

Deteksi dan Pengukuran Jarak Api Berbasis Sensor Inframerah dan *Internet of Things* (IoT)

Fire Detection and Distance Measurement Based on Infrared Sensors and Internet of Things (IoT)

Decky Ari Irwanto¹, Jaine Faleri Nona², Irawati Dewi Syahwir³, Dewi Setiawati⁴
¹⁻⁴Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia
Perdagangan,

Kementerian Perdagangan

¹decky@akmet.ac.id, ²jainenona@gmail.com, ³irawatidewisyahwir@gmail.com,

⁴dewi.msetiawati@gmail.com

Received: April 11, 2026 | Revised: April 18, 2026 | Accepted: April 30, 2026

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan sistem deteksi kebakaran yang mampu mendeteksi keberadaan api sekaligus memberikan informasi jarak api secara *real-time* yang berpotensi diterapkan pada sistem pemadam api otomatis. Hasil penelitian berupa prototipe sistem deteksi dan pengukuran jarak api berbasis sensor inframerah YG1006 yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT). Metode yang digunakan adalah pendekatan eksperimental melalui perancangan perangkat keras dan perangkat lunak menggunakan ESP32, modul HX711 sebagai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) 24-bit, serta penguatan sinyal transistor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi ada dan tidak adanya api dengan ambang nilai ADC sebesar 1000 serta dapat mengukur jarak api hingga 250 cm. Model regresi logaritmik yang digunakan memiliki koefisien determinasi sebesar 0,9949 dengan kesalahan penunjukan absolut maksimal 9% pada rentang 60–250 cm. Sistem juga mampu melakukan monitoring real-time melalui Google Spreadsheet. Akurasi pengukuran jarak api mengalami penurunan pada posisi api yang sangat dekat dari sensor yaitu kurang dari 60 cm akibat saturasi sensor.

Kata kunci: deteksi api, jarak api, sensor inframerah, *Internet of Things* (IoT), ESP32

Abstract

This research was motivated by the need for a fire detection system capable of detecting the presence of fire while providing real-time fire distance information that has the potential to be applied in automatic fire extinguishing systems. The result of this study is a prototype of a fire detection and distance measurement system based on the YG1006 infrared sensor integrated with the Internet of Things (IoT). The method used was an experimental approach through hardware and software design using ESP32, the HX711 module as a 24-bit Analog-to-Digital Converter (ADC), and transistor-based signal amplification. The results showed that the system was able to distinguish between the presence and absence of fire with an ADC threshold value of 1000 and measure fire distance up to 250 cm. The logarithmic regression model used had a coefficient of determination of 0.9949 with a maximum absolute error of 9% within the range of 60–250 cm. The system was also capable of real-time monitoring through Google Spreadsheet. The accuracy of fire distance measurement decreased when the fire was positioned very close to the sensor, specifically at distances less than 60 cm, due to sensor saturation.

Keywords: fire detection, fire distance, infrared sensor, *Internet of Things* (IoT), ESP32

1. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang dapat menyebabkan kerugian besar baik dari segi keselamatan manusia maupun kerusakan infrastruktur. Oleh karena itu, pengembangan sistem deteksi kebakaran yang mampu memberikan informasi secara cepat dan akurat menjadi sangat penting untuk mendukung upaya mitigasi dan penanggulangan kebakaran. Sistem deteksi kebakaran modern tidak hanya dituntut mampu mendeteksi keberadaan api, tetapi juga memberikan informasi tambahan yang dapat membantu proses pengambilan keputusan dalam penanganan kebakaran secara efektif [1].

Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai metode deteksi kebakaran telah dikembangkan, salah satunya menggunakan pendekatan berbasis pengolahan citra dan *computer vision* [2]. Metode tersebut memanfaatkan karakteristik visual dari api seperti warna, tekstur, dan pola pergerakan untuk mengidentifikasi kebakaran dari citra atau video. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem deteksi kebakaran berbasis *computer vision* dapat digunakan untuk memantau area luas seperti hutan dengan memanfaatkan citra udara dari wahana udara tanpa awak (UAV) [3]. Selain itu, pendekatan berbasis pembelajaran mesin juga telah digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi asap atau api pada tahap awal kebakaran [4]. Kajian literatur juga menunjukkan bahwa teknik pengolahan citra dan *deep learning* telah digunakan untuk meningkatkan akurasi sistem deteksi kebakaran [5].

Penelitian berbasis *computer vision* juga diarahkan untuk mengembangkan sistem deteksi kebakaran dengan tingkat presisi tinggi untuk aplikasi tertentu seperti deteksi kebakaran pada terowongan lalu lintas maupun lingkungan industri [6]. Penelitian tersebut menggunakan prinsip *stereo vision* berbasis kamera yang memungkinkan pengukuran jarak api. Akurasi pengukuran jarak api sangat ditentukan oleh parameter hasil kegiatan kalibrasi yang didapat menggunakan pola terstruktur yaitu pola *checkerboard*.

Teknologi pengolahan citra juga diintegrasikan pada sistem robot pemadam api untuk membantu proses navigasi robot dalam menghindari rintangan menggunakan kamera dan metode pengolahan citra digital [7]. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa teknologi *deep learning* dan kecerdasan buatan telah dimanfaatkan dalam sistem deteksi kebakaran modern untuk meningkatkan akurasi deteksi pada kondisi lingkungan yang bervariasi [8-9].

Meskipun metode berbasis *computer vision* memiliki kemampuan deteksi yang dapat diandalkan, implementasi metode tersebut membutuhkan perangkat keras dengan kemampuan komputasi yang tinggi serta pemrosesan data yang kompleks. Hal tersebut menyebabkan pendekatan berbasis citra kurang efisien untuk dibuat dalam bentuk sistem tertanam dengan sumber daya terbatas. Oleh karena itu, pendekatan berbasis sensor masih digunakan karena memiliki struktur sistem dan komputasi yang lebih sederhana dibandingkan metode *computer vision* dalam mendeteksi keberadaan api [10].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem deteksi kebakaran berbasis sensor yang diintegrasikan dengan robot pemadam api atau sistem pemantauan otomatis. Sensor ultraviolet, sensor temperatur, maupun sensor api berbasis inframerah dapat digunakan untuk mendeteksi radiasi yang dihasilkan oleh nyala api. Robot pemadam api yang mampu mendeteksi dan memadamkan api secara otomatis dengan memanfaatkan sensor berbasis *infrared* dan sistem kendali [11-12]. Jenis sensor ultraviolet seperti UVTron telah dikombinasikan dengan sensor ultrasonik untuk membantu navigasi robot menuju sumber api [13]. Jenis sensor optik untuk pengukuran temperature seperti *thermal array* dapat menjadi pilihan untuk memvisualisasikan distribusi temperatur sehingga dapat membantu proses identifikasi sumber panas pada suatu area [14].

Berdasarkan performa deteksi api menggunakan sensor, sistem deteksi kebakaran berbasis

sensor ultraviolet memiliki sensitivitas paling tinggi dengan jarak deteksi api maksimal hingga 50 meter [15]. Namun, deteksi api menggunakan metode tersebut didasarkan pada analisis bentuk sinyal listrik yang kompleks dan bukan berdasarkan prinsip sederhana menggunakan nilai *threshold* pada sinyal output sehingga tidak memungkinkan untuk untuk pengukuran jarak api. Deteksi api berbasis pengukuran temperatur menghadapi kendala utama berupa nilai sinyal output yang mengalami saturasi meskipun jarak sensor ke api hanya 21 cm [14]. Sensor *infrared* mampu mendeteksi nyala api hingga jarak 35 in atau 88,9 cm [16]. Variasi tegangan sinyal output memiliki potensi untuk dimanfaatkan pada pengukuran jarak api. Jarak deteksi dapat ditingkatkan dengan meminimalkan interferensi cahaya lingkungan misalnya dengan menutup bagian tepi sensor untuk memperkecil area deteksi. Penambahan komponen seperti penguat sinyal atau *amplifier* juga dapat ikut berkontribusi dalam meningkatkan jarak deteksi.

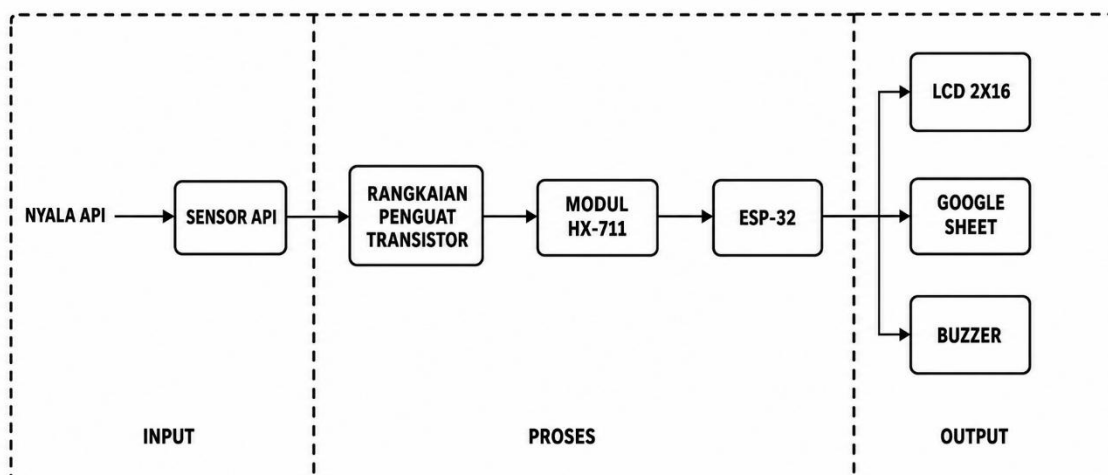
Selain itu, pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem deteksi kebakaran juga masih terbatas pada sistem pemantauan sederhana yang hanya menampilkan status keberadaan api tanpa menyediakan informasi jarak secara kuantitatif [17]. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem deteksi kebakaran yang tidak hanya mampu mendeteksi keberadaan api tetapi juga mampu melakukan pengukuran jarak sumber api secara real-time serta menyediakan sistem monitoring berbasis internet untuk memudahkan proses pemantauan secara *remote* atau jarak jauh.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan prototipe sistem monitoring dan pengukuran jarak api berbasis sensor *infrared* YG1006 yang diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32. Interferensi cahaya lingkungan diminimalkan dengan menutup bagian tepi sensor untuk memperkecil area deteksi. Penurunan nilai sinyal output sensor akibat berkurangnya area deteksi dikompensasi dengan menambahkan rangkaian transistor dan modul HX711 yang berperan sebagai penguat sinyal dan *Analog-to-Digital Converter* (ADC) 24-bit. Sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi keberadaan api sekaligus mengukur jarak api dari sensor hingga 250 cm. Data hasil deteksi kemudian dikirimkan melalui jaringan internet dan ditampilkan secara *real-time* pada *platform* Google Sheet sehingga memungkinkan pemantauan status dan jarak api secara *remote* atau jarak jauh.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan rancang bangun untuk mengembangkan prototipe sistem deteksi dan monitoring jarak api berbasis sensor inframerah terintegrasi *Internet of Things* (IoT). Penelitian dilaksanakan pada tahun 2025 di laboratorium Akademi Metrologi dan Instrumentasi.

Sistem terdiri dari sensor inframerah (flame sensor) seri YG1006 sebagai elemen deteksi utama, rangkaian penguat sinyal menggunakan transistor, modul ADC 24-bit seri HX711 untuk meningkatkan resolusi pembacaan sinyal hasil penguatan, serta mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan dan komunikasi data. Keluaran sistem berupa indikator lokal yang terdiri dari modul *Liquid Crystal Display* (LCD) 2x16 dan *buzzer* serta keluaran berupa tampilan pada Google Spreadsheet untuk monitoring jarak jauh berbasis IoT. Pemilihan konfigurasi ini ditujukan untuk meningkatkan sensitivitas deteksi sekaligus memungkinkan pemantauan jarak api secara *real-time*. **Gambar 1** menunjukkan diagram blok komponen penyusun prototipe yang terdiri dari bagian input, proses, dan output.

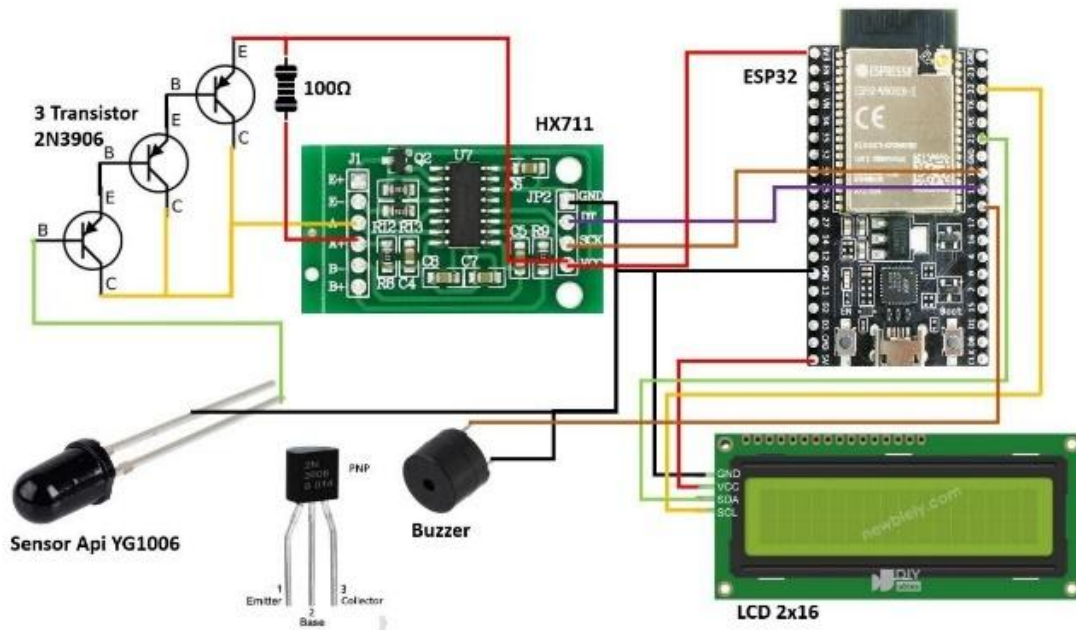


Gambar 1. Diagram blok komponen penyusun prototipe pada bagian input, proses, dan output

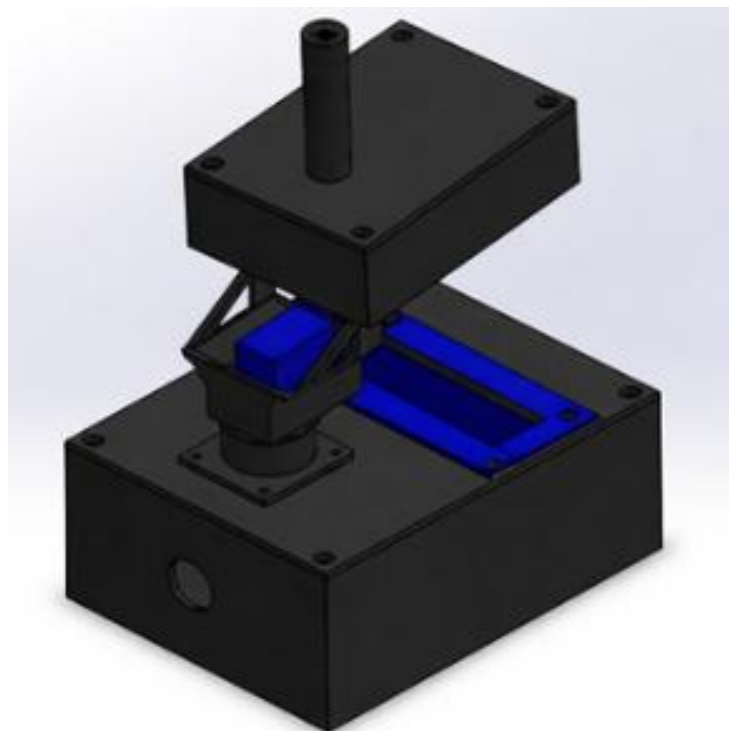
Diagram blok pada **Gambar 1** menjadi referensi untuk penyusunan diagram pengkabelan yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Adapun rincian koneksi antar pin komponen adalah sebagai berikut:

1. Pin 5V ESP-32 dihubungkan dengan pin VCC LCD 2x16;
2. Pin 21 ESP-32 dihubungkan dengan pin SDA LCD 2x16;
3. Pin 22 ESP-32 dihubungkan dengan pin SCL LCD 2x16;
4. Pin GND LCD dihubungkan dengan pin GND ESP-32, GND HX-711, pin negatif *buzzer* dan pin anoda sensor api;
5. Pin 18 ESP-32 dihubungkan dengan pin DT HX-711;
6. Pin 19 ESP-32 dihubungkan dengan pin SCK HX-711;
7. Pin 3V3 ESP-32 dihubungkan dengan pin VCC HX-711, resistor 100Ω, pin A+ HX-711 dan pin emitor transistor PNP 2N3906;
9. Pin katoda sensor api dihubungkan dengan basis transistor 2N3906;
10. Output dari transistor (pin kolektor) dihubungkan dengan pin A- HX-711.

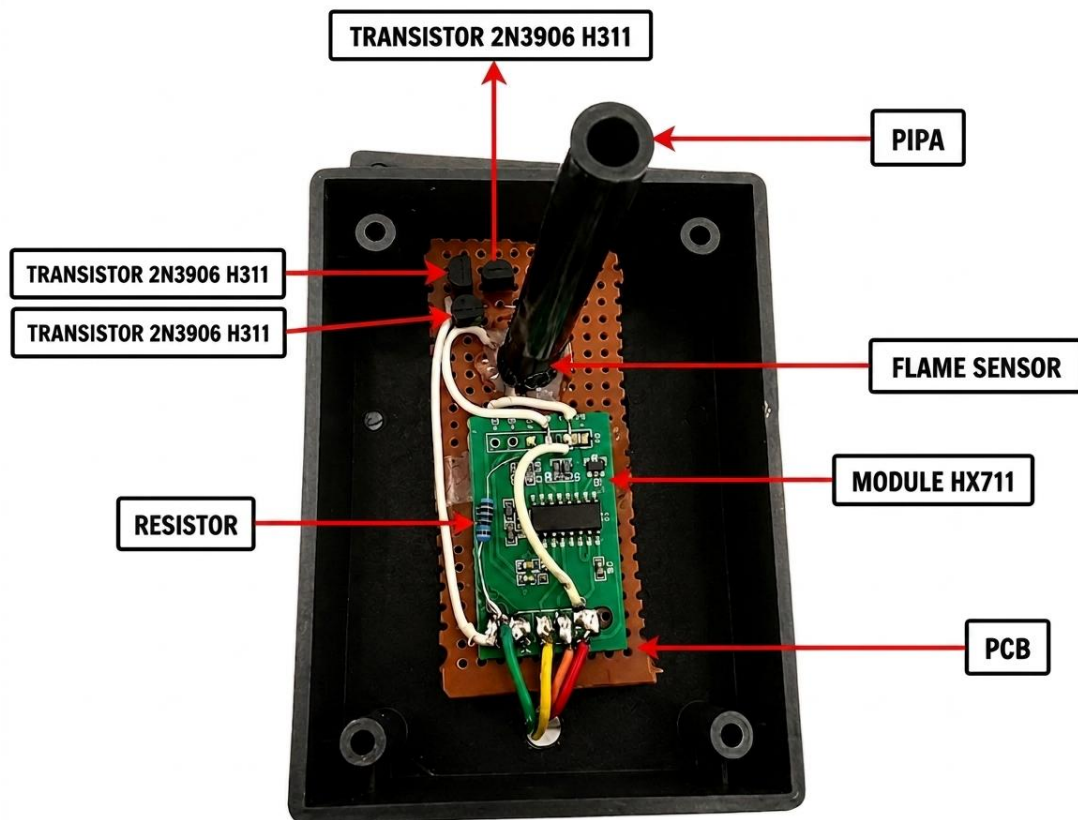
Perancangan sistem dilakukan dalam dua tahap, yaitu perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras dirancang dengan mengintegrasikan sensor api, rangkaian transistor, modul ADC, modul LCD, *buzzer*, dan ESP32 dalam satu sistem akuisisi data. Integrasi perangkat keras ditempatkan di dalam sebuah *enclosure* yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Modul LCD, *buzzer*, dan ESP32 ditempatkan pada kotak bagian bawah atau dasar. Sensor api, rangkaian transistor, dan modul ADC ditempatkan pada kotak bagian atas dengan dilengkapi dudukan dan engsel yang memungkinkan gerakan putar pada arah horisontal dan vertikal. Pemasangan komponen di dalam kotak bagian atas ditunjukkan pada **Gambar 4**. Bagian tepi sensor api ditutup menggunakan pipa hitam tidak tembus cahaya untuk meminimalkan interferensi cahaya lingkungan dari samping terutama yang berupa sinar inframerah.



Gambar 2. Diagram pengkabelan komponen pada prototipe



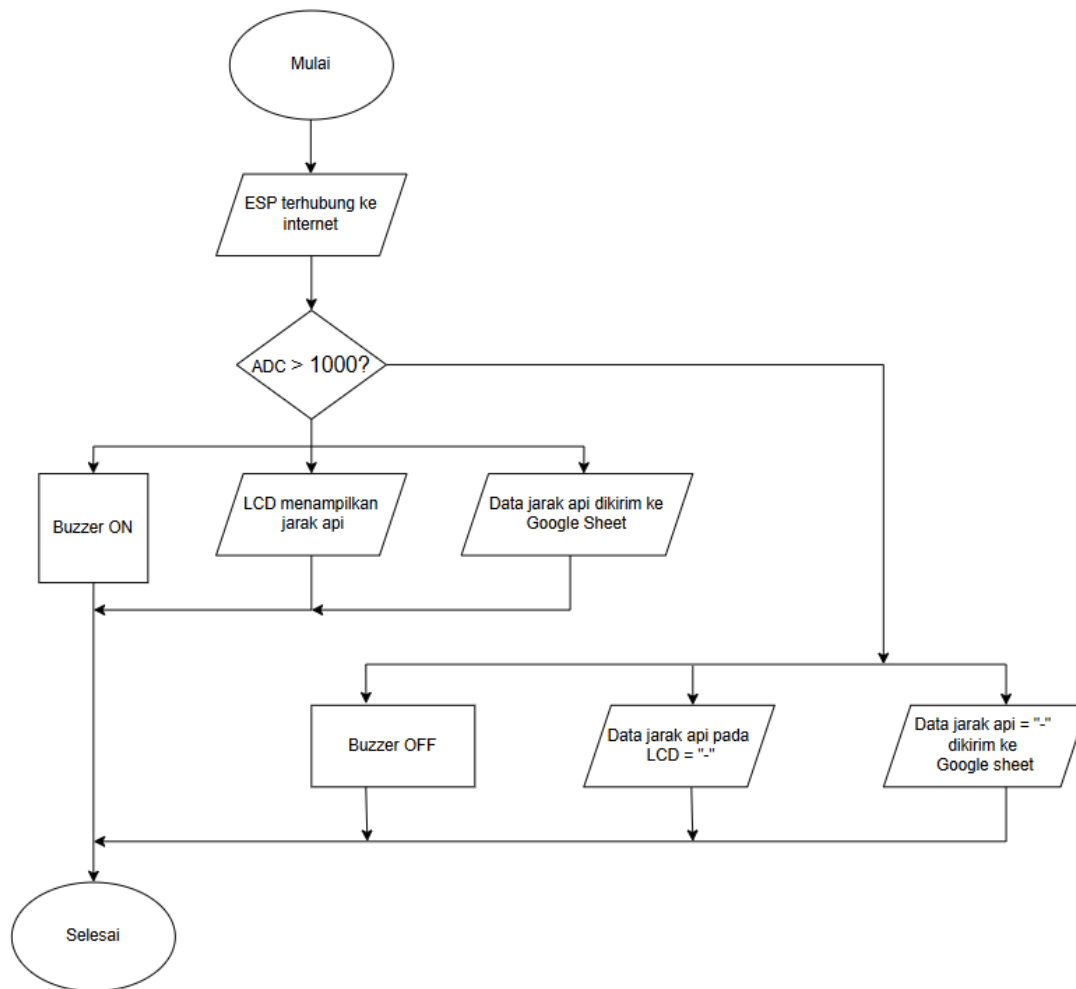
Gambar 3. Enclosure untuk penempatan komponen pada prototipe yang terdiri dari 2 kotak di bagian atas dan bawah



Gambar 4. Tampilan di dalam kotak enclosure bagian atas yang terdiri dari komponen sensor api, rangkaian transistor, dan modul ADC HX711

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Arduino IDE untuk melakukan akuisisi data sensor, pemrosesan sinyal, deteksi adanya api, estimasi jarak api terhadap sensor, serta transmisi data ke Google Spreadsheet. **Gambar 5** menunjukkan diagram alir dari program yang diunggah pada modul ESP32. Nilai ambang batas pembacaan ADC menjadi parameter penting untuk menentukan adanya api dan menjadi pertimbangan utama terkait operasi berikutnya yang meliputi pengaturan *buzzer* akan berbunyi atau tidak berbunyi, tampilan data status dan jarak api pada LCD, dan tampilan status dan jarak api pada Google Spreadsheet.

Alur kerja sistem dimulai dari deteksi radiasi inframerah oleh sensor yang dipancarkan oleh sumber api. Sinyal analog yang dihasilkan diperkuat oleh rangkaian transistor dan dikonversi menjadi data digital oleh modul ADC, kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan keberadaan api dan mengestimasi jarak api terhadap sensor berdasarkan karakteristik nilai ADC. Selanjutnya, data dikirimkan secara real-time ke Google Spreadsheet. Pada kondisi terdeteksi api, sistem juga mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan lokal. Proses ini berlangsung secara kontinu dalam siklus pembacaan data.



Gambar 5. Diagram alir program yang diunggah pada modul ESP32 melalui perangkat lunak Arduino IDE

Pengujian sistem dilakukan dengan pendekatan variasi jarak api dan kondisi pencahayaan. Sumber api berupa lilin ditempatkan pada rentang jarak 10 cm hingga 250 cm terhadap sensor dengan kelipatan nilai titik uji 10 cm. Pengujian dilakukan pada dua kondisi lingkungan, yaitu pencahayaan 0 lux (lampu ruangan padam) dan 20 lux (lampu ruangan menyala) untuk mengevaluasi pengaruh intensitas cahaya lingkungan terhadap kinerja sensor. Pengambilan data masing-masing 30 nilai ADC dilakukan dengan mempertahankan jarak sensor terhadap api pada satu jarak titik uji kemudian mencatat 30 nilai ADC yang ditampilkan di Serial Monitor Arduino IDE setiap 500 ms. Evaluasi kinerja dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran jarak api terhadap standar ukuran panjang berupa mistar baja. Parameter evaluasi meliputi kemampuan deteksi api berdasarkan nilai ambang batas pembacaan ADC dan tingkat kesalahan pengukuran jarak api. Nilai kesalahan dihitung sebagai selisih antara hasil pengukuran jarak api pada sistem dan nilai referensi yang kemudian dianalisis untuk menentukan akurasi dan batas operasional sistem. **Gambar 6** menunjukkan instalasi uji fungsi prototipe dalam mendeteksi dan mengukur jarak api terhadap sensor dengan standar ukuran panjang berupa mistar baja. **Gambar 7** menunjukkan data pada Google Spreadsheet yang ditampilkan di layar komputer.



Gambar 6. Instalasi untuk uji fungsi prototipe dalam mendeteksi dan mengukur jarak api terhadap sensor dengan standar ukuran panjang berupa mistar baja

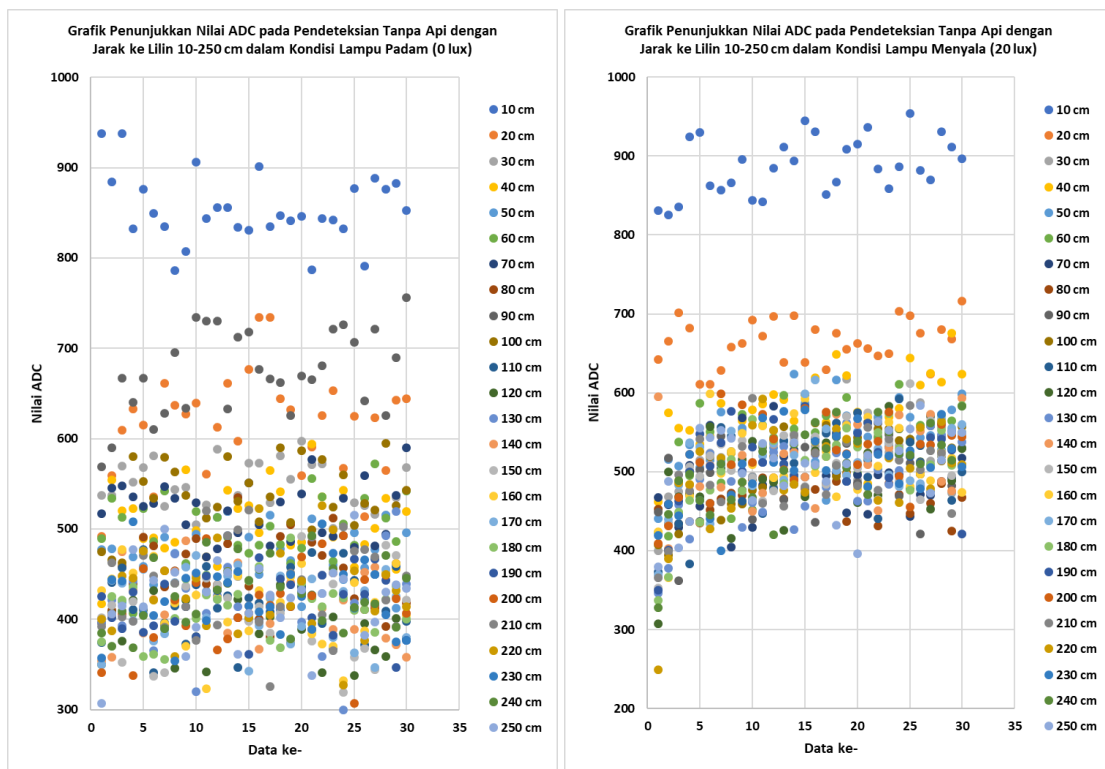
	A	B	C
	Form_Responses1		
1	Timestamp	Jarak Api (cm)	Buzzer (1 jika terdapat api)
2125	17/08/2025 21:36:00	74	1
2726	17/08/2025 21:35:30	81	1
2727	17/08/2025 21:33:58	92	1
2728	17/08/2025 21:33:46	95	1
2729	17/08/2025 21:33:38	94	1
2730	17/08/2025 21:33:16	99	1
2731	17/08/2025 21:32:10	98	1
2732	17/08/2025 21:31:52	101	1
2733	17/08/2025 21:31:34	100	1
2734	17/08/2025 21:31:19	104	1
2735	17/08/2025 21:31:04	105	1
2736	17/08/2025 21:30:45	105	1
2737	17/08/2025 21:29:33	-	0
2738	14/08/2025 23:24:36	-	0
2739	14/08/2025 23:21:07	75	1
2740	14/08/2025 23:19:25	38	1
2741	14/08/2025 23:19:00	43	1
2742	14/08/2025 23:18:41	44	1
2743	14/08/2025 23:18:33	45	1
2744	14/08/2025 23:18:22	40	1

Gambar 7. Tampilan data pada Google Spreadsheet yang terdiri dari status adanya api dan jarak api

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe deteksi dan monitoring jarak api berbasis sensor inframerah berhasil direalisasikan dan diuji melalui serangkaian pengujian karakteristik sensor, validasi jarak, serta uji fungsi sistem secara keseluruhan. Data hasil pengujian telah diolah dalam bentuk grafik untuk mendukung analisis serta interpretasi hasil.

Pada tahap awal, Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa api untuk memperoleh *baseline* sistem. Berdasarkan **Gambar 8**, dengan intensitas pencahayaan ruangan 0 lux (lampu ruangan padam) dan 20 lux (lampu ruangan menyala), semua nilai ADC berada di bawah nilai 1000. Variasi jarak sensor prototipe ke lilin pada rentang 10-250 cm hanya menghasilkan variasi atau persebaran data ADC antara 100 dan 1000.

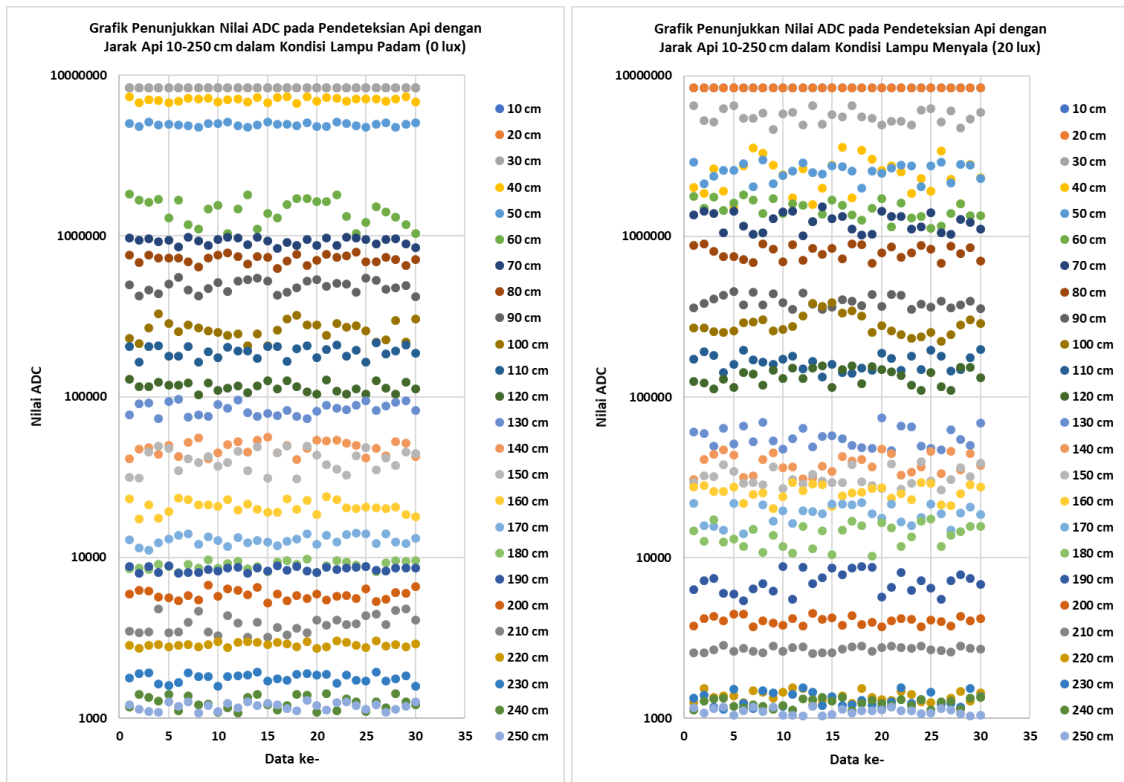


Gambar 8. Pembacaan nilai ADC pada kondisi tanpa api dengan jarak sensor ke lilin 10 cm sampai 250 cm dalam kondisi lampu padam (0 lux) dan lampu menyala (20 lux)

Pengujian dilanjutkan pada kondisi dengan api. Berdasarkan **Gambar 9**, dengan intensitas pencahayaan ruangan 0 lux (lampu ruangan padam) dan 20 lux (lampu ruangan menyala), semua nilai ADC berada di atas nilai 1000. Pada pengujian dengan api, Variasi jarak sensor prototipe ke sumber api atau lilin yang menyala pada rentang 10-250 cm menghasilkan variasi atau persebaran data ADC antara 1000 dan 10.000.000. Berdasarkan perbandingan antara kondisi dengan dan tanpa api, nilai ambang ADC sebesar 1000 ditetapkan sebagai batas deteksi. Nilai tersebut dapat membedakan kondisi ada dan tidak adanya api pada 2 kondisi pencahayaan ruangan di penelitian ini.

Hasil pengujian nilai ADC saat terdapat api pada kondisi lampu ruangan padam dan menyala digunakan untuk menghasilkan persamaan yang dapat mengonversi pembacaan ADC ke jarak api dalam cm. Masing-masing 30 data ADC untuk satu jarak api pada **Gambar 9** dirata-

ratakan Nilai rata-rata yang didapat saat terdapat api kemudian di-plot berdasarkan jarak api sehingga menghasilkan grafik dan persamaan karakteristik pada **Gambar 10**. Hubungan antara nilai ADC dan jarak api dimodelkan menggunakan regresi logaritmik $y = -24,46 \ln(x) + 409,05$ dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,9949$. Pemilihan regresi non-linier berdasarkan grafik hubungan antara nilai ADC dan jarak api pada penelitian sebelumnya [16]. Beberapa regresi non-linier adalah regresi bilangan berpangkat, eksponensial, dan logaritmik. Penggunaan regresi logaritmik menghasilkan nilai R^2 yang paling tinggi.



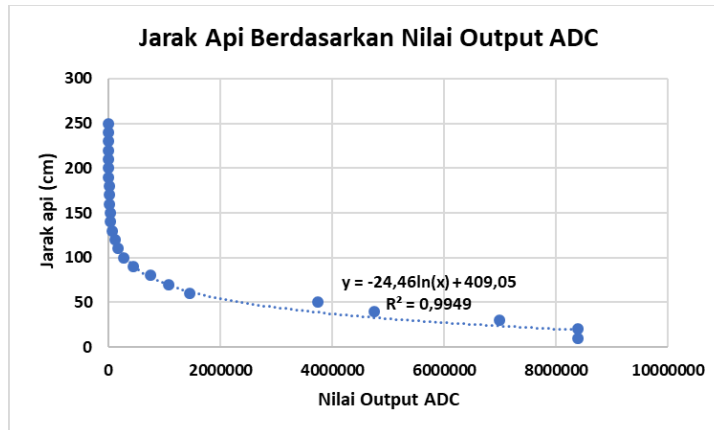
Gambar 9. Pembacaan nilai ADC dengan jarak sensor ke api 10 cm sampai 250 cm dalam kondisi lampu padam (0 lux) dan lampu menyala (20 lux)

Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam merepresentasikan hubungan antara nilai ADC dan jarak api. Model ini kemudian diimplementasikan ke dalam sistem. Persamaan regresi logaritmik selanjutnya digunakan di dalam program modul ESP32 untuk mengonversi nilai ADC menjadi jarak api ke sensor.

Saat nilai ADC lebih besar dari 1000, prototipe mendeteksi adanya api dan akan menjalankan 3 operasi yaitu membunyikan buzzer, menampilkan jarak api pada LCD, dan mengirimkan jarak api ke Google Sheets. Saat nilai $ADC \leq 1000$, prototipe tidak mendeteksi adanya api sehingga buzzer tidak berbunyi dan data jarak api pada LCD dan Google Sheet ditampilkan "-". Hal tersebut berdasarkan diagram alir program ESP32 pada **Gambar 5**.

Kemudian prototipe diuji kembali pada pengukuran jarak api yang hasilnya dibandingkan dengan penggaris atau mistar baja berdasarkan instalasi pada **Gambar 6**. **Tabel 1** menunjukkan hasil pembacaan jarak api menggunakan prototipe dari jarak 10 cm sampai 250 cm dalam keadaan lampu padam (intensitas cahaya rata-rata di ruangan 0 lux). Pada pengukuran jarak api kurang dari 60 cm dapat menghasilkan kesalahan pengukuran absolut di atas 30% bahkan hingga 90%. **Tabel 2** menunjukkan hasil pembacaan jarak api menggunakan prototipe dari jarak 10 cm sampai

250 cm dalam keadaan lampu menyala (intensitas cahaya rata-rata di ruangan 20 lux). Pada pengukuran jarak api kurang dari 50 cm dapat menghasilkan kesalahan pengukuran absolut di atas 20% bahkan hingga 90%.



Gambar 10. Grafik persamaan karakteristik jarak api berdasarkan nilai pembacaan ADC dengan pendekatan menggunakan regresi logaritmik

Tabel 1. Hasil pengujian prototipe pada pengukuran jarak api dalam kondisi lampu padam dengan intensitas cahaya rata-rata di ruangan 0 lux

No.	Jarak api berdasarkan penunjukkan mistar baja (jarak referensi) dalam cm	Jarak api rata-rata berdasarkan 30 data penunjukkan prototipe dalam cm	Kesalahan rata-rata penunjukkan prototipe (%)
1	10	19	90
2	20	19	-5
3	30	19	-37
4	40	23	-43
5	50	32	-36
6	60	63	5
7	70	73	4
8	80	79	-1
9	90	89	-1
10	100	104	4
11	110	111	1
12	120	124	3
13	130	132	2
14	140	145	4
15	150	150	0
16	160	166	4
17	170	178	5
18	180	186	3
19	190	188	-1
20	200	197	-2
21	210	207	-1
22	220	214	-3
23	230	226	-2
24	240	235	-2
25	250	236	-6

Tabel 2. Hasil pengujian prototipe pada pengukuran jarak api dalam kondisi lampu menyala dengan intensitas cahaya rata-rata di ruangan 20 lux

No.	Jarak api berdasarkan penunjukkan mistar baja (jarak referensi) dalam cm	Jarak api rata-rata berdasarkan 30 data penunjukkan prototipe dalam cm	Kesalahan rata-rata penunjukkan prototipe (%)
1	10	19	90
2	20	19	-5
3	30	29	-3
4	40	50	25
5	50	48	-4
6	60	62	3
7	70	66	-6
8	80	76	-5
9	90	94	4
10	100	102	2
11	110	115	5
12	120	120	0
13	130	142	9
14	140	151	8
15	150	156	4
16	160	161	1
17	170	169	-1
18	180	176	-2
19	190	192	1
20	200	206	3
21	210	216	3
22	220	232	5
23	230	233	1
24	240	235	-2
25	250	238	-5

Berdasarkan hasil tersebut, sistem mampu mendeteksi api hingga jarak maksimum 250 cm pada kondisi lampu padam maupun menyala. Namun demikian, ditemukan bahwa kesalahan pengukuran terbesar terjadi pada jarak api yang sangat dekat, yaitu pada rentang 10 cm hingga 50 cm. Hal ini disebabkan oleh fenomena saturasi sensor akibat intensitas radiasi inframerah yang terlalu tinggi. Sebaliknya, pada jarak 60 cm hingga 250 cm, sistem menunjukkan performa yang lebih stabil dengan tingkat kesalahan absolut maksimum sebesar 9%.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi keberadaan api dan mengukur jaraknya secara *real-time*. Keunggulan sistem ini juga terletak pada kemampuannya dalam membedakan nyala api dari cahaya lingkungan, serta integrasi dengan sistem monitoring berbasis IoT. Namun demikian, keterbatasan masih terdapat pada akurasi pengukuran jarak dekat, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut, seperti penggunaan sensor dengan rentang dinamis yang lebih luas atau metode kalibrasi tambahan untuk meningkatkan performa sistem.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah merealisasikan prototipe sistem deteksi dan pengukuran jarak api berbasis sensor inframerah YG1006 yang terintegrasi dengan teknologi IoT. Sistem mampu mendeteksi keberadaan api dengan menggunakan ambang nilai ADC sebesar 1000 serta mengukur jarak api hingga 250 cm. Hubungan antara nilai ADC dan jarak api dimodelkan

menggunakan regresi logaritmik $y = -24,46 \ln(x) + 409,05$ dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,9949$. Hasil pengukuran jarak api menunjukkan bahwa sistem memiliki kesalahan penunjukan absolut maksimal sebesar 9% pada rentang jarak 60 cm hingga 250 cm, sementara pada jarak kurang dari 60 cm, terjadi penurunan akurasi akibat saturasi sensor. Selain itu, sistem mampu melakukan monitoring secara *real-time* melalui platform *Google Spreadsheet*, sehingga mendukung pemantauan jarak jauh.

Sebagai pengembangan lebih lanjut, penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan sensor dengan rentang dinamis yang lebih luas atau penggunaan metode kalibrasi tambahan guna meningkatkan akurasi pada jarak dekat, serta mengintegrasikan sistem dengan aktuator pemadam untuk mendukung implementasi pada sistem pemadam api otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Ren, K. Qu, J. Guo, H. Yin, dan B. Huang, "Research on accurate fire source localization and seconds-level autonomous fire extinguishing technology," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, hlm. 17135, 2025.
- [2] L. Kong, J. Li, S. Guo, X. Zhou, dan D. Wu, "Computer vision based early fire-detection and firefighting mobile robots oriented for onsite construction," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 30, no. 8, hlm. 720–737, 2024.
- [3] H. Zheng, Y. Li, S. Deng, Y. Wang, H. Chen, dan Q. Zhao, "A lightweight two-step small-scale fire detection method based on FireYOLO and Real-ESRGAN," *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 6, hlm. 1134942, 2023.
- [4] M. A. Khan, M. A. Khan, S. Ahmed, M. A. Alqarni, M. A. Khan, dan S. Kadry, "An enhanced YOLOv7 deep learning model for forest fire smoke detection using unmanned aerial vehicle images," *Sensors*, vol. 23, no. 13, hlm. 5702, 2023.
- [5] B. Özel, M. S. Alam, dan M. U. Khan, "Review of modern forest fire detection techniques: Innovations in image processing and deep learning," *Information*, vol. 15, no. 9, 2024.
- [6] W. Dang, Z. Li, dan Y. Yuan, "Research on High Precision Fire Detection and Location Method in Traffic Tunnel," *Proceedings of the 4th International Conference on Computer, Internet of Things and Control Engineering (CITCE 2024)*, hlm. 107-113, 2024.
- [7] M. Mugnai, M. Teppati Losè, M. Satler, dan C. A. Avizzano, "Towards autonomous firefighting UAVs: Online planners for obstacle avoidance and payload delivery," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 110, no. 10, 2024.
- [8] I. El-Madafri, M. Peña, and N. Olmedo-Torre, "Dual-Dataset Deep Learning for Improved Forest Fire Detection: A Novel Hierarchical Domain-Adaptive Learning Approach," *Mathematics*, vol. 12, no. 4, hlm. 534, 2024.
- [9] Z. Yan, L. Wang, K. Qin, F. Zhou, J. Ouyang, T. Wang, X. Hou, and L. Bu, "Unsupervised Domain Adaptation for Forest Fire Recognition Using Transferable Knowledge from Public Datasets," *Forests*, vol. 14, no. 1, hlm. 52, 2023.
- [10] G. G. Salindeho and T. Wellem, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pendeteksi dan Peringatan Kebakaran Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP8266 dan Sensor Api," *IT-EXPLORE: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 2, no. 3, hlm. 179–191, 2023.
- [11] M. Chairman, S. Priyatharsini, M. Bhuvanawari, C. Nandhakumar, dan S. Gopinath, "Autonomous Firefighting Robot for Detection and Prevention," *International Research Journal of Multidisciplinary Scope (IRJMS)*, vol. 5, no. 3, hlm. 969–976, 2024.
- [12] R. Nandika, A. Pudín, and P. Gunoto, "Perancangan Robot Beroda Pemadam Api dengan Sensor Ultrasonik HC-SR04 dan Flame Sensor 5 Channel Berbasis Arduino Uno," *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 2, hlm. 389–398, Nov. 2023.

-
- [13] R. Watiasih and P. D. Pradana, "Penerapan Metode Fuzzy Q-Learning Pada Robot Berkaki Enam Pemadam Api Dalam Pencarian Jalur Tercepat Menuju Titik Api," Seminar Nasional Rekayasa, Sains dan Teknologi, vol. 3, no. 1, hlm. 192–200, 2023.
- [14] M. M. Alenesta, D. P. N. Wendhi, W. Yuniarto, E. Mardianto, M. R. Sufandi, and A. Riyanto, "Design and Development of Directional Fire Extinguisher Prototype Using Thermal Camera MLX90640 based ESP32," in Proceedings of the International Conference on Applied Electrical, Electronics, and Informatics, 2025.
- [15] R. K. Sharma, P. Singh, dan A. Verma, "Enhancing fire detection technology: A UV-based system," International Journal of Advanced Research in Science and Engineering, vol. 12, no. 4, hlm. 245–252, 2023.
- [16] C. M. Chairman, S. Priyatharsini, M. Bhuvanewari, C. Nandhakumar, and S. Gopinath, "Autonomous Firefighting Robot for Detection and Prevention," International Research Journal of Multidisciplinary Scope, vol. 5, no. 3, hlm. 969–976, 2024.
- [17] B. Bharadwaj, A. M. S. Anagha, K. B. M. Kiran, P. M. Nuchchi, dan S. P. Sahana, "Earlier detection of forest fire using IoT," International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 10, no. 4, hlm. 1708–1711, 2023.