_{k-1} + w_k \quad (1)$$

$$z_k = x_k + v_k \quad (2)$$

dengan x_k sebagai estimasi nilai konsentrasi gas pada waktu ke-k, z_k sebagai hasil pembacaan sensor MQ-2, serta w_k dan v_k masing-masing menyatakan *noise* proses dan *noise* pengukuran.

Tahap prediksi Kalman Filter dilakukan menggunakan persamaan:

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1} \quad (3)$$

$$P_k^- = P_{k-1} + Q \quad (4)$$

Selanjutnya, tahap koreksi dilakukan dengan menghitung Kalman *gain* dan memperbarui estimasi *state* sebagai berikut:

$$K_k = \frac{P_k^-}{P_k^- + R} \quad (5)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - \hat{x}_k^-) \quad (6)$$

$$P_k = (1 - K_k)P_k^- \quad (7)$$

Nilai estimasi \hat{x}_k digunakan sebagai data sensor yang telah difilter dan menjadi dasar dalam proses pengambilan keputusan pada sistem peringatan dini kebakaran.

Pada implementasinya, parameter noise covariance Q dan R berperan penting dalam menentukan performa Kalman Filter. Parameter Q merepresentasikan ketidakpastian model sistem, sedangkan R merepresentasikan tingkat noise pada pengukuran sensor. Pada penelitian ini, nilai Q dan R ditentukan secara empiris melalui proses tuning berdasarkan karakteristik data sensor MQ-2 yang diperoleh selama pengujian. Pemilihan nilai Q yang lebih kecil menghasilkan estimasi yang lebih halus namun dengan respons yang lebih lambat terhadap perubahan, sedangkan nilai R yang lebih besar memberikan toleransi lebih terhadap noise pengukuran.

Proses tuning dilakukan hingga diperoleh keseimbangan antara kestabilan sinyal dan sensitivitas terhadap perubahan konsentrasi gas, sehingga hasil filtering dapat digunakan secara optimal dalam sistem peringatan dini kebakaran.

3.5. Sistem IoT dan Komunikasi Data

Pada sistem yang dikembangkan, ESP32 berfungsi sebagai node IoT yang mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke platform Blynk melalui koneksi WiFi. Data yang dikirim meliputi nilai pembacaan sensor dan status kondisi lingkungan, sehingga memungkinkan pemantauan sistem secara real-time dari jarak jauh. Gambar 5 menunjukkan konektivitas IoT pada sistem yang dibuat.



Gambar 5. Konektivitas IoT

Gambar 5 menunjukkan bahwa integrasi sistem IoT ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas sistem peringatan dini dengan menyediakan akses informasi yang cepat dan mudah bagi pengguna. Selain itu, data yang tersimpan pada platform IoT dapat dimanfaatkan untuk analisis lebih lanjut terkait pola perubahan konsentrasi gas.

3.6. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan mengamati respon sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan, baik pada kondisi normal maupun ketika terdapat gas mudah terbakar. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sekitar 150 data sampling dengan interval waktu 1 detik pada setiap skenario pengujian. Data sensor dicatat sebelum dan sesudah penerapan Kalman Filter untuk membandingkan karakteristik pembacaan sensor.

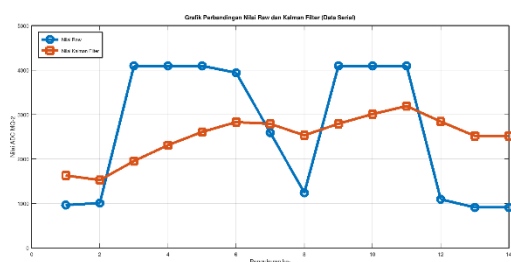
Hasil pengujian dianalisis secara visual melalui grafik perbandingan data sensor sebelum dan sesudah pemrosesan menggunakan Kalman Filter. Grafik hasil pengujian dilengkapi dengan keterangan sumbu berupa waktu pengukuran (detik) dan nilai pembacaan sensor (ADC), serta jumlah data yang digunakan dalam pengujian. Analisis ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas Kalman Filter dalam meningkatkan kestabilan pembacaan sensor MQ-2 pada sistem penanggulangan kebakaran berbasis IoT.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan difokuskan pada karakteristik pembacaan sensor MQ-2 sebelum dan sesudah penerapan Kalman Filter serta pengujian sistem monitoring dan tampilan data melalui LCD dan platform IoT. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendukung peringatan dini kebakaran.

4.1. Pengujian Pembacaan Sensor MQ-2

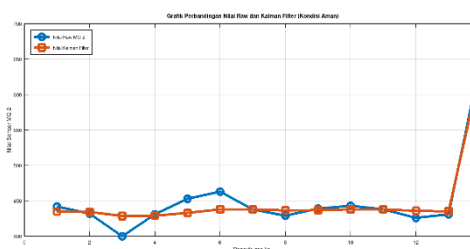
Untuk memperkuat analisis, kestabilan sinyal dievaluasi secara kualitatif berdasarkan tingkat fluktuasi data terhadap tren utama sinyal. Secara umum, data mentah menunjukkan variasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan data hasil Kalman Filter, yang mengindikasikan adanya reduksi noise pada sinyal sensor. Pengujian pembacaan sensor ini dilakukan dengan menguji pengaruh parameter pembacaan gas, asap dan api. Gambar 6 menunjukkan data hasil pengujian pembacaan sensor MQ-2 terhadap pembacaan gas.



Gambar 6. Pengujian Pembacaan Gas

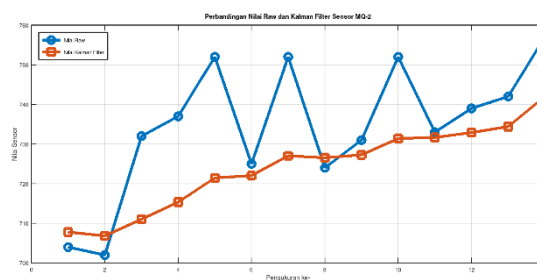
Berdasarkan Gambar 6, terlihat perbedaan karakteristik pembacaan sensor MQ-2 antara data mentah (*raw*) dan data yang telah diproses menggunakan Kalman Filter pada pengukuran keberadaan gas. Data mentah menunjukkan fluktuasi nilai yang cukup signifikan antar pengukuran, termasuk adanya lonjakan dan penurunan nilai secara tiba-tiba yang berpotensi dipengaruhi oleh noise dan kondisi lingkungan. Sebaliknya, data hasil Kalman Filter memperlihatkan pola perubahan yang menunjukkan penurunan fluktuasi sinyal secara signifikan. Hal ini ditandai dengan berkurangnya lonjakan nilai secara tiba-tiba dibandingkan data mentah, serta kemampuan sinyal dalam mengikuti tren perubahan konsentrasi gas secara lebih konsisten tanpa dipengaruhi lonjakan ekstrem.

Hal ini menunjukkan bahwa penerapan Kalman Filter mampu meningkatkan kestabilan pembacaan sensor MQ-2, sehingga data yang dihasilkan lebih representatif terhadap kondisi gas di lingkungan dan lebih andal untuk digunakan sebagai dasar pemantauan pada sistem penanggulangan kebakaran.



Gambar 7. Pengujian Sistem saat Kondisi AMAN

Berdasarkan Gambar 7, ditunjukkan perbandingan pembacaan sensor MQ-2 pada kondisi lingkungan yang relatif aman antara data mentah dan data hasil pemrosesan Kalman Filter. Pada kondisi ini, nilai pembacaan sensor berada pada rentang yang relatif stabil dan tidak melewati ambang batas deteksi bahaya. Meskipun demikian, data mentah masih memperlihatkan fluktuasi kecil antar pengukuran, termasuk adanya penurunan dan kenaikan nilai secara tiba-tiba pada beberapa titik. Sebaliknya, data hasil Kalman Filter menunjukkan variasi yang lebih halus dan konsisten di sekitar nilai rata-rata pembacaan sensor. Hal ini mengindikasikan bahwa Kalman Filter tetap berperan dalam menstabilkan pembacaan sensor MQ-2 meskipun sistem berada pada kondisi aman, sehingga data yang dihasilkan lebih andal untuk pemantauan kontinu tanpa memicu respons peringatan yang tidak diperlukan.



Gambar 8. Pengujian Sistem saat Mendeteksi Gas

Berdasarkan Gambar 8, ditunjukkan perbandingan pembacaan sensor MQ-2 antara

data mentah dan data hasil pemrosesan Kalman Filter pada kondisi terdeteksinya keberadaan gas. Data mentah sensor memperlihatkan fluktuasi nilai yang cukup tajam antar pengukuran, terutama pada saat nilai sensor berada di sekitar atau melewati ambang batas deteksi. Fluktuasi ini berpotensi menyebabkan ketidakpastian dalam penentuan kondisi lingkungan apabila digunakan secara langsung sebagai dasar pengambilan keputusan. Sebaliknya, data hasil Kalman Filter menunjukkan perubahan nilai yang lebih halus dan gradual, meskipun tetap mengikuti tren peningkatan konsentrasi gas. Hal ini menunjukkan bahwa Kalman Filter mampu mereduksi lonjakan sesaat pada pembacaan sensor MQ-2, sehingga data yang dihasilkan lebih stabil dan lebih andal untuk mendukung sistem deteksi gas sebagai bagian dari penanggulangan kebakaran.

4.2. Analisis Pengujian Data

Untuk memperkuat analisis terhadap performa Kalman Filter, dilakukan evaluasi secara kuantitatif menggunakan parameter statistik berupa variansi dan standar deviasi guna mengukur tingkat fluktuasi data sensor. Variansi dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (8)$$

di mana x_i merupakan nilai data ke- i , \bar{x} adalah nilai rata-rata dan N adalah jumlah data. Standar deviasi diperoleh dari akar kuadrat variansi. Hasil perhitungan variansi dan standar deviasi untuk data mentah (*raw*) dan data hasil Kalman Filter ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Kalman Filter Ditunjukkan Pada

Kondisi	Variansi <i>Raw</i>	Variansi KF	Std <i>Raw</i>	Std KF
Tidak Terdapat Gas	23.77	1.96	4.88	1.40
Terdapat Gas	243.19	248.39	15.59	15.76

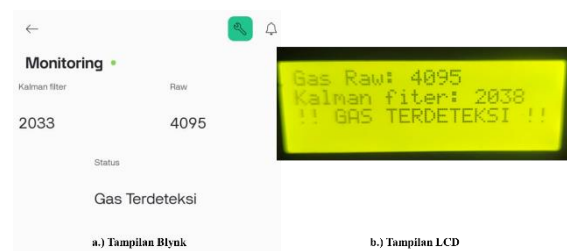
Berdasarkan Tabel 1, saat kondisi tanpa keberadaan gas, variansi data mentah sebesar 23.77 dan menurun menjadi 1.96 setelah penerapan Kalman Filter. Hal ini menunjukkan bahwa Kalman Filter mampu mereduksi

fluktuasi sinyal secara signifikan hingga lebih dari 90%, sehingga menghasilkan data yang lebih stabil dan konsisten. Sementara itu, pada kondisi gas terdeteksi, variansi data mentah sebesar 243.19 dan data hasil Kalman Filter sebesar 248.39 menunjukkan nilai yang relatif serupa. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan sinyal yang nyata akibat peningkatan konsentrasi gas, sehingga variasi data tidak hanya berasal dari noise tetapi juga dari dinamika sistem yang sesungguhnya.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa Kalman Filter efektif dalam mereduksi *noise* pada kondisi stabil (*steady-state*), serta tetap mampu mempertahankan respons terhadap perubahan sinyal pada kondisi dinamis.

4.3. Pengujian Sistem Monitoring

Bagian ini membahas hasil pengujian sistem monitoring dan tampilan data sebagai sistem penanggulangan bencana kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengujian difokuskan pada kemampuan sistem dalam menampilkan hasil pembacaan sensor melalui LCD serta mengirimkan data dan status kondisi lingkungan secara *real-time* ke *platform* IoT. Gambar 9 menunjukkan hasil pembacaan sistem saat gas terdeteksi.



Gambar 9. Tampilan Monitoring saat Gas Terdeteksi

Berdasarkan Gambar 9, dapat diketahui bahwa sistem mampu menampilkan hasil pembacaan sensor gas secara *real-time* baik pada LCD maupun pada *platform* IoT. Pada kondisi terdeteksinya gas, sistem menampilkan nilai pembacaan sensor serta status peringatan “Gas Terdeteksi” secara konsisten pada kedua media tampilan. Hal ini menunjukkan bahwa modul monitoring dan komunikasi data berbasis IoT dapat berfungsi dengan baik dalam menyampaikan informasi kondisi lingkungan

serta mendukung sistem peringatan dini sebagai bagian dari penanggulangan kebakaran.



Gambar 10. Tampilan Monitoring saat Gas Tidak Terdeteksi

Berdasarkan Gambar 10, ditunjukkan bahwa sistem monitoring mampu menampilkan kondisi lingkungan dalam keadaan aman secara konsisten baik pada platform IoT maupun pada LCD. Pada kondisi ini, nilai pembacaan sensor gas berada di bawah ambang batas deteksi, sehingga sistem menampilkan status *Aman* tanpa mengaktifkan peringatan. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan kinerja yang baik dalam mendukung pemantauan kondisi gas secara real-time. Penelitian ini berfokus pada peningkatan kualitas sinyal sensor melalui reduksi *noise* menggunakan Kalman Filter, sehingga evaluasi utama dilakukan terhadap aspek kestabilan dan konsistensi data sensor. Pengujian terhadap akurasi absolut menggunakan alat referensi terkalibrasi belum dilakukan pada penelitian ini dan menjadi salah satu keterbatasan. Oleh karena itu, validasi lebih lanjut menggunakan alat ukur standar direkomendasikan sebagai pengembangan pada penelitian selanjutnya.

5. KESIMPULAN

- a. Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem penanggulangan kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sensor MQ-2 dan mikrokontroler ESP32 berhasil direalisasikan dan dapat berfungsi sesuai dengan perancangan.
- b. Penerapan algoritma Kalman Filter pada pembacaan sensor MQ-2 terbukti mampu meningkatkan kestabilan data dengan mereduksi fluktuasi dan *noise* pada pembacaan sensor, sehingga data yang dihasilkan lebih representatif terhadap

kondisi lingkungan dan lebih andal sebagai dasar pengambilan keputusan pada sistem peringatan dini.

- c. Integrasi pemrosesan data menggunakan Kalman Filter dengan sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan sistem menampilkan informasi kondisi lingkungan secara konsisten melalui LCD dan platform IoT, baik pada kondisi aman maupun saat terdeteksinya gas, sehingga sistem yang dikembangkan layak digunakan sebagai sistem peringatan dini dan penanggulangan kebakaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Daru, W. Adhiwibowo And A. Prawoto, "Penerapan Sensor MQ-2 Untuk Deteksi Kebocoran Gas Dan Sensor BB02 Untuk Deteksi Api Dengan Pengendali Aplikasi Blynk," *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi (JTIKP)*, Vol. 12, No. 1, Pp. 37-43, 2021.
- [2] T. Jubair And A. Stefanie, "Implementasi Sensor Mq2 Sebagai Pendeteksi Kebocoran Gas Pada Fire Alarm Dengan Android," *EPIC (Journal Of Electrical Power, Instrumentation And Control)*, Vol. 5, No. 1, Pp. 57-63, 2022.
- [3] M. P. Maulana And R. P. Astutik, "Pengembangan Sistem Peringatan Dini Kebocoran Gas Lpg Untuk Peningkatan Keamanan Rumah Tangga Berbasis Esp32," *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, Vol. 12, No. 3, Pp. 2592-2900, 2024.
- [4] D. A. Kusuma And N. Juliasari, "Sistem Deteksi Kebocoran Gas Lpg dan kebakaran Menggunakan MQ-2 dan ESP32 berbasis IoT," *Jurnal Informatika Dan Sistem Informasi (Jifosi)*, Vol. 5, No. 3, Pp. 1-9, 2024.
- [5] J. W. D. Putri, J. R. Firdaus, L. S. Khaerunnisa And S. Sobur, "Sistem Monitoring Suhu, Kelembapan Dan Gas Berbasis IoT Pada Lab Komputer," *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, Vol. 13, No. 3, Pp. 2112-2125, 2025.

- [6] V. Firmansyah, "Aplikasi Kalman Filter Pada Pembacaan Sensor Suhu Untuk Pemantauan Kondisi Ruangan Laboratorium," *Jurnal Material Dan Energi Indonesia (JMEI)*, Vol. 8, No. 1, Pp. 1-7, 2018.
- [7] M. E. Noviantra, S. Karim And Suswanto, "Sistem Deteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Wemos D1 R1 Dengan Sensor MQ-2," *ANTIVIRUS: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, Vol. 16, No. 2, Pp. 190-199, 2022.
- [8] Siswaya And A. Fitriani, "Implementasi Sensor MQ-2 Dan ESP 8266 Menggunakan Metode ADDIE Untuk Mendeteksi Kebocoran LPG," *FAHMA –Jurnal Informatikakomputer, Bisnis Dan Manajemen*, Vol. 22, No. 2, Pp. 70-81, 2024.
- [9] S. R. Khairyansyah, K. K. Nurshofa, D. S. Amelia, A. W. Putti, M. T. Hidayatullahsyari And D. Aribowo, "Deteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor MQ2 Berbasis Wemos D1Mini," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, Vol. 3, No. 4, Pp. 248-258, 2024.
- [10] Lestari, D. Winarti And Asril, "Sistem Monitoring Dan Deteksi Kebocoran Gas Lpg Berbasis Iot Dengan Notifikasi Real-Time," *Jurnal Teknik Informatika (JEKIN)*, Vol. 5, No. 3, Pp. 1072-1080, 2025.
- [11] I. Aulia And Munasir, "Rancang Bangun Alat Deteksi Kebocoran Gas LPG Serta Penanggulangan Kebakaran Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Iot," *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Vol. 11, No. 3, Pp. 306-312, 2022.
- [12] M. H. Alkarim, I. Prasajo, S. A. Nugroho And E. Nugroho, "Penerapan Algoritma Filter Untuk Meningkatkan Akurasi Pembacaan Sensor Suhu MLX-90614 Pada Objek Dengan Eliminasi Pengaruh Suhu Lingkungan," *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, Vol. 13, No. 3, Pp. 99-108, 2025.
- [13] J. S. Fambudi, M. Syai'in And R. Y. Adhitya, "Penerapan Kalman Filter Pada Pembacaan Sensor Loadcell Berbasis PLC Siemens S7-1200," *Jurnal Elkolind*, Vol. 11, No. 3, Pp. 700-707, 2024.
- [14] Z. M. A. Putra, R. Y. Adhitya, D. Wahyudi And L. Yuansyah, "Penerapan Extended Kalman Filter (EKF) Pada Sistem Monitoring Gelombang Laut Berbasis Sensor IMUGY955," *Jurnal Elkolind*, Vol. 10, No. 3, Pp. 418-425, 2023.
- [15] A. Ma'arif, R. D. Puriyanto And F. T. Hasan, "Robot Keseimbangan Dengan Kendaliproporsional-Integral-Derivatif (PID) Dan Kalman Filter," *IT Journal Research And Development (ITJRD)*, Vol. 4, No. 2, Pp. 117-127, 2020.
- [16] R. Irwanto And A. J. Cornelis, "Framework Penggunaan Kalman Filter Dalam Konsep Digital Twin," *Jurnal Kajian Teknik Sipil (JKTS)*, Vol. 10, No. 1, Pp. 18-27, 2025.
- [17] Musayyanah, C. D. Affandi And K. Lebdaningrum, "Penerapan Filter Kalman Untuk Estimasi Jarak Dan Posisi Pada Lokalisasi Outdoor Berbasis RSSI Dengan Komunikasi Lora," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, Vol. 11, No. 4, Pp. 849-863, 2023.
- [18] S. Z. Anisa, I. P. D. Wibowo And M. Kallista, "Penggunaan Kalman Filter Pada Sensor Pengukur Padatan Terlarut Dalam Air," *Jurnal Nasional SAINS Dan TEKNIK*, Pp. 18-20, 2025.
- [19] M. Y. Baihaqi And W. Wijaya, "Penerapan Filter Kalman Untuk Meningkatkan Akurasi Dan Presisi Sensor Suhu LM35," In *KONSTELASI: Konvergensi Teknologi Dan Sistem Informasi*, Jakarta, 2021.
- [20] A. A. Fauzi, S. Suryani And H. Widodo, "Reduksi Noise Sensor Electrooculography Menggunakan Filter Kalman Pada Kendali Mobile Robot," *ELECTRICIAN: Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, Vol. 20, No. 01, Pp. 88-95, 2026.