

SISTEM PERINGATAN DINI KEBAKARAN IOT DAN YOLOV8N UNTUK DETEKSI MANUSIA

Zaky Hanafian Alhuda¹, Yuliarman Saragih², Indri Purwita Sary³

^{1,2} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangas Karawang
¹2210631160110@unsika.ac.id, ² yuliarman@staff.unsika.ac, ² indri@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Kebakaran bangunan merupakan bencana yang sering terjadi dan menyebabkan kerugian material maupun korban jiwa. Sistem deteksi kebakaran konvensional masih memiliki keterbatasan, yaitu hanya mengandalkan sensor asap atau suhu tanpa validasi visual dan mekanisme penanganan otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem peringatan dini kebakaran berbasis *Internet of Things* dan kecerdasan buatan yang mampu bekerja secara *real-time* dan terintegrasi. Metode yang digunakan adalah penelitian terapan dengan pendekatan rekayasa sistem. Sistem dirancang menggunakan sensor MQ-2 untuk mendeteksi kebakaran indikasi asap, sensor BME280 untuk suhu, kamera CCTV Bardi *Smart IP Camera*, mikrokontroler ESP32, serta *mini PC* spesifikasi (RAM 4GB, Intel Core i5 gen-7, HDD 500GB) sebagai unit pemrosesan. Deteksi manusia dilakukan menggunakan model YOLOv8n yang dilatih dengan total 6.277 citra. Data ditampilkan pada *web dashboard*, disimpan ke database PostgreSQL, dilengkapi notifikasi Telegram, serta fitur laporan PDF. Hasil pengujian menunjukkan sensor MQ-2 dan BME280 mampu mendeteksi kondisi bahaya dengan nilai gas 671 ppm dan suhu 79,50°C. Model YOLOv8n menghasilkan akurasi 84%, presisi 90%, *recall* 93%, dan *F1-score* 91% dalam mendeteksi manusia. *Web dashboard* menampilkan data *real-time*, *history* kejadian, dan unduh laporan. Notifikasi Telegram berhasil terkirim otomatis saat kondisi bahaya dengan terdeteksinya manusia. Database PostgreSQL menyimpan seluruh data kejadian secara terstruktur. Kesimpulannya, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan kecepatan deteksi dan akurasi informasi kebakaran, serta memberikan respons adaptif melalui integrasi sensor, kecerdasan buatan, notifikasi, dan pelaporan otomatis. Sistem ini diharapkan dapat diterapkan tidak hanya pada lingkungan rumah, tetapi juga gedung bertingkat maupun perkantoran.

Kata kunci: kebakaran, peringatan dini, IoT, YOLOv8n, deteksi manusia, ESP32

1. Pendahuluan

Kebakaran bangunan merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di berbagai negara dan menimbulkan kerugian besar baik dari segi material maupun korban jiwa (Yatasha Qurrata A'yuni, 2025). Secara global, menurut laporan *National Fire Protection Association* (NFPA), terjadi lebih dari 1,3 juta kasus kebakaran setiap tahun dengan lebih dari 3.700 korban jiwa serta kerugian, 11.780 cedera dan ekonomi yang mencapai 19 miliar dolar Amerika (Shelby Hall, 2025). Selain itu, Berdasarkan laporan *World Fire Statistics*, kebakaran pada bangunan, khususnya bangunan tempat tinggal, merupakan salah satu jenis kebakaran yang dominan, dengan kontribusi sekitar 24,2% dari total kejadian kebakaran serta menyumbang hingga 82,7% dari total korban jiwa akibat kebakaran secara global (Nikolai Brushlinsky, 2022). Penyebab utama kebakaran umumnya berasal dari kebocoran gas, korsleting listrik, serta kelalaian manusia yang sering tidak terdeteksi sejak dini (Guohui Li, Jiapu Guo, Yanhao Kang, Que Huang, Junchao Zhao, 2025). Di

Indonesia, kebakaran masih menjadi permasalahan serius, terutama di kawasan permukiman padat penduduk berdasarkan data Dinas Penanggulangan Kebakaran DKI Jakarta, tercatat Berdasarkan data dinas penanggulangan kebakaran dan penyelamatan provinsi DKI Jakarta, tercatat 1.505 kasus kebakaran dalam satu tahun, penyebab utama berasal dari korsleting listrik sebanyak 938 kasus dan kebocoran atau ledakan gas sebanyak 180 kasus, dengan bangunan perumahan menjadi objek yang paling banyak terdampak (Arjuna Anggara Putra, 2024).

Pada lingkungan rumah, sistem deteksi kebakaran yang digunakan umumnya masih sederhana, yaitu hanya mengandalkan sensor asap atau suhu dengan output berupa alarm (MHD Fadli, 2022). Sistem tersebut hanya mampu memberikan peringatan ketika kondisi tertentu terdeteksi, namun belum mampu memberikan informasi tambahan seperti kondisi ruangan secara visual maupun keberadaan manusia di dalamnya. Berdasarkan parameter teknis, kebakaran dapat diindikasikan dari peningkatan suhu $\geq 68^\circ\text{C}$ (Jasmine Aisha Ainudin, 2023). Untuk konsentrasi kadar gas atau asap, nilai

ambang batas berada pada kisaran 300–700 ppm (Ahmad Aditya Hartono, 2024). Permasalahan tersebut menjadi lebih kompleks pada lingkungan yang lebih luas seperti gedung bertingkat atau perkantoran. Jumlah ruangan yang banyak serta aktivitas manusia yang tinggi membutuhkan sistem yang mampu bekerja secara cepat, akurat, dan terintegrasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kebakaran bukan hanya permasalahan lokal, melainkan masalah global yang membutuhkan solusi berbasis teknologi untuk meningkatkan sistem deteksi dini adanya pencatatan kejadian dan laporan otomatis mempermudah evaluasi pasca insiden.

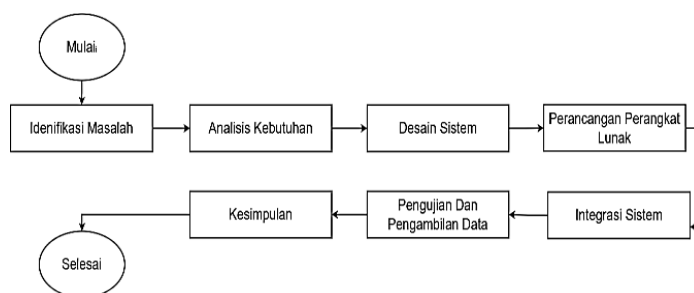
Berbagai penelitian yang telah dilakukan, sistem deteksi kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT) umumnya telah mampu mendeteksi parameter seperti suhu, asap, gas, dan api serta memberikan notifikasi maupun monitoring secara *real-time* (Femas Satria et al., 2025). Selanjutnya penelitian menunjukkan bahwa sistem deteksi kebakaran mampu memberikan notifikasi dini kepada pengguna, namun masih terbatas pada fungsi deteksi dan notifikasi tanpa adanya mekanisme penanganan otomatis, sehingga sistem bersifat pasif dalam merespons kejadian kebakaran (Handoko & Priyadi, 2025). Selanjutnya, telah mengembangkan sistem dengan penambahan aktuator berupa sprinkler otomatis, namun implementasinya masih terbatas pada skala prototipe dengan jangkauan deteksi yang relatif terbatas dan belum mempertimbangkan variasi kondisi lingkungan yang kompleks (M. Rico Dwi Bagus Saputro, 2025). Selain itu, ketiga penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan dalam hal akurasi sensor, jangkauan deteksi, serta belum adanya integrasi sistem yang komprehensif untuk mendukung kinerja optimal di berbagai kondisi nyata.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merupakan penelitian terapan yang bertujuan untuk merancang dan membangun sistem peringatan dini kebakaran berbasis IoT dan kecerdasan buatan yang mampu bekerja secara *real-time* dan terintegrasi. Sistem memanfaatkan sensor gas dan sensor suhu untuk mendeteksi kondisi berbahaya yang mengindikasikan potensi kebakaran. Selain itu, penelitian ini juga menerapkan deteksi keberadaan manusia sebagai bagian dari sistem peringatan dini kebakaran menggunakan kamera CCTV dan metode YOLO yang diproses pada mini PC ketika kondisi bahaya terdeteksi. Data hasil pembacaan sensor dan deteksi sistem ditampilkan pada *web dashboard* serta disimpan ke dalam database pada *mini PC* sebagai media pemantauan dan dokumentasi. Sistem juga dilengkapi dengan notifikasi otomatis, peringatan suara, dan pembuatan laporan berkala dalam format PDF. Ketika kondisi bahaya terdeteksi, sistem akan memberikan informasi jumlah orang yang berada di area pemantauan melalui tampilan *dashboard* dan suara peringatan. Penelitian dilakukan pada kondisi awal kebakaran sebelum terjadinya penyebaran asap tebal, sehingga proses deteksi manusia dilakukan

pada kondisi visibilitas yang masih memungkinkan untuk diproses oleh kamera dan model YOLO. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses pemantauan kondisi ruangan dan pemberian peringatan dini dapat dilakukan secara lebih cepat dan efisien.

2. Metode

Penelitian ini disusun menggunakan penelitian terapan dengan pendekatan rekayasa sistem, metode untuk menghasilkan solusi nyata terhadap permasalahan yang ada (Honoré-Livermore et al., 2022). Berikut bentuk diagram blok Gambar 1 tahapan-tahapan terstruktur.



Gambar 1. Diagram Blok Alur Penelitian

2.1 Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam penelitian yang bertujuan untuk menemukan dan merumuskan permasalahan yang terjadi (Ade Heryana, 2024). Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap kondisi nyata di lapangan, diketahui bahwa sistem deteksi kebakaran konvensional masih memiliki keterbatasan, yaitu hanya mengandalkan sensor tanpa adanya validasi visual. Kondisi ini menyebabkan sistem tidak dapat memastikan keberadaan manusia di dalam ruangan saat terjadi kebakaran, sehingga berpotensi menghambat proses penanganan dan evakuasi secara tepat.

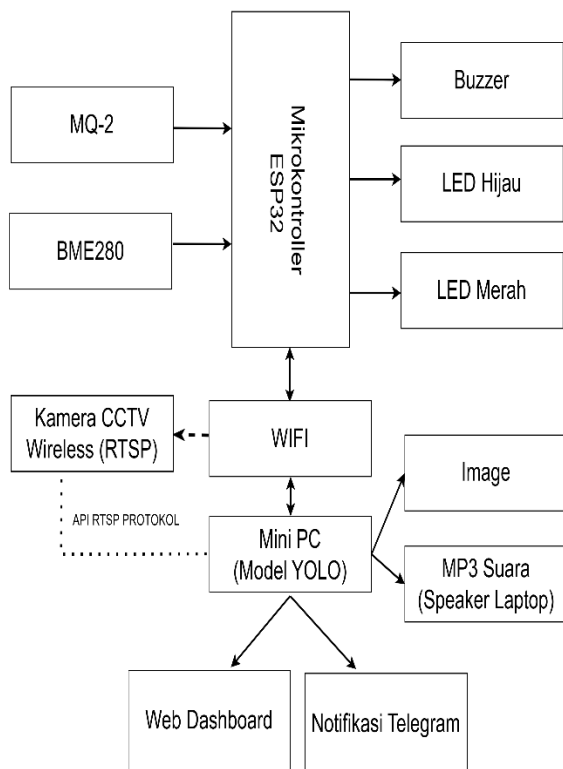
2.2 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan spesifikasi sistem yang akan dibangun, baik dari sisi desain sistem perangkat keras maupun perangkat lunak (Adiyanto, Nurashah, Jaka Suwita, Yulis Nuryanti, 2024). Pada tahap ini diidentifikasi kebutuhan komponen seperti mikrokontroler, sensor gas, sensor suhu dan kelembaban, kamera, mini pc atau laptop untuk pemrosesan. Selain itu, ditentukan juga kebutuhan perangkat lunak seperti sistem pemrograman, web, database, dan algoritma deteksi objek.

2.3 Desain Sistem

1. Desain Sistem Perangkat Keras

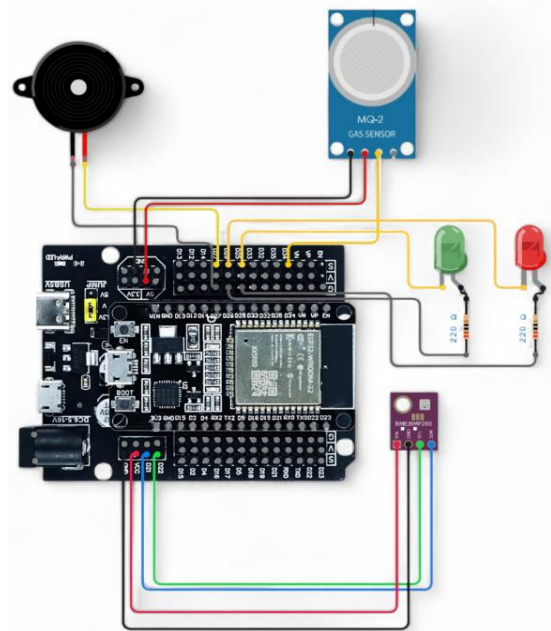
Desain sistem merupakan tahap perancangan arsitektur keseluruhan sistem perangkat keras yang menggambarkan hubungan antar komponen (Mathias Rekyan Arka Nugroho, Angeline Martella, Kristian Abel Baptista, 2025). Pada tahap ini dibuat diagram alur pada Gambar 2 serta dirancang alur data dari sensor MQ-2 dan BME280, mikrokontroler ESP32, CCTV Bardi *Smart IP Camera*, WiFi, *Mini PC* memiliki spesifikasi intel core i5 generasi ke-7, RAM 4 GB, dan *hard disk* 500 GB sistem pemrosesan. *web dashboard* dan dikirim notifikasi *telegram*.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

a. Wiring Rangkaian Sensor dan Esp32

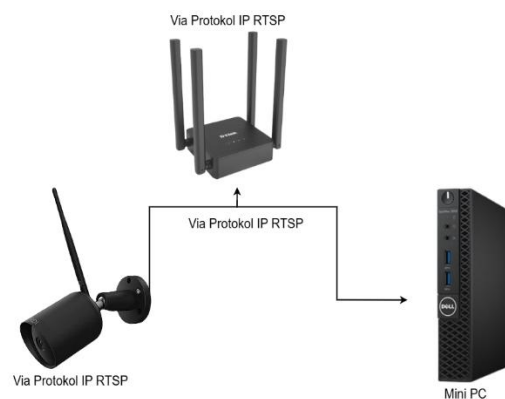
Sensor MQ-2 berfungsi sebagai pendeteksi gas atau asap di lingkungan, kemudian hasil pembacaan sensor dikirimkan ke ESP32 sebagai mikrokontroler utama. ESP32 memproses data tersebut untuk menentukan kondisi aman atau bahaya, kemudian menghasilkan *output* berupa LED hijau (aman), LED merah (bahaya), dan *buzzer* sebagai peringatan. Komunikasi data dilakukan menggunakan protokol HTTP berbasis API melalui jaringan WiFi. Protokol HTTP digunakan untuk mendukung pengiriman data dari ESP32 ke *mini PC* yang menjalankan *web dashboard*, database, dan sistem notifikasi Telegram. Dengan demikian, data sensor dapat ditampilkan dan dimonitor secara *real-time*. Adapun hasil *wiring* rangkaian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Wiring Rangkaian Alat

b. Wiring Rangkaian Kamera dan Laptop

Kamera CCTV digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia di dalam ruangan menggunakan model YOLOv8n. Kamera terhubung ke *mini PC* melalui jaringan WiFi menggunakan protokol RTSP yang digunakan untuk mengirimkan video secara *real-time*. Video yang diterima dari kamera kemudian diproses oleh *mini PC* untuk mendeteksi manusia di area pengawasan. Hasil deteksi akan ditampilkan pada *web dashboard* dan dikirim sebagai notifikasi melalui Telegram. Selain itu, sistem juga memberikan suara peringatan sesuai kondisi ruangan. Adapun hasil *wiring* rangkaian kamera dan laptop ditunjukkan pada Gambar 4.

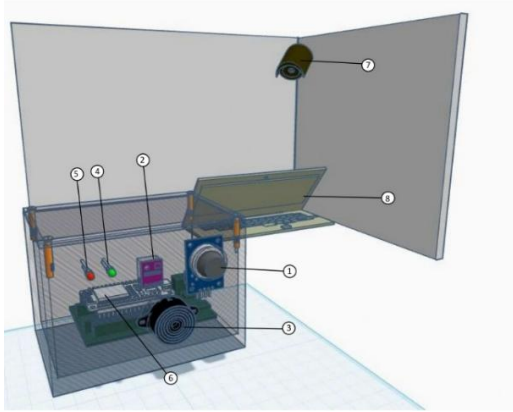


Gambar 4. Skema Wiring Kamera dan Laptop (Yolo)

c. Skema Perancangan Alat

Perancangan desain alat dilakukan untuk sistem deteksi kebakaran berbasis *Internet of Things* dan kecerdasan buatan. Desain konstruksi alat dibuat untuk menempatkan komponen-komponen yang digunakan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Komponen sistem terdiri atas nomor 1 sensor MQ-2, nomor 2 sensor BME280, nomor 3 *buzzer*, nomor 4

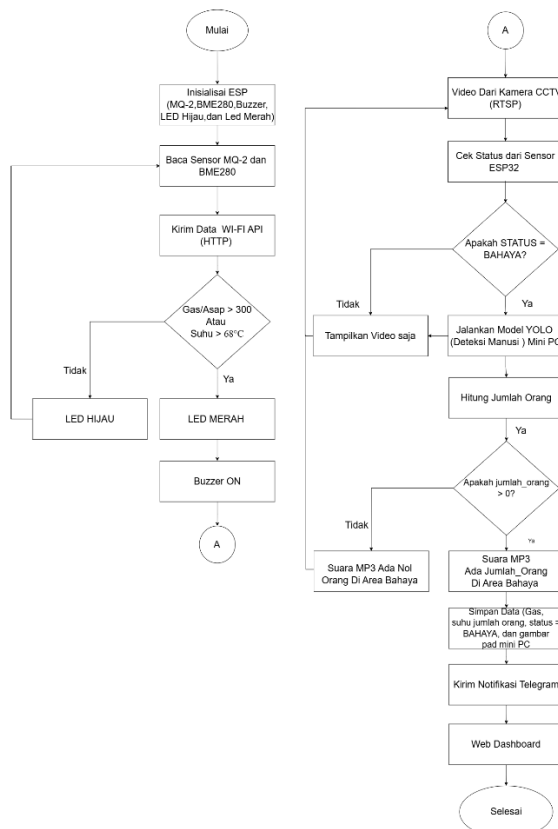
LED hijau, nomor 5 LED merah, nomor 6 ESP32, nomor 7 kamera CCTV, serta nomor 8 laptop untuk model YOLO dan *output* suara (*speaker*). Seluruh komponen tersebut dirancang agar dapat terintegrasi dalam satu kotak akrilik dengan ukuran panjang 11 cm × lebar 9,5 cm × tinggi 8,3 cm. Sementara itu, kamera dipasang pada posisi terpisah dan ditempelkan pada dinding untuk mendukung proses pemantauan area secara optimal.



Gambar 5. Desain 3D Tempat Alat

2.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan secara lebih rinci dengan mengembangkan desain sistem ke dalam bentuk implementasi teknis yang menggambarkan cara kerja sistem.



Gambar 6. Flowchart Cara Kerja Alat

Sistem diawali dengan proses inialisasi ESP32, sensor MQ-2, sensor BME280, LED, dan *buzzer*. Setelah aktif, ESP32 membaca nilai kondisi kebakaran indikasi asap dan suhu ruangan kemudian mengirimkan data ke *mini PC* melalui jaringan WiFi menggunakan protokol HTTP. Sistem selanjutnya memeriksa kondisi sensor berdasarkan nilai ambang batas. Jika kondisi aman, LED hijau menyala dan video CCTV hanya ditampilkan pada *web dashboard*. Namun, jika terdeteksi kondisi bahaya seperti asap melebihi batas 300 atau suhu lebih dari 68°C, maka LED merah dan *buzzer* akan aktif sebagai peringatan. Pada kondisi bahaya, *mini PC* menjalankan model YOLOv8n untuk mendeteksi keberadaan manusia dari video CCTV yang dikirim menggunakan protokol RTSP. Sistem kemudian menghitung jumlah orang di area tersebut dan memberikan suara peringatan sesuai hasil deteksi. Seluruh data hasil deteksi disimpan ke database PostgreSQL, ditampilkan pada *web dashboard*, dan dikirim sebagai notifikasi telegram. Sebaliknya, jika tidak terdapat orang di area tersebut, sistem akan memberikan suara peringatan bahwa tidak ada orang di area bahaya.

2.5 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditetapkan, berikut beberapa pengujian yang akan dilakukan:

1. Pengujian Sistem YOLO (AI)

a. Dataset dan Training

Training dataset merupakan sekumpulan data yang digunakan untuk melatih model YOLO agar mampu mengenali objek, dalam hal ini manusia (Muhammad Irfan Ardiansyah, 2024). Data ini berisi total gambar *test*, *train*, dan *valid*. Selama proses *training*, model akan belajar pola dari data tersebut dengan cara meminimalkan error antara hasil prediksi dan label sebenarnya (Mahardhika & Pakereng, 2026). Semakin banyak dan beragam data training, maka kemampuan model dalam mengenali objek akan semakin baik.

b. Validasi

Validasi dataset digunakan untuk mengevaluasi performa model menggunakan beberapa metrik utama (Fauzan et al., 2025), pada persamaan 1-4.

1) *Accuracy*: menunjukkan tingkat ketepatan model secara keseluruhan dalam melakukan klasifikasi, dengan rumus ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

2) *Precision*: Persamaan (2) menunjukkan seberapa akurat prediksi positif yang dilakukan model.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

- 3) *Recall*: menunjukkan kemampuan model dalam mendeteksi seluruh objek yang sebenarnya ada, ditunjukkan Persamaan (3).

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

- 4) *F1 score* metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur keseimbangan antara *precision* dan *recall* dalam suatu model, dengan Persamaan (4).

$$F1\ Score = 2 \frac{Presisi \times Recall}{Presisi + Recall} \quad (4)$$

2. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian secara keseluruhan dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem deteksi kebakaran berbasis IoT dan kecerdasan buatan dapat bekerja dengan baik dan saling terintegrasi. Sensor MQ-2 dan BME280 membaca kondisi ruangan berupa indikasi asap dan suhu, kemudian data dikirim ke sistem melalui jaringan WiFi. Jika nilai gas melebihi batas atau suhu berada di atas ambang yang ditentukan, sistem akan mengaktifkan kondisi bahaya yang ditandai dengan *buzzer* dan indikator LED. Selanjutnya, sistem AI berbasis YOLO memproses video dari kamera untuk mendeteksi keberadaan manusia di area tersebut. Apabila tidak terdeteksi manusia, sistem memberikan informasi bahwa ruangan kosong, sedangkan jika terdapat manusia, sistem akan memberikan peringatan, menyimpan data kejadian ke dalam database, serta mengirimkan notifikasi melalui Telegram. Selain itu, *web dashboard* digunakan untuk menampilkan data sensor, status sistem, hasil deteksi YOLO, serta log kejadian secara *real-time*, dan juga menyediakan fitur untuk mengunduh laporan dalam bentuk PDF.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Desain Sistem Perangkat Keras

Dari hasil pada Gambar 7, sistem terdiri dari tiga bagian utama yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input digunakan sensor MQ-2 untuk mendeteksi asap, sensor BME280 untuk mengukur suhu, serta kamera CCTV untuk pemantauan ruangan secara *real-time*. Kamera CCTV aktif terus-menerus untuk menampilkan video, sedangkan deteksi manusia menggunakan YOLOv8n hanya dijalankan ketika sistem mendeteksi kondisi bahaya berdasarkan hasil pembacaan sensor. Pada bagian proses, data sensor dibaca oleh ESP32 dan dikirim ke *mini PC* melalui jaringan WiFi menggunakan protokol HTTP. Data kemudian diolah untuk menentukan kondisi

aman atau bahaya berdasarkan ambang batas. Nilai ambang batas tersebut mengacu pada penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa indikasi kebakaran dapat ditandai pada suhu $\geq 68^{\circ}\text{C}$ (Jasmine Aisha Ainudin, 2023), sedangkan untuk kadar asap berada pada kisaran 300 (Ahmad Aditya Hartono, 2024).

Sebelum digunakan, sensor MQ-2 dan BME280 dilakukan pengujian dengan memberikan stimulus asap pada MQ-2 dan memanaskan pada BME280 untuk memastikan sensor merespons perubahan kondisi dengan baik dan menghasilkan nilai yang stabil. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi kondisi awal kebakaran berdasarkan parameter gas dan suhu sebagai indikator utama. Oleh karena itu, sistem difokuskan sebagai sistem peringatan dini kebakaran, sehingga pengujian dan implementasi dilakukan pada kondisi awal kebakaran sebelum terjadinya penyebaran asap tebal. Pada bagian output, sistem memberikan peringatan berupa LED dan *buzzer*, serta dilengkapi dengan keluaran suara melalui *speaker* yang memberikan informasi kondisi ruangan, khususnya untuk mengumumkan apakah terdapat orang di dalam ruangan atau tidak saat kondisi bahaya. Sistem juga menampilkan informasi jumlah orang menggunakan YOLOv8n, menyimpan data ke database, mengirim notifikasi Telegram, dan menampilkan hasil pada *web dashboard* secara *real-time*.



Gambar 7. Rangkaian Alat Perangkat Keras

3.2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak (Software)

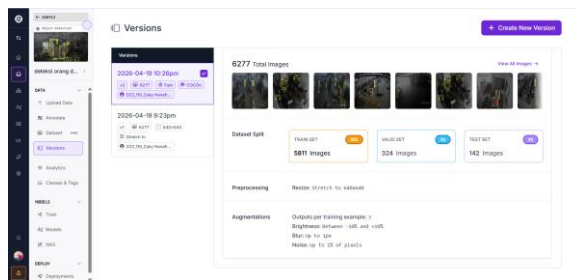
3.2.1 Pengujian Sistem YOLO

Pengujian sistem YOLO dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model dalam mendeteksi

objek manusia (*person*) pada citra. Model yang digunakan adalah YOLOv8n (*You Only Look Once version 8 nano*), yaitu versi ringan dari arsitektur YOLO yang dirancang untuk memiliki keseimbangan antara kecepatan pemrosesan dan akurasi deteksi. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model mampu mengenali keberadaan manusia di area berbahaya pada kondisi ruangan.

a. Dataset dan Training model

Dataset yang digunakan dilihat pada Gambar 8 terdiri dari citra dengan satu kelas objek yaitu *person*, dataset terdapat data *training*, *validation*, dan *testing* pada roboflow. Pembagian ini bertujuan untuk melatih model, melakukan validasi selama proses pelatihan, serta menguji performa model yang telah dilatih. Namun demikian, dataset yang digunakan masih bersifat umum dan belum secara spesifik merepresentasikan kondisi manusia pada lingkungan kebakaran di dalam ruangan, sehingga sistem lebih difokuskan pada deteksi keberadaan manusia sebagai indikator keselamatan pada kondisi awal kebakaran.



Gambar 8. Dataset dan Training Model Roboflow

Tabel 1. Rincian Dataset

Classes	Test	Train	Valid
Person	5811	324	142
Total		6277	

Berdasarkan Tabel 1, dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari satu kelas objek yaitu *person* dengan total 6.277 citra. Dataset dibagi menjadi tiga bagian, yaitu 93% untuk *training* (5.811 citra), 5% untuk *validation* (324 citra), dan 2% untuk *testing* (142 citra). Pembagian ini merupakan *default split* dari Roboflow yang digunakan untuk mendukung proses pelatihan model, validasi selama *training*, serta evaluasi akhir terhadap performa model. Proporsi pembagian data ini digunakan untuk memastikan model YOLO dapat belajar dengan baik serta dievaluasi secara optimal terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Selanjutnya *training* model pada Gambar 8 dilakukan untuk mengekstraksi fitur dari citra secara acak menggunakan model YOLOv8n. Pelatihan model dilakukan selama 100 *epoch* dengan variasi resolusi input citra guna meningkatkan kemampuan model dalam mengenali objek pada berbagai kondisi. Penentuan jumlah *epoch* tersebut didasarkan pada kondisi model yang telah mencapai konvergensi pada proses pelatihan, sehingga penambahan *epoch* lebih

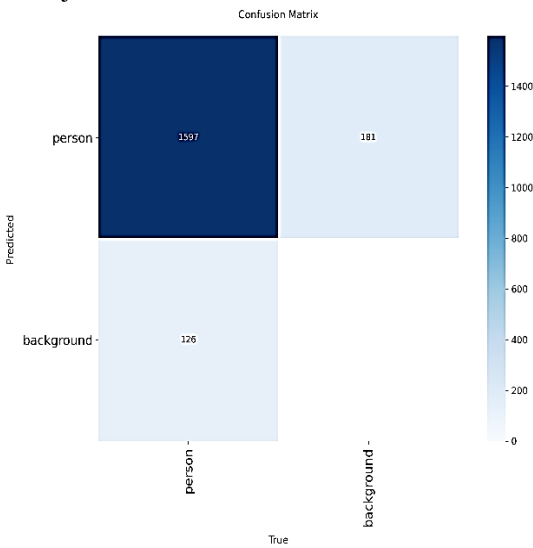
lanjut tidak memberikan peningkatan performa yang signifikan.

epoch	train/box_loss	train/cls_loss	train/dfl_loss	train/loss	val/box_loss	val/cls_loss	val/dfl_loss	val/loss	metrics/precision(B)	metrics/recall(B)	metrics/mAP50(B)	metrics/mAP50-95(B)
1	2.082212	1.419592	1.401438	1.313887	0.779888	0.761018	0.777941	0.800684	1.71212	1.81208	1.49919	0.001318
2	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
3	1.972208	1.382007	1.391811	1.298123	0.782121	0.772121	0.782121	0.822121	1.582121	1.682121	1.442121	0.001318
4	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
5	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
6	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
7	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
8	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
9	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
10	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
11	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
12	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
13	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
14	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
15	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
16	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
17	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
18	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
19	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
20	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
21	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
22	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
23	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
24	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
25	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
26	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
27	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
28	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
29	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
30	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
31	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
32	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
33	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
34	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
35	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
36	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
37	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
38	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
39	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
40	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
41	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
42	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
43	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
44	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
45	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
46	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
47	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
48	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
49	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
50	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
51	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
52	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
53	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
54	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
55	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
56	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
57	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
58	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
59	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
60	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
61	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
62	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
63	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
64	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
65	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
66	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
67	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752	0.671878	0.712378	1.47126	1.57126	1.26126	0.001318
68	1.981234	1.320505	1.301411	1.221511	0.682622	0.663752						

precision meningkat hingga mendekati 0,94 dan recall mencapai 0,90, yang menunjukkan kemampuan model dalam mendeteksi objek dengan tingkat ketepatan dan kelengkapan yang baik. Selain itu, nilai $mAP@50$ mencapai 0,95, sedangkan $mAP50:95$ berada di kisaran 0,62. Hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki performa deteksi yang baik. Secara keseluruhan, model YOLOv8n yang dilatih menunjukkan konvergensi yang baik dan mampu menghasilkan performa deteksi yang optimal terhadap objek *person*.

b. Validasi

Model yang telah melalui proses *training* selanjutnya dievaluasi dengan menghasilkan *confusion matrix*, serta divisualisasikan melalui kurva *precision-recall* dan *confidence curve* untuk menilai kinerja model.



Gambar 11. Confusion Matrix

Confusion Matrix pada Gambar 10 menunjukkan hubungan antara kelas sebenarnya (*true*) dan hasil prediksi model. Matriks ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja model dalam mendeteksi objek *person*. Berdasarkan gambar, diperoleh nilai True Positive (TP) sebesar 1597, False Positive (FP) sebesar 181, False Negative (FN) sebesar 126, dan True Negative (TN) sebesar 0. Berdasarkan nilai tersebut, akurasi model dapat dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$Accuracy = \frac{1597 + 0}{1597 + 0 + 181 + 126}$$

$$Accuracy = 0,84 \text{ (84\%)}$$

Presisi dihitung menggunakan persamaan 2 sebagai berikut:

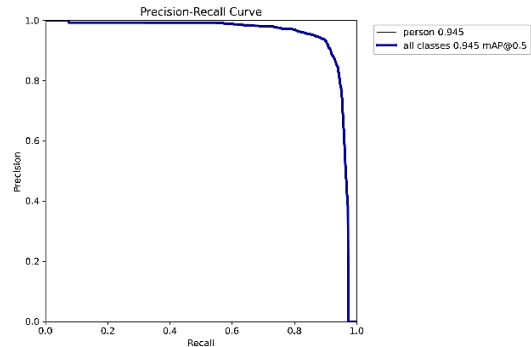
$$Precision = \frac{1597}{1597 + 181}$$

$$Precision = 0,90 \text{ (90\%)}$$

Recall dihitung menggunakan persamaan 3 sebagai berikut:

$$Recall = \frac{1597}{1597 + 126}$$

$$Recall = 0,93 \text{ (93\%)}$$

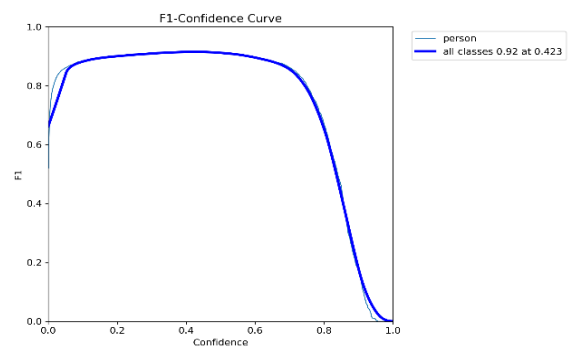


Gambar 12. Confusion Matrix Kurva Grafik Precision-Recall Curve

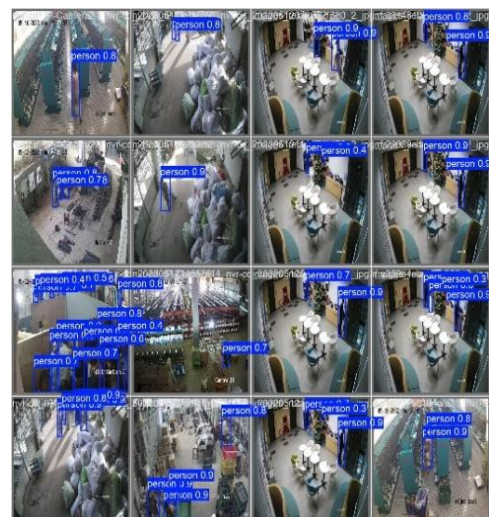
Selanjutnya, nilai F1-Score diperoleh dari persamaan 4 sebagai berikut:

$$F1 \text{ Score} = 2 \frac{0,90 \times 0,93}{0,90 + 0,93}$$

$$F1 \text{ Score} = 0,91 \text{ (91\%)}$$



Gambar 13. Kurva Grafik F1-Confidence Curve



Gambar 14. Prediksi Pada Dataset

3.3 Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui respon sistem terhadap kondisi normal dan kondisi bahaya.

Tabel 2. Rincian Pengujian Sensor

Fire Kondisi (MQ-2)	Suhu (°C)	LED/Buzzer	Status	Hasil
46	33	Hijau ON / OFF	Aman	Sesuai
671	79.50	Merah ON / ON	Bahaya	Sesuai

Berikut gambar 14 kondisi output berdasarkan serial monitor pada arduino IDE.

```
Fire Condition: 46 | Temp: 33.00°C | Status: AMAN
Fire Condition: 671 | Temp: 79.50°C | Status: BAHAYA
```

Gambar 15. Output Pengujian Sensor

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 14 hingga, pada kondisi pertama diperoleh nilai gas sebesar 46 dengan suhu 33°C, yang menunjukkan kondisi masih mendekati batas ambang dan belum termasuk kategori bahaya. Sedangkan pada kondisi kedua diperoleh nilai gas sebesar 671 dengan suhu 79,50°C, yang menunjukkan peningkatan signifikan dan mengindikasikan kondisi bahaya. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-2 dan sensor suhu BME280 mendeteksi perubahan ruangan.

3.4 Pengujian YOLO (Deteksi Manusia)

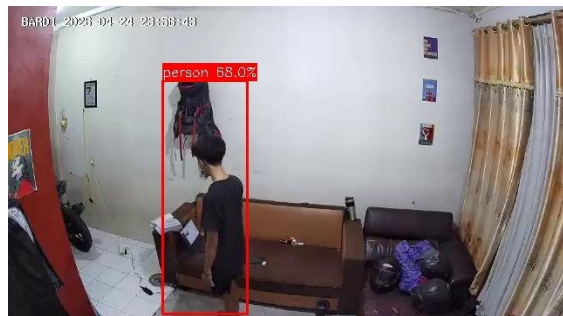
Pengujian YOLO menggunakan model YOLOv8n dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi keberadaan manusia secara real-time melalui kamera CCTV. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi *confidence* deteksi, kemampuan sistem dalam menghitung jumlah objek manusia kemudian memberikan suara dari *speaker* kondisi serta kestabilan performa saat digunakan pada kondisi nyata. Proses pengujian dilakukan dengan beberapa skenario dalam kondisi bahaya yaitu kondisi tanpa objek manusia, satu orang, dan lebih dari satu orang dalam area pemantauan.

Tabel 3. Rincian Data Pengujian YOLO

Kondisi Nyata	deteksi	Confidence	Status	Suara
0 Orang	0	100%	Bahaya	ON
1 Orang	1	68%	Bahaya	ON
2 Orang	2	85.8% & 82.7%	Bahaya	ON



Gambar 16. Hasil Deteksi Tidak Ada Orang



Gambar 17. Hasil Deteksi Ada 1 Orang

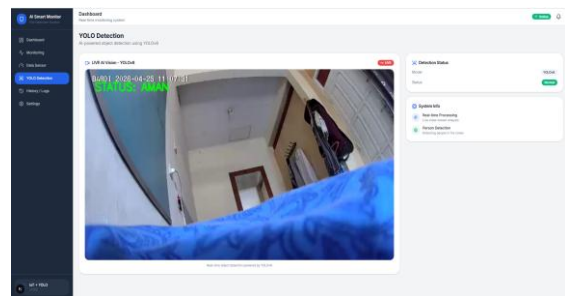


Gambar 18. Hasil Deteksi Ada 2 Orang

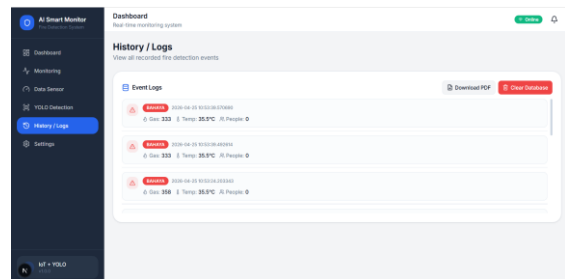
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 dan Gambar 15 hingga Gambar 17, sistem mode YOLOv8n mampu mendeteksi keberadaan manusia. Pada kondisi tanpa objek manusia, sistem tidak mendeteksi satu objek dengan *confidence* 100%,. Pada kondisi satu orang, sistem berhasil mendeteksi satu objek dengan *confidence* sebesar 68%. Sedangkan pada kondisi dua orang, sistem mampu mendeteksi dua objek dengan nilai *confidence* masing-masing sebesar 85,8% dan 82,7%, pada kondisi ini sistem mengaktifkan speaker sebagai bentuk peringatan kondisi ada orang dia area ruangan berbahaya. Pengujian pada kondisi asap tebal tidak dilakukan karena keterbatasan lingkungan pengujian dan pertimbangan keselamatan. Oleh karena itu, sistem difokuskan sebagai sistem peringatan dini kebakaran dan dievaluasi pada kondisi normal dengan simulasi awal kebakaran menggunakan sensor gas dan suhu sebelum terjadinya penyebaran asap tebal.

3.5 Pengujian Web Dashboard

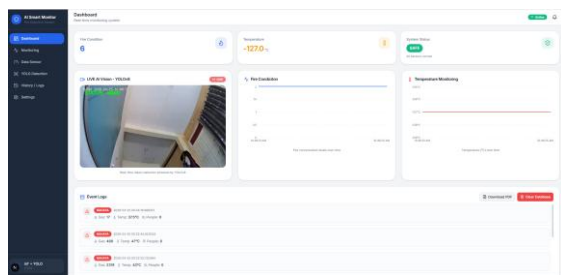
Pengujian *web dashboard* dilakukan untuk memastikan seluruh fitur monitoring sistem dapat berjalan dengan baik. *Dashboard* menyediakan beberapa menu utama, yaitu monitoring data sensor, tampilan *video streaming* berbasis YOLO, serta halaman history atau log kejadian pada Gambar 18. Menu monitoring digunakan untuk menampilkan *streaming video yolo* dan data sensor *grafik line chart fire condition* dan suhu dilihat pada gambar 19. Menu data sensor digunakan untuk menampilkan sensor data realtime dengan adanya kondisi level, sensor sistem, dan *grafik line chart fire condition* asap atau gas dan suhu pada gambar 20. Menu YOLO *detection* menampilkan hasil deteksi manusia secara langsung dari kamera pada gambar 21. Sedangkan menu *history* atau log digunakan untuk menampilkan data kejadian yang tersimpan di dalam database pada gambar 22. Selain itu, dashboard juga dilengkapi dengan fitur unduh laporan dalam bentuk PDF yang dapat digunakan untuk keperluan dokumentasi dilihat pada Gambar 23.



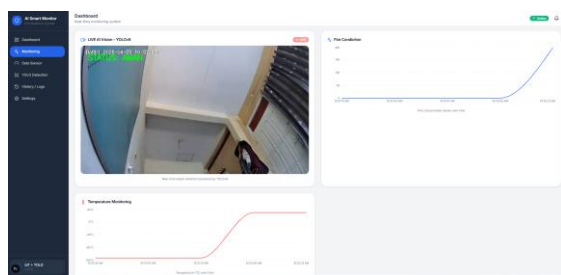
Gambar 22. Tampilan Yolo Detections



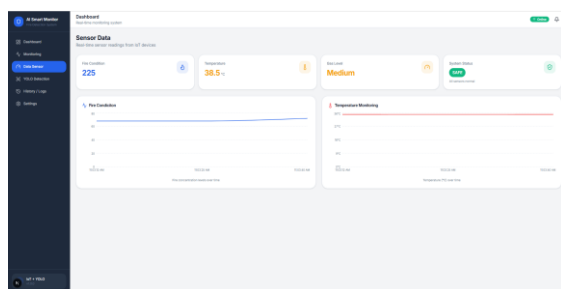
Gambar 23. Tampilan History atau log



Gambar 19. Tampilan Dashboard



Gambar 20. Tampilan Monitoring



Gambar 21. Tampilan Data Sensor



Gambar 24. Tampilan Hasil Download PDF

Dari pengujian dapat diketahui bahwa seluruh fitur pada web dashboard telah berjalan dengan baik sesuai dengan perancangan. Data sensor dapat ditampilkan secara *real-time*, proses deteksi manusia melalui YOLO berjalan dengan lancar, serta data log kejadian berhasil ditampilkan secara sistematis. Hal ini menunjukkan bahwa dashboard mampu menjadi media monitoring yang efektif dalam mendukung sistem deteksi kebakaran berbasis IoT dan kecerdasan buatan.

3.6 Pengujian Database

Struktur tabel database Struktur tabel basis data log kebakaran digunakan untuk menyimpan data hasil monitoring sistem deteksi kebakaran. Tabel ini memiliki atribut id sebagai *primary key* bertipe

integer, serta waktu bertipe *timestamp* untuk mencatat waktu pengambilan data. Parameter yang disimpan meliputi gas (*integer*), suhu (*double*), dan kelembaban (*double*). Selain itu, terdapat atribut jumlah_orang (*integer*) untuk jumlah orang terdeteksi, status (*varchar(20)*) untuk kondisi sistem, serta gambar (*text*) untuk menyimpan data atau referensi visual. Struktur pada Gambar 24 mendukung penyimpanan data secara terorganisir untuk keperluan monitoring dan analisis.

log_kebakaran	
id	integer
waktu	timestamp
gas	integer
suhu	double
kelembaban	double
jumlah_orang	integer
status	varchar(20)
gambar	text

Gambar 25. Struktur Tabel Log Kebakaran

Dari gambar 24 pengujian database postgresql dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu menyimpan data kejadian secara otomatis ketika kondisi bahaya terpenuhi. Data yang disimpan *fire condition* nilai gas atau asap, suhu, jumlah orang hasil deteksi YOLO, serta status sistem. Tampilan hasil penyimpanan data pada database dapat dilihat pada Gambar 25.

```

postgres=# \c smart_safety
You are now connected to database "smart_safety" as user "postgres".
smart_safety=# SELECT * FROM log_kebakaran;

```

id	waktu	gas	suhu	kelembaban	jumlah_orang	status	gambar
1	2026-08-24 23:55:12.132821	721	42		2	BAHAYA	1777049787.jpg
2	2026-08-24 23:55:30.997772	355	40.8		1	BAHAYA	1777049725.jpg
3	2026-08-24 23:56:47.052582	129	94.8		1	BAHAYA	1777049883.jpg
4	2026-08-24 23:56:58.086343	113	104.2		1	BAHAYA	1777049814.jpg
5	2026-08-25 00:22:25.722664	239	42		0	BAHAYA	1777051348.jpg
6	2026-08-25 00:22:40.623043	480	47		0	BAHAYA	1777051355.jpg
7	2026-08-25 00:34:19.988313	17	37.5		0	BAHAYA	1777052055.jpg
8	2026-08-25 10:52:03.813391	397	32.5		0	BAHAYA	1777089115.jpg
9	2026-08-25 10:52:03.888437	397	32.5		0	BAHAYA	1777089117.jpg
10	2026-08-25 10:52:21.988655	4895	35		0	BAHAYA	1777089137.jpg
11	2026-08-25 10:52:22.576827	4895	35		0	BAHAYA	1777089137.jpg
12	2026-08-25 10:52:37.103333	767	35		0	BAHAYA	1777089152.jpg
13	2026-08-25 10:52:37.630654	767	35		0	BAHAYA	1777089152.jpg
14	2026-08-25 10:52:53.88857	538	35.5		0	BAHAYA	1777089168.jpg
15	2026-08-25 10:52:53.964749	538	35.5		0	BAHAYA	1777089168.jpg
16	2026-08-25 10:53:08.224441	458	35.5		0	BAHAYA	1777089183.jpg
17	2026-08-25 10:53:08.295512	458	35.5		0	BAHAYA	1777089183.jpg
18	2026-08-25 10:53:23.163245	358	35.5		0	BAHAYA	1777089198.jpg
19	2026-08-25 10:53:24.283343	358	35.5		0	BAHAYA	1777089199.jpg
20	2026-08-25 10:53:39.492614	333	35.5		0	BAHAYA	1777089214.jpg
21	2026-08-25 10:53:39.57869	333	35.5		0	BAHAYA	1777089214.jpg

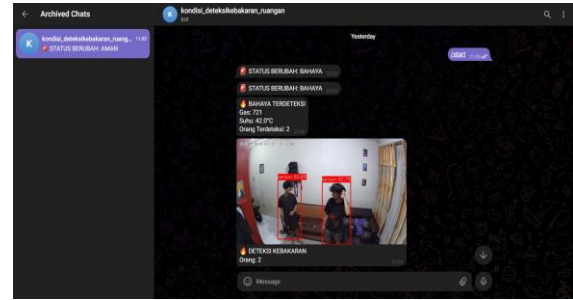
Gambar 26. Hasil Penyimpanan Database

Berdasarkan Gambar 25, dapat diketahui bahwa data kejadian berhasil tersimpan ke dalam database sesuai dengan kondisi yang terjadi. Informasi yang ditampilkan meliputi waktu kejadian, nilai sensor, jumlah objek yang terdeteksi, serta status sistem. Hal ini menunjukkan bahwa proses integrasi antara sistem deteksi dan database telah berjalan dengan baik.

3.7 Pengujian Notifikasi

Hasil Pengujian notifikasi dilakukan untuk memastikan sistem mampu mengirimkan informasi peringatan secara otomatis ketika kondisi bahaya terdeteksi. Notifikasi dikirim berdasarkan hasil pembacaan sensor dan deteksi manusia oleh sistem

AI. Berdasarkan hasil pengujian, notifikasi hanya dikirim ketika kondisi bahaya terjadi dan terdapat manusia di dalam ruangan, sehingga sistem tidak mengirimkan pesan yang tidak diperlukan. Informasi yang dikirim meliputi status bahaya, nilai sensor, serta jumlah orang yang terdeteksi. Tampilan hasil pengujian notifikasi dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 27. Notifikasi Telegram

Berdasarkan Gambar 26, dapat diketahui bahwa notifikasi berhasil dikirimkan secara otomatis ketika kondisi bahaya terpenuhi. Pesan yang diterima pengguna berisi informasi yang sesuai dengan kondisi sistem, sehingga dapat membantu dalam proses pengambilan tindakan secara cepat. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara sistem deteksi dan layanan notifikasi telah berjalan dengan baik.

4. Kesimpulan

Sistem deteksi kondisi awal kebakaran berbasis IoT dan kecerdasan buatan telah dirancang dan diimplementasikan menggunakan sensor MQ-2 untuk mendeteksi gas atau asap, sensor BME280 untuk mengukur suhu, kamera CCTV Bardi Smart IP Camera, mikrokontroler ESP32, serta mini PC Dell Optiplex 3050 dengan spesifikasi RAM 4 GB, Intel Core i5 generasi ke-7, dan HDD 500 GB sebagai unit pemrosesan. Sistem bekerja melalui jaringan WiFi untuk mendukung monitoring dan pengiriman data secara *real-time*. Model YOLOv8n untuk deteksi manusia dilatih menggunakan dataset sebanyak 6.277 citra dengan satu kelas objek *person*. Berdasarkan hasil validasi, model memperoleh nilai akurasi sebesar 84%, presisi 90%, *recall* 93%, dan *F1-score* 91%. Pada skenario pengujian yang dilakukan, model dapat mendeteksi keberadaan manusia pada kondisi tanpa objek, satu orang, dan dua orang dengan nilai *confidence* yang bervariasi. Pengujian sensor menunjukkan bahwa sistem dapat membedakan kondisi normal dan kondisi bahaya berdasarkan parameter gas dan suhu yang telah ditentukan. Pada kondisi bahaya, sistem mengaktifkan buzzer dan LED merah sebagai peringatan, sedangkan pada kondisi normal sistem menampilkan status aman dengan LED hijau. Selain itu, *web dashboard* dapat menampilkan data sensor, video deteksi YOLO, dan log kejadian secara *real-time*, serta menyediakan fitur unduh laporan PDF. Database PostgreSQL juga dapat menyimpan data monitoring secara otomatis meliputi

waktu kejadian, nilai sensor, jumlah orang terdeteksi, dan status sistem. Sistem notifikasi Telegram dapat mengirimkan peringatan otomatis ketika kondisi bahaya terdeteksi dan terdapat manusia di area pemantauan.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena dataset yang digunakan masih berupa dataset umum objek manusia dan belum secara khusus merepresentasikan kondisi manusia pada lingkungan kebakaran dengan asap pekat. Selain itu, pengujian sistem difokuskan pada kondisi awal kebakaran sebelum terjadinya penyebaran asap tebal. Sistem deteksi kebakaran ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambah variasi dataset dan kelas objek pada model YOLO, serta menggunakan arsitektur versi terbaru untuk meningkatkan akurasi deteksi. Penambahan sensor api dan sensor gas tambahan juga dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem. Dari sisi perangkat lunak, pengembangan dapat difokuskan pada peningkatan skalabilitas, keamanan jaringan, dan optimalisasi dashboard agar mampu menangani data dalam jumlah lebih besar. Selain itu, fitur notifikasi dapat diperluas ke berbagai platform lain dan dikombinasikan dengan sistem pengambilan keputusan otomatis untuk mendukung respons darurat yang lebih cepat. Dengan pengembangan tersebut, sistem diharapkan dapat memberikan performa yang lebih baik ketika diimplementasikan pada lingkungan nyata.

Daftar Pustaka:

- Ade Heryana. (2024). Mengidentifikasi dan Merumuskan Masalah Penelitian. *Method, March*, 1–9.
- Adiyanto, Nurasiah, Jaka Suwita, Yulis Nuryanti, G. N. B. (2024). *Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak*.
- Ahmad Aditya Hartono, U. B. (2024). Penerapan Fuzzy Logic Pada Prototype Pendeteksi Kebakaran Berbasis Mikrokontroler Pada Pt. Viasprada. *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi*, 3(2), 469–479. <https://senafti.budiluhur.ac.id/index.php/senafti/article/view/1347%0Ahttps://senafti.budiluhur.ac.id/index.php/senafti/article/download/1347/709>
- Arjuna Anggara Putra. (2024). *Strategi Suku Dinas Penanggulangan Kebakaran Dan Penyelamatan Kota Administrasi Jakarta Pusat Dalam Progam Mitigasi Bencana Kebakaran Provinsi Dki Jakarta*.
- Fauzan, R., Vitianingsih, A. V., Cahyono, D., Maukar, A. L., & Suprio, Y. A. B. (2025). Application of Classification Algorithms in Machine Learning for Phishing Detection. *Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(2), 531–540.
- Femas Satria, Muhammad Izman Herdiansyah, Heri Suroyo, & Nia Oktaviani. (2025). Perancangan Alat Deteksi Kebakaran Berbasis IoT dengan Evaluasi Precision-Recall dan End-To-End Delay. *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, 5(3), 80–89. <https://doi.org/10.55606/jitek.v5i3.8106>
- Guohui Li, Jiapu Guo, Yanhao Kang, Que Huang, Junchao Zhao, C. L. (2025). Classification and Prevention of Electrical Fires: A Comprehensive Review. *Fire*, 8(4), 1–42. <https://doi.org/10.3390/fire8040154>
- Handoko, D. A., & Priyadi, A. (2025). Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis IoT Studi Kasus PT Maju Jaya Windraya Ambarawa. *Go Infotech: Jurnal Ilmiah STMIK AUB*, 31(1), 30–40. <https://doi.org/10.36309/goi.v31i1.358>
- Honoré-Livermore, E., Fossum, K. R., & Veitch, E. (2022). Academics' perception of systems engineering and applied research projects. *Systems Engineering*, 25(1), 19–34. <https://doi.org/10.1002/sys.21599>
- Jasmine Aisha Ainudin. (2023). *Analisis Upaya Pencegahan Dan Penanggulangan Kebakaran Di Pt. Albea Rigid Packaging Surabaya*.
- M. Rico Dwi Bagus Saputro, Y. D. C. (2025). Prototipe Sprinkler Otomatis Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Sensor Flame 5 Channel. *Seminar Nasional Hasil Riset Dan Pengabdian, November*, 53–59.
- Mahardhika, D. S., & Pakereng, M. A. I. (2026). *Deteksi Objek Secara Real-Time Berbasis YOLOv8 dan Algoritma DeepSORT*. 5(1), 671–686.
- Mathias Rekyan Arka Nugroho, Angeline Martcella, Kristian Abel Baptista, P. (2025). Prototipe Sistem Pendeteksi Anomali Berbasis Website Dengan Integrasi IoT Untuk Keamanan Area Kebun. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Bisnis (SENATIB)*, 933–940.
- MHD Fadli. (2022). *Rumah Menggunakan Android Berbasis Arduino Uno R3*.
- Muhammad Irfan Ardiansyah. (2024). *Implementasi You Only Look Once V5 (Yolov5) Untuk Identifikasi Genus Anggrek Di Indonesia Berbasis Mobile*. <https://digilib.unila.ac.id/>
- Nikolai Brushlinsky. (2022). *International Association of Fire and Rescue Services Asociación Internacional de Servicios de Fuego y Rescate Internationale Vereinigung des Feuerwehr-und Rettungswesens CTIF Center for Fire Statistics World Fire Statistics Estadísticas Mundiales de Bomb*.
- Shelby Hall. (2025). Fire Loss in the United States During 2024. In *Fire journal Boston, Mass*.
- Yatasha Qurrata A'yuni. (2025). *Efektivitas Penanggulangan Bencana Kebakaran Pemukiman Di Kota Banda Aceh Provinsi Aceh*.

Halaman ini sengaja dikosongkan