

Prototype Sistem Deteksi dan Pemadaman Kebakaran Dini Indoor Berbasis ESP32 dengan Notifikasi Telegram

Fajar Wahyu Hanafi^{1*}, Galih Ragasiwi², Daffa Ebtra Satria³

¹Teknik Informatika

Universitas Duta Bangsa Surakarta

^{1*}220103057@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika

Universitas Duta Bangsa Surakarta

²220103059@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika

Universitas Duta Bangsa Surakarta

³220103052@mhs.udb.ac.id

Abstrak— Kebakaran merupakan bencana yang dapat menyebabkan kerugian finansial, kerusakan lingkungan, serta mengancam keselamatan manusia. Salah satu penyebab utama kebakaran adalah korsleting listrik, khususnya di kawasan perkotaan padat penduduk. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem deteksi dan pemadaman kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memberikan peringatan dini melalui buzzer dan notifikasi Telegram. Sistem dirancang menggunakan metode ADDIE, dengan memanfaatkan sensor api (LM393), sensor asap (MQ-7), dan sensor suhu (DHT22) yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi asap dengan konsentrasi di atas 100 ppm, api pada jarak maksimum 65 cm, serta peningkatan suhu di atas 35°C dengan waktu respons rata-rata 2–3 detik. Selain itu, Untuk mendukung operasional saat terjadi pemadaman listrik, sistem dilengkapi dengan empat baterai lithium 3,7V 1500 mAh yang dirangkai paralel, sehingga mampu bertahan hingga ±12 jam dalam kondisi siaga dan ±5 jam dalam kondisi pemadaman aktif. Sistem ini terbukti efektif dalam memberikan peringatan dini dan menjalankan respons otomatis, sehingga dapat meminimalkan risiko kebakaran pada area indoor berskala kecil secara cepat, mandiri, dan efisien.

Kata kunci— Deteksi Kebakaran, IoT, ESP32, Pemadam Otomatis, Telegram.

Abstract— Fire is a disaster that can cause financial loss, environmental damage, and threaten human safety. One of the main causes of fire is electrical short circuit, especially in densely populated urban areas. This research aims to develop a prototype of an Internet of Things (IoT)-based fire detection and suppression system capable of providing early warning through buzzers and Telegram notifications. The system is designed using the ADDIE method, utilizing a fire sensor (LM393), smoke sensor (MQ-7), and temperature sensor (DHT22) integrated with an ESP32 microcontroller. The test results show that the system is able to detect smoke with concentrations above 100 ppm, fire at a maximum distance of 65 cm, and an increase in temperature above 35°C with an average response time of 2-3 seconds. In addition, to support operations during a power outage, the system is equipped with four 3.7V 1500 mAh lithium batteries arranged in parallel, so that it can last up to ±12 hours in standby conditions and ±5 hours in active blackout conditions. The system is proven to be effective in providing early warning and executing automatic response, so as to minimize the risk of fire in small-scale indoor areas quickly, independently, and efficiently.

Keywords— Fire Detection, IoT, ESP32, Automatic Extinguisher, Telegram.

I. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu peristiwa terjadinya api yang tidak terkendali atau berada di luar kendali dan keinginan manusia. Insiden kebakaran ini juga merupakan bencana yang memerlukan perhatian khusus guna mengurangi atau menghilangkan dampak dari kejadian tersebut, karena berpotensi menimbulkan kerugian besar baik secara material maupun emosional [1]. Kebakaran umumnya dipicu oleh berbagai faktor seperti gangguan arus listrik, kebocoran gas, serta unsur kelalaian manusia. Secara geografis, kawasan perkotaan yang memiliki tingkat kepadatan penduduk tinggi cenderung lebih rawan terhadap insiden kebakaran akibat

keterbatasan ruang, kompleksitas tata bangunan, dan tingginya aktivitas manusia [2][3]. Menurut data dari Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2023 telah tercatat sebanyak 2.286 kejadian kebakaran di wilayah DKI Jakarta dengan 637 diantaranya melibatkan bangunan perumahan. Faktor penyebab kebakaran yang paling dominan adalah korsleting listrik, yang menyumbang 1.216 kejadian [4]. Untuk mencegah ataupun mengurangi potensi dampak kebakaran di masa mendatang, diperlukan sebuah perencanaan program mitigasi dan peningkatan kesiapsiagaan terhadap bencana kebakaran dengan tujuan untuk mengurangi risiko bahaya khususnya pada populasi yang

rentan [5]. Salah satu komponen penting dalam upaya kesiapsiagaan adalah sistem peringatan dini (*early warning system*), yang berfungsi sebagai instrumen utama dalam mendeteksi dan merespon potensi bahaya secara cepat dan akurat. Sistem ini memungkinkan pemberitahuan dini terhadap kemungkinan terjadinya bencana, mempercepat proses evakuasi, serta dapat meminimalkan risiko kerugian dan dampak yang ditimbulkan. Salah satu pendekatan yang efektif untuk sistem peringatan dini ini yaitu dengan melalui pemanfaatan teknologi seperti Internet of Things (IoT), yang memungkinkan untuk melakukan pemantauan dan respons otomatis terhadap ancaman kebakaran secara real-time [6].

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah sistem teknologi yang memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet secara otomatis dan real-time. Dengan memanfaatkan sensor, aktuator, dan protokol komunikasi, sistem IoT dapat mengumpulkan, mengolah, dan mengirimkan data tanpa campur tangan manusia secara langsung. Dalam bidang mitigasi bencana, IoT memiliki peran penting untuk mendukung sistem pemantauan lingkungan dan deteksi dini terhadap ancaman yang responsif serta meningkatkan kecepatan dan akurasi deteksi ancaman untuk pengambilan keputusan yang lebih tepat berbasis data [7]. Penerapan teknologi IoT dalam sistem kebakaran merupakan solusi inovatif yang mengintegrasikan berbagai sensor seperti sensor suhu, sensor gas, dan sensor api dengan mikrokontroler seperti arduino atau ESP. Data yang dikumpulkan dari sensor-sensor tersebut dapat dimanfaatkan untuk monitoring jarak jauh, pemberitahuan notifikasi otomatis kepada pengguna, ataupun memberikan respon secara langsung terhadap potensi kebakaran yang lebih cepat dan efisien sehingga dapat meminimalisir kerugian [8].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem deteksi kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan berbagai pendekatan. Penelitian oleh Frisca Tri

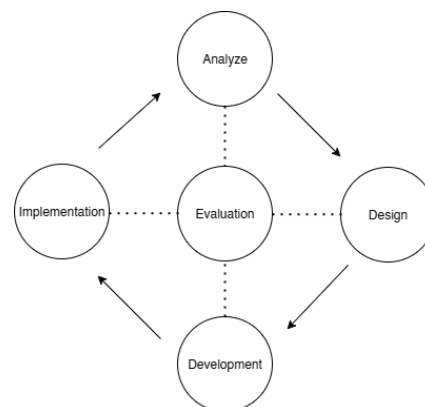
Arumsari et al. [9] telah merancang sistem deteksi kebakaran dengan menggunakan Wemos D1 R1 yang digabungkan dengan sensor api dan sensor MQ-2 dengan notifikasi Telegram serta pemadam otomatis. Meskipun sistem ini telah memiliki fitur pemadaman otomatis melalui mini water pump dan notifikasi melalui Telegram, namun belum memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang memiliki performa lebih baik dan hemat daya, serta belum adanya fitur untuk cadangan daya yang menjamin sistem tetap aktif saat kondisi darurat. Selanjutnya, penelitian Gabriel Gracia Salindeho dan Theophilus Wellem [10] telah merancang sistem peringatan kebakaran menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor api inframerah, serta memanfaatkan platform Thingier.io untuk mengirimkan notifikasi melalui email dan Telegram. Sistem ini mampu mendeteksi api hingga jarak 50 cm, namun tidak dilengkapi dengan mekanisme pemadaman otomatis maupun sistem cadangan daya. Sementara itu, penelitian oleh Akbar Nuryadin et al. [11] telah merancang sistem deteksi kebakaran menggunakan sensor MQ-2 dan flame sensor yang dikendalikan melalui mikrokontroler ESP8266 yang terintegrasi dengan platform Thingspeak untuk pemantauan real-time. Sistem yang telah dirancang ini mampu mengaktifkan buzzer sebagai peringatan dan pompa air ketika terdeteksi adanya api atau asap. Meskipun demikian, sistem ini belum memiliki fitur notifikasi instan yang dikirimkan ke pengguna seperti Telegram, dan belum dilengkapi dengan mekanisme sumber daya cadangan, yang membuatnya berisiko tidak berfungsi saat terjadi pemadaman listrik.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diidentifikasi sejumlah kekurangan dari penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi landasan pengembangan sistem dalam penelitian ini. Penelitian ini mengadopsi metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan model ADDIE, dan menawarkan solusi yang lebih komprehensif. Sistem yang dirancang memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dengan integrasi

notifikasi real-time melalui Telegram, mekanisme pemadam otomatis, serta sumber daya cadangan berupa battery lithium rechargeable yang dilengkapi modul BMS, guna memastikan sistem tetap beroperasi saat terjadi pemadaman listrik dalam kondisi kebakaran. Melalui pendekatan ini, sistem diharapkan mampu melakukan deteksi dini secara andal, memberikan respon otomatis secara real-time, serta tetap berfungsi secara optimal dalam situasi darurat di lingkungan nyata.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)* untuk merancang dan mengembangkan prototipe sistem deteksi dan pemadaman kebakaran dini indoor berbasis ESP32 dengan notifikasi melalui Telegram. Metode R&D merupakan pendekatan penelitian yang memiliki tujuan untuk mengembangkan suatu produk tertentu serta menguji tingkat efektivitas dan efisiensinya dalam implementasi di lapangan [12]. Selain itu, untuk mendukung tahapan pengembangan agar berjalan secara sistematis, penelitian ini mengadopsi model *ADDIE (Analyze, Design, Development, Implementation, Evaluation)* sebagai kerangka kerja pengembangan. Model ADDIE dipilih karena memiliki struktur tahapan yang sistematis, dimulai dari proses analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan perangkat, implementasi, hingga tahap evaluasi, sehingga dapat mempermudah dalam mengelola keseluruhan proses desain serta memvalidasi fungsionalitas sistem secara bertahap [13]. Melalui pendekatan ini, setiap langkah pengembangan prototipe dapat dilakukan secara terstruktur dan dapat memberikan ruang untuk perbaikan berkelanjutan berdasarkan hasil implementasi dan evaluasi sistem secara menyeluruh. Adapun tahapan dari model ADDIE ini ditampilkan pada Gambar 2.1 berikut,



Gambar 2.1 Metode R&D dengan Model ADDIE

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menyajikan pembahasan yang diawali dengan analisis kebutuhan sistem, kemudian dilanjutkan dengan desain perangkat keras dan perangkat lunak, serta penerapan alat secara keseluruhan. Pengujian dilakukan secara menyeluruh untuk menilai kinerja sensor, respons sistem, dan daya tahan baterai dalam berbagai situasi kebakaran. Bagian ini menyajikan gambaran menyeluruh mengenai hasil penelitian dan perannya dalam upaya mengurangi risiko kebakaran di area dalam rumah menggunakan tahapan metode yang teratur.

3.1 *Analyze (Analisa Kebutuhan)*

Pada tahapan ini berfokus pada identifikasi permasalahan sistem yang akan dirancang dengan mengumpulkan informasi melalui studi pustaka, observasi sederhana, serta diskusi bersama tim. Analisa ini digunakan untuk menentukan spesifikasi fungsional sistem, baik dari sisi perangkat keras ataupun perangkat lunak. Berikut merupakan alat yang akan digunakan untuk mengembangkan prototipe pendeteksi dan pemadam kebakaran berbasis IoT ini:

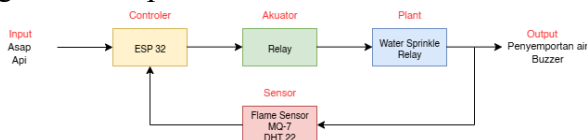
1. ESP32
2. Sensor Api LM393
3. Sensor Asap MQ-7
4. Sensor DHT 22
5. Passive Buzzer
6. Relay 1 channel
7. Pompa air mini
8. Baterai Lithium 18650
9. Modul BMS

10. Arduino IDE

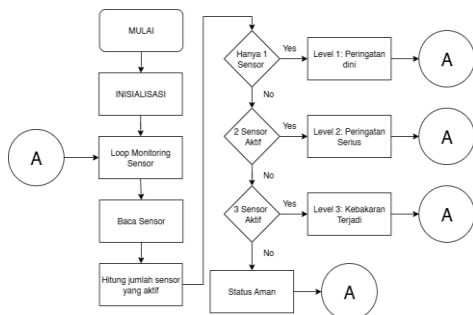
11. Telegram Bot API

3.2 Design (Perancangan Alat)

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem secara konseptual dan teknis, meliputi skema blok sistem dan alur kerja sistem. Komponen sistem dibagi dalam enam bagian utama: input, controller, sensor, aktuator, plant, dan output. Diagram blok sistem digambarkan pada Gambar 3.1 dan Flowchart sistem digambarkan pada Gambar 3.2



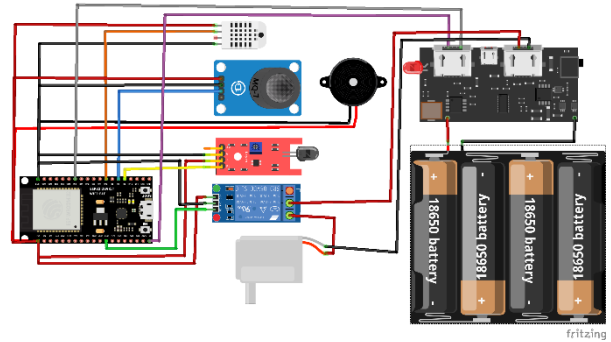
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3.2 Flowchart Sistem

3.2.1 Perancangan Perangkat Keras

Desain perangkat keras merupakan langkah penting dalam proses pengembangan prototipe sistem deteksi dan pemadaman kebakaran dini di dalam ruangan yang berbasis ESP32. Pada langkah ini, elemen-elemen utama disusun dengan cara yang teratur untuk menghasilkan suatu sistem yang terpadu. Perancangan perangkat keras meliputi pemilihan bagian-bagian, perancangan sirkuit, dan pengaturan komponen untuk memastikan sistem dapat beroperasi dengan baik. Berikut adalah desain rangkaian sistem yang telah dirancang:



Gambar 3.3 Desain Rangkaian sistem

Rangkaian sistem di atas menunjukkan keterkaitan antara elemen-elemen utama. ESP32 dihubungkan dengan ketiga sensor (LM393, MQ-7, dan DHT22) melalui pin input/output yang tepat. Output dari sensor akan diproses oleh ESP32, dan apabila terdeteksi adanya kebakaran, mikrokontroler akan mengaktifkan relay untuk menghidupkan pompa air serta mengirimkan pemberitahuan melalui Telegram. Selain itu, alarm akan berbunyi sebagai tanda peringatan setempat. Sumber daya sistem ditopang oleh baterai lithium yang disusun secara paralel guna meningkatkan kapasitas dan ketahanan. Modul BMS (Sistem Manajemen Baterai) berfungsi untuk mengontrol proses pengisian dan pengeluaran daya baterai, serta menjamin kestabilan dalam penyediaan energi. Dengan rancangan ini, sistem dapat berfungsi secara independen, bahkan di saat terjadi pemadaman listrik, sehingga tetap efisien dalam keadaan darurat.

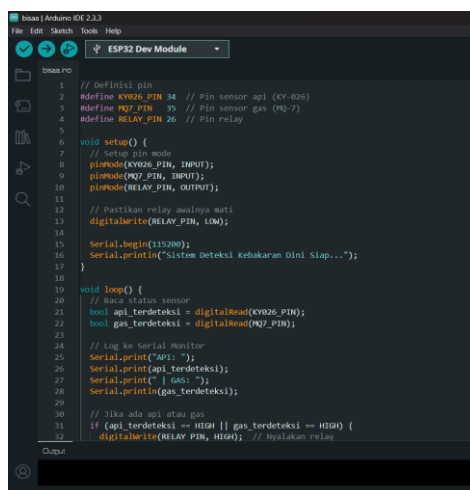
Sistem yang telah dirancang telah dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik dan saling terintegrasi dengan harmonis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat dengan cepat dan tepat merespons keadaan kebakaran, sejalan dengan tujuan penelitian.

3.2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini untuk memfasilitasi pengoperasian sistem deteksi dan pemadaman kebakaran yang otomatis dan terintegrasi. Perangkat lunak ini bertanggung jawab untuk membaca data dari sensor, memproses data,

membuat keputusan logis, serta mengaktifkan aktuator seperti pompa air secara otomatis. Pengembangan sistem dilakukan menggunakan platform pemrograman Arduino IDE, software yang memungkinkan pemrograman mikrokontroler ESP32 dengan efisien.

Arduino IDE adalah platform pemrograman yang digunakan untuk mengembangkan dan mengunggah kode program ke mikrokontroler ESP32. Pada penelitian ini, Arduino IDE digunakan untuk membangun sistem yang mampu membaca data dari sensor, memproses informasi, serta mengaktifkan aktuator secara otomatis sesuai kondisi yang terdeteksi. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C/C++, ditambah dengan dukungan library tambahan untuk konektivitas dan pemrosesan data sensor. Tampilan Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 3.4



```

1 // definisi pin
2 #define KY026_PIN 34 // Pin sensor api (KY-026)
3 #define MQ7_PIN 35 // Pin sensor gas (MQ-7)
4 #define RELAY_PIN 26 // Pin relay
5
6 void setup() {
7   // setup pin mode
8   pinMode(KY026_PIN, INPUT);
9   pinMode(MQ7_PIN, INPUT);
10  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
11
12  // Pastikan relay awalnya mati
13  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
14
15  Serial.begin(115200);
16  Serial.println("Sistem Deteksi Kebakaran Dini Siap...");
17 }
18
19 void loop() {
20   // baca status sensor
21   bool api_terdeteksi = digitalRead(KY026_PIN);
22   bool gas_terdeteksi = digitalRead(MQ7_PIN);
23
24   // log ke serial monitor
25   Serial.print("API: ");
26   Serial.print(api_terdeteksi);
27   Serial.print(" | GAS: ");
28   Serial.println(gas_terdeteksi);
29
30   // jika ada api atau gas
31   if (api_terdeteksi == HIGH || gas_terdeteksi == HIGH) {
32     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // nyalakan relay
  
```

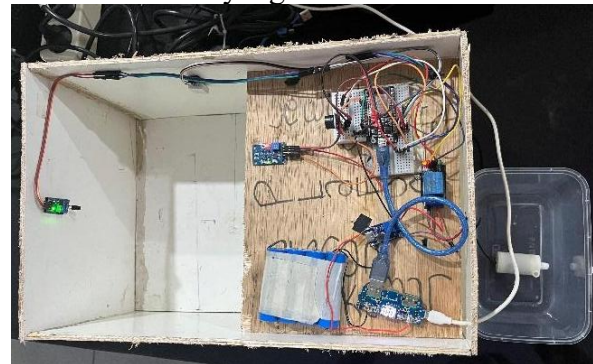
Gambar 3.4 Arduino IDE

3.3 Development (Pengembangan Alat)

Sistem yang telah dirancang berhasil diimplementasikan dalam bentuk prototipe yang terdiri dari beragam komponen elektronik yang saling terhubung. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai otak yang menerima dan memproses informasi dari sensor suhu LM35, sensor gas MQ-7, dan sensor api (flame sensor). Informasi dari sensor diproses secara langsung untuk mendeteksi adanya kondisi yang tidak biasa

seperti peningkatan suhu, hadirnya gas karbon monoksida, atau nyala api.

Saat sistem mengenali salah satu dari kondisi berbahaya tersebut, mikrokontroler akan mengaktifkan aktuator berupa modul penyemprot air sebagai langkah awal untuk memadamkan api. Selain itu, sistem ini juga dikembangkan untuk mengirimkan pemberitahuan secara otomatis kepada pengguna melalui internet sebagai bentuk peringatan awal. Gambar 3.5 menunjukkan keseluruhan alat yang telah dirakit.



Gambar 3.5 Hasil Alat

3.4 Implementation (Implementasi dan Pengujian)

Setelah tahap perancangan dan pengembangan prototipe selesai, langkah selanjutnya adalah penerapan serta pengujian sistem secara menyeluruh. Tahapan ini memiliki tujuan untuk menilai efektivitas sistem deteksi dan pemadaman kebakaran dalam ruangan yang menggunakan ESP32 di berbagai kondisi lingkungan yang telah disimulasikan. Pengujian diarahkan pada setiap sensor yang digunakan, yaitu sensor asap (MQ-7), sensor api (LM393), dan sensor suhu dan kelembaban (DHT22), untuk memastikan ketepatan dan kecepatan respons sistem. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap mekanisme pemadam otomatis dan sistem notifikasi Telegram untuk mengevaluasi sejauh mana sistem ini efektif dalam memberikan peringatan dini serta tanggapan darurat secara langsung.

3.4.1 Pengujian Sensor Asap

Pengujian dilaksanakan dengan memberikan beberapa perlakuan pada lingkungan di sekitar sensor, yaitu dengan

mengubah-ubah kadar kepadatan asap (PPL) di dalam ruangan. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan batas minimum kepadatan asap yang dapat dideteksi oleh sensor MQ-7, serta mengukur waktu respon sensor dalam memberikan output mengenai keberadaan asap. Tabel 3.2 di bawah ini memperlihatkan hasil dari pengujian sensor asap dengan berbagai tingkat konsentrasi asap yang dihasilkan di dalam ruangan.

No	Kepadatan asap (PPL)	Output	Respon time (detik)
1	20	Tidak ada	-
2	25	Tidak ada	-
3	40	Tidak ada	-
4	60	Tidak ada	-
5	80	Tidak ada	-
6	99	Tidak ada	-
7	100	Asap terdeteksi	3
8	115	Asap terdeteksi	3
9	155	Asap terdeteksi	3

10	200	Asap terdeteksi	3
----	-----	-----------------	---

Tabel 3.2 Pengujian Sensor MQ-7

Dari data yang terdapat dalam tabel, terlihat bahwa sensor MQ-7 tidak memberikan respon keluaran jika konsentrasi asap dibawah 100 PPL. Pada uji coba yang ketujuh, ketika konsentrasi mencapai 100 PPL, sensor mulai memberikan sinyal dengan deteksi asap, dengan waktu respon yang sekitar 3 detik. Pengujian selanjutnya dengan konsentrasi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sensor terus-menerus mendeteksi asap dengan waktu respon yang konsisten, yaitu 3 detik. Ini menunjukkan bahwa tingkat minimum untuk deteksi asap oleh sensor MQ-7 dalam sistem ini adalah sekitar 100 PPL, di mana sensor mulai aktif memberikan sinyal deteksi api.

3.4.2 Pengujian Sensor Api

Pengujian dilakukan dengan menerapkan berbagai perlakuan pada lingkungan di sekitar sensor, termasuk dengan mengubah jarak antara nyala api dan sensor. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kapasitas sensor dalam mendeteksi adanya api dan seberapa cepat waktu yang diperlukan untuk memberikan output deteksi. Respon dari sensor diamati melalui indikator output serta durasi waktu yang ditampilkan pada monitor serial. Tabel 3.3 berikut ini menyajikan hasil pengujian sensor api terhadap beragam jarak nyala api.

No	Jarak api dengan sensor (cm)	Output	Respon time (detik)
1	5	Api terdeteksi	1
2	10	Api terdeteksi	2

3	20	Api terdeteksi	3
4	30	Api terdeteksi	3
5	40	Api terdeteksi	3
6	65	Api terdeteksi	4
7	70	Api tidak terdeteksi	-
8	80	Api tidak terdeteksi	-
9	90	Api tidak terdeteksi	-
10	100	Api tidak terdeteksi	-

Tabel 3.3 Pengujian Sensor Api

Berdasarkan tabel di atas, alat pendeteksi api mampu mengenali adanya nyala api dengan efektif hingga sejauh 65 cm, dan waktu reaksi bervariasi antara 1 hingga 4 detik tergantung pada sejauh mana jaraknya. Semakin besar jarak antara api dan alat, semakin lama waktu yang diperlukan untuk mendeteksi, hingga pada jarak 70 cm ke atas, alat sudah tidak dapat mendeteksi lagi. Deteksi tidak berhasil pada jarak 70 cm, 80 cm, 90 cm, dan 100 cm. Ini menunjukkan bahwa batas maksimal jangkauan alat pendeteksi api dalam sistem ini adalah sekitar 65 cm, setelah itu kemampuan sensor sudah tidak cukup untuk menangkap sinar inframerah dari nyala api.

3.4.3 Pengujian Sensor Suhu

Pengujian pada sensor DHT22 dilakukan untuk melihat bagaimana sensor bereaksi terhadap perubahan suhu dan kelembaban udara yang mirip dengan keadaan awal ketika terjadi kebakaran. Sensor tersebut mengalami perlakuan seperti terpapar panas dari solder atau api, serta kelembaban yang dihasilkan dari nafas dan uap. Hasil dari pengujian yang menunjukkan nilai suhu dan kelembaban dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

No	Perlakuan	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Output
1	Kondisi normal	30,4	79	-
2	Dipegang tangan (30 detik)	32,5	92,1	suhu dan kelembaban meningkat
3	Didekatkan ke es batu (5 cm)	29,5	80,5	suhu dan kelembaban berkurang sedikit
4	Ditiup napas	30	91	kelembaban meningkat
5	Didekatkan ke solder (10 cm)	34	60	suhu meningkat, kelembaban menurun
6	Didekatkan ke korek api (10cm)	35	80	suhu meningkat drastis

Tabel 3.4 Pengujian Sensor DHT22

Berdasarkan data yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa sensor DHT22 sangat responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan yang terjadi. Dalam keadaan biasa, sensor mencatat suhu sekitar 30,4°C dan kelembaban 79%.

Ketika sensor dipegang selama 30 detik, suhu naik menjadi 32,5°C dan kelembaban meningkat menjadi 92,1%, menunjukkan bahwa sensor ini sensitif terhadap panas tubuh serta kelembaban dari kulit manusia.

Saat sensor didekatkan dengan es batu, suhu turun menjadi 29,5°C dengan kelembaban yang sedikit meningkat. Percobaan hembusan napas menyebabkan peningkatan kelembaban karena uap air yang dibawa oleh udara napas. Sedangkan saat menggunakan solder pada jarak 10 cm, terjadi peningkatan suhu hingga 34°C dan penurunan kelembaban, karena udara yang lebih panas biasanya memiliki kelembaban yang lebih rendah. Perlakuan dengan menggunakan korek api dari jarak 10 cm menyebabkan suhu melonjak drastis menjadi 35°C, yang menunjukkan kemampuan sensor dalam mendeteksi peningkatan suhu akibat panas dari api.

3.4.4 Pompa dan Notifikasi Telegram

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kinerja dua komponen utama sistem, yaitu mekanisme pemadaman otomatis (pompa air) dan pengiriman notifikasi melalui Telegram. Tabel 3.5 merangkum hasil uji meliputi waktu aktivasi pompa, serta kecepatan dan ketepatan notifikasi saat kondisi darurat terdeteksi.

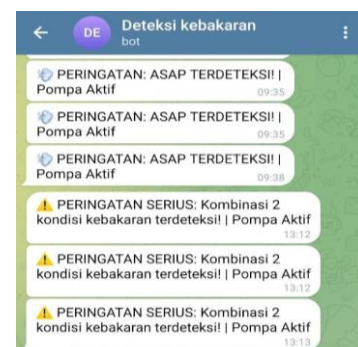
No	Kondisi Kebakaran	Waktu Aktivasi Pompa (detik)	Notifikasi Telegram
1	Api Terdeteksi Jarak 30 cm	3	Peringatan : Api Terdeteksi
2	Asap > 100 ppm	3	Peringatan : Asap Terdeteksi
3	Suhu > 35 celcius	-	-

4	Api Jarak 30 cm + Asap > 100 ppm	3	Peringatan Serious : Kombinasi 2 kondisi kebakaran terdeteksi!
5	Api + Asap > 100 ppm + suhu > 35 celsius	3	Kebakaran Terdeteksi
6	Kondisi Normal	-	-

Tabel 3.5 Pengujian Pompa dan Notifikasi Telegram

Berdasarkan hasil uji pada Tabel 3.5, menunjukkan bahwa sistem deteksi dan pemadaman kebakaran berbasis IoT menunjukkan kinerja yang konsisten dan waktu respons yang cepat. Dalam situasi darurat (no. 1-4), pompa aktif dalam waktu 3 detik setelah terdeteksi, sementara notifikasi dikirimkan sesuai jenis ancaman, seperti "Api Terdeteksi" atau "Suhu Tinggi". Uji kombinasi bahaya (no. 4 dan 5) menunjukkan kapasitas sistem untuk secara bersamaan mendeteksi api, asap, dan suhu tinggi, dengan notifikasi yang meningkat sesuai tingkat ancaman. Kondisi normal (no. 6) tidak memicu aktivasi pompa atau notifikasi, menunjukkan akurasi sistem. Respon 3 detik yang konsisten menegaskan algoritma ESP32 berfungsi optimal.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6, memperlihatkan proses notifikasi secara real-time yang mencakup peringatan asap hingga kebakaran, lengkap dengan status pompa. Hasil ini membuktikan bahwa sistem tidak hanya cepat dalam mengaktifkan aktuator, tetapi juga memberikan informasi yang jelas, sehingga meningkatkan kewaspadaan pengguna.



Gambar 3.6 Tampilan notifikasi di telegram

3.4.5 Pengujian Alat Keseluruhan

Pengujian menyeluruh pada tahap ini dilakukan untuk menilai kinerja sistem secara keseluruhan di berbagai situasi yang mungkin timbul di lapangan. Kami melaksanakan sejumlah pengujian yang mencakup simulasi keadaan kebakaran dengan berbagai parameter, termasuk kombinasi deteksi api, tingkat konsentrasi asap, dan perubahan suhu yang ekstrem. Pengujian ini tidak hanya menilai ketepatan deteksi sistem, tetapi juga mengevaluasi stabilitas operasional sepanjang periode pemantauan yang berkelanjutan. Dalam Tabel 3.6 yang ada di bawah ini, disajikan gambaran lengkap mengenai kemampuan sistem dalam menghadapi berbagai tantangan dalam situasi nyata serta mengidentifikasi bagian-bagian yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

No	Skenario Kondisi	Deteksi Sensor	Respon Sistem
1	Api + Asap Rendah	Api (50 cm), Asap 80 ppm	Pompa aktif, notifikasi "Api terdeteksi"
2	Asap Tinggi	Asap 150 ppm,	Pompa aktif, notifikasi "Asap terdeteksi"
3	Api + Asap + Suhu > 35°C	Api (20 cm), Asap 200 ppm, Suhu 39°C	Pompa aktif, notifikasi "Kebakaran terdeteksi"
4	Asap rendah	Asap 60 ppm	Tidak ada respons

Tabel 3.6 Pengujian Keseluruhan Rangkaian

Berdasarkan kajian pada Tabel 3.6, sistem deteksi kebakaran ini menunjukkan berbagai kemampuan dalam menanggapi berbagai situasi kebakaran. Pada situasi pertama di

mana terdeteksi adanya api pada jarak 50 cm dengan konsentrasi asap yang rendah (80 ppm), sistem berhasil mengaktifkan pompa dan mengirimkan notifikasi "Api terdeteksi" dengan akurat. Ini menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali sumber api sebagai bahaya utama meskipun konsentrasi asap belum mencapai tingkat kritis, sesuai dengan rancangan sistem yang menekankan pentingnya deteksi nyala api.

Dalam situasi dengan kadar asap yang tinggi (150 ppm) bersamaan dengan peningkatan suhu mencapai 40°C, sistem menunjukkan reaksi yang sesuai dengan mengaktifkan pompa dan mengeluarkan notifikasi "Asap tinggi". Temuan ini menampilkan respons sensor MQ-7 terhadap peningkatan jumlah partikel asap serta kemampuan sistem dalam menggabungkan informasi dari sensor suhu. Dalam situasi paling kritis yang melibatkan campuran api (20 cm), asap tebal (200 ppm), dan suhu tinggi (50°C), sistem dapat memberikan respons yang menyeluruh dengan pemberitahuan peringatan yang lebih lanjut, menunjukkan kemampuan algoritma dalam menilai beberapa parameter secara bersamaan.

Skenario keempat menunjukkan pembacaan asap sebesar 60 ppm. namun, sistem tidak memberikan respons, baik mengaktifkan pompa maupun notifikasi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi sesuai ambang batas yang ditetapkan, di mana tingkat asap di bawah 100 ppm belum dianggap sebagai indikasi kebakaran. Dengan demikian, sistem mampu membedakan kondisi aman dan situasi berbahaya, sehingga mencegah aktivasi peringatan yang tidak perlu. Secara umum, hasil pengujian membuktikan bahwa sistem deteksi dan pemadam kebakaran otomatis berbasis IoT secara konsisten merespons sesuai dengan tingkat ancaman, melalui integrasi antara sensor, aktuator, dan notifikasi. Namun masih terdapat ruang untuk perbaikan dalam hal efisiensi.

3.4.6 Daya Tahan Baterai

Pengujian kapasitas baterai adalah faktor penting dalam menilai kinerja sistem deteksi kebakaran yang berbasis IoT ini. Analisis penggunaan energi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi secara mandiri dalam waktu yang cukup, terutama ketika memanfaatkan sumber daya baterai sebagai cadangan saat pasokan listrik utama terputus. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur penggunaan arus dalam dua kondisi utama: mode siaga dan mode aktif (ketika terdeteksi kebakaran). Hasil dari pengujian akan digunakan sebagai dasar untuk meramalkan daya tahan baterai serta menentukan peluang untuk mengoptimalkan sistem.

No.	Komponen	Arus - Mode Siaga (mA)	Arus - Mode Aktif (mA)
1	ESP32	240	240
2	MQ-7	150	150
3	Sensor Api	5	5
4	DHT-22	2	2
5	Relay	0 (tidak aktif)	80 (aktif)
6	Buzzer	0 (tidak aktif)	30 (aktif)
7	Water Pump	0 (tidak aktif)	500 (aktif)
Total		397 mA	1007 mA

Tabel 3.7.1 Pengujian Kondisi Siaga dan Aktif

Pada tabel 3.7.1 dalam keadaan siaga sistem menggunakan total arus sebesar 397 mA. Elemen utama yang berperan dalam penggunaan daya adalah ESP32 dengan WiFi yang aktif (240 mA) dan sensor MQ-7 (150 mA). Kedua komponen ini secara kolektif menyumbangkan sekitar 98% dari total penggunaan daya. Sensor api (5 mA) dan DHT22 (2 mA) menggunakan daya yang cukup rendah, sedangkan relay, buzzer, dan pompa air dalam keadaan tidak aktif sehingga

tidak mengkonsumsi energi. Tingginya penggunaan ESP32 dan MQ-7 dalam mode ini mengindikasikan pentingnya penerapan strategi penghematan energi, seperti mengaktifkan mode tidur pada ESP32 atau mengurangi frekuensi pembacaan sensor MQ-7 saat tidak dibutuhkan.

Akan tetapi, saat sistem mengenali adanya kebakaran dan beroperasi dalam mode aktif, penggunaan arus meningkat secara signifikan menjadi 1007 mA. Kenaikan ini terutama disebabkan oleh pengoperasian pompa air (500 mA), relay (80 mA), dan buzzer (30 mA). Komponen lain seperti ESP32, MQ-7, dan sensor lainnya akan berfungsi dengan konsumsi daya yang tetap sama seperti saat berada dalam mode siaga. Peningkatan daya saat dalam mode aktif menekankan betapa pentingnya menjamin kapasitas baterai yang cukup untuk menghadapi situasi darurat. Selain itu, perancangan sistem harus memperhatikan lamanya aktivasi pompa dan buzzer agar tidak terjadi pemborosan energi yang tidak diperlukan.

No	Mode Siaga (397 mA)	Mode Aktif (1007 mA)
0	100%	100%
2	87%	67%
4	73%	33%
6	60%	0%
8	47%	-
10	33%	-
12	20%	-
14	7%	-

15	0%	-
----	----	---

Tabel 3.7.2 Pengujian Daya Tahan

Berdasarkan data pada tabel 3.7.2 mengenai penggunaan daya yang terdapat dalam Tabel 3.7.1, kita dapat melakukan perhitungan estimasi ketahanan baterai berkapasitas 6.000 mAh (empat baterai lithium dengan kapasitas 1.500 mAh) dalam berbagai situasi. Dalam keadaan siaga, baterai diperkirakan dapat bertahan dalam kurun waktu kurang lebih 14 jam (6.000 mAh / 397 mA), sementara dalam keadaan pompa dan buzzer aktif tanpa jeda, daya tahan baterai menurun secara signifikan menjadi 5 jam (6.000 mAh / 1007 mA). Namun, dalam situasi nyata, sistem mungkin tidak selalu beroperasi dalam mode aktif, sehingga ketahanan baterai akan berbeda-beda bergantung pada seberapa sering dan lama subsistem berdaya tinggi, seperti pompa air, diaktifkan.

3.5 Evaluation (Evaluasi)

Tahapan evaluasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengukur sejauh mana sistem deteksi dan pemadaman kebakaran berbasis ESP32 ini dapat berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan. Secara keseluruhan sistem yang telah dirancang ini telah berjalan dengan sangat baik, namun masih terdapat beberapa kendala, seperti:

1. Kesalahan Pembacaan Sensor Asap pada Level Rendah

Pada konsentrasi asap <100, sensor MQ-7 terkadang menghasilkan pembacaan noise ringan yang tidak selalu akurat. Meskipun tidak memicu sistem secara langsung, pembacaan ini dapat dikalibrasi ulang untuk meningkatkan akurasi deteksi awal.

2. Area Jangkauan Deteksi Terbatas

Jarak efektif Sensor Api hanya mencapai ± 65 cm, dan sensor suhu hanya mewakili satu titik pengukuran. Hal ini menyebabkan keterbatasan cakupan deteksi jika sistem diterapkan di ruangan yang lebih besar. Penambahan titik sensor di berbagai sudut

ruangan dapat menjadi pertimbangan sebagai pengembangan berikutnya.

3. Ketergantungan terhadap Jaringan Internet

Dalam pengiriman notifikasi, sistem sangat bergantung pada koneksi internet. Dalam kondisi kebakaran yang dapat mengganggu jaringan lokal, sistem dapat kehilangan fungsi komunikasinya. Integrasi dengan modul GSM sebagai jalur komunikasi cadangan dapat menjadi alternatif penting.

Secara keseluruhan, sistem mampu melakukan deteksi dan penanganan kebakaran secara multi-sensor dan real-time dengan respon yang cukup cepat, akurat, dan stabil. Evaluasi menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi tinggi untuk diterapkan dalam lingkungan indoor berskala kecil, terutama pada situasi darurat yang membutuhkan reaksi cepat. Beberapa catatan pengembangan yang disarankan meliputi peningkatan akurasi sensor gas melalui kalibrasi ulang, perluasan cakupan deteksi dengan penambahan titik sensor, serta integrasi jalur komunikasi cadangan berbasis GSM untuk meningkatkan keandalan sistem dalam kondisi gangguan jaringan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, prototipe sistem deteksi dan pemadaman kebakaran dini berbasis IoT dengan dukungan mikrokontroler ESP32 berhasil dikembangkan dan mampu berfungsi sesuai dengan tujuan awal penelitian. Sistem ini dapat mendeteksi kemungkinan kebakaran secara dini dengan memantau parameter asap, api, dan suhu. Selain itu, sistem ini juga memberikan respons otomatis dalam bentuk aktivasi pompa air serta pengiriman notifikasi peringatan melalui aplikasi Telegram secara real-time. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki waktu respons rata-rata antara 2 hingga 3 detik, yang dianggap cepat dalam konteks deteksi awal kebakaran. Sensor asap MQ-7 menunjukkan akurasi yang baik pada konsentrasi gas di atas 100 ppm, meskipun masih memerlukan kalibrasi ulang

untuk menghindari noise pada level rendah. Sensor api memberikan respon stabil hingga jarak ± 65 cm, dan sensor suhu menunjukkan kepekaan terhadap perubahan suhu di atas 35°C . Integrasi antara mikrokontroler ESP32, sensor, dan komunikasi Telegram berjalan dengan stabil, memungkinkan sistem dioperasikan dan dipantau dari jarak jauh. Sistem ini juga dibuat agar tetap dapat berfungsi meskipun terjadi pemadaman listrik, dengan memanfaatkan empat baterai lithium 3,7V 1500 mAh yang dihubungkan secara paralel. Hasil dari pengujian daya menunjukkan bahwa sistem dapat bertahan sekitar ± 14 jam dalam keadaan siaga, dan sekitar ± 5 jam ketika semua aktuator berfungsi secara terus-menerus.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk melakukan kalibrasi ulang pada sensor MQ-7 guna meningkatkan akurasi dalam pembacaan konsentrasi gas serta mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi pada ambang batas yang rendah. Peningkatan jumlah sensor api dan suhu juga perlu dilakukan untuk memperluas jangkauan area deteksi, khususnya jika sistem diterapkan di ruangan yang lebih besar atau memiliki berbagai titik berisiko kebakaran. Selain itu, penting untuk meningkatkan kapasitas baterai agar daya tahan sistem lebih lama saat pemadaman listrik terjadi, serta memungkinkan adanya pasokan daya tidak hanya untuk perangkat utama, tetapi juga untuk perangkat jaringan cadangan guna memastikan pengiriman notifikasi secara real-time tetap berjalan, sehingga membuat sistem lebih tangguh dan efisien dalam berbagai kondisi lingkungan.

REFERENSI

- [1] N. Melfisyaira Putri Pasaribu, R. Oktavia, T. Zahra Khairunnisa, and A. Hasibuan, 'Analisis Sistem Tanggap Darurat Dalam Upaya Penanggulangan Kebakaran di Tempat

- KERJA', *JPM MOCCI: Jurnal Pengabdian Masyarakat Ekonomi, Sosial Sains dan Sosial Humaniora, Koperasi, dan Kewirausahaan*, vol. 2, no. 2, pp. 163–169, 2024.
- [2] F. R. Naufal, E. K. Veronica, and A. Situmeang, 'PROTOTIPE SISTEM PEMADAM KEBAKARAN OTOMATIS BERBASIS PLC OMRON CP1EN20DR-A', *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, vol. 25, no. 3, pp. 225–238, Jan. 2020, doi: 10.35760/ik.2020.v25i3.3136.
- [3] T. Hafzara Siregar, S. Permana Sutisna, G. Eka Pramono, and M. Malik Ibrahim, 'RANCANG BANGUN SISTEM PENDETEKSI KEBAKARAN BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ARDUINO', *AME (Aplikasi Mekanika Energi) Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 59–66, 2021, [Online]. Available: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/ame/index>
- [4] Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan, 'Kaleidoskop Kejadian Kebakaran di Provinsi DKI Jakarta Selama Tahun 2023'. Accessed: May 15, 2025. [Online]. Available: https://pemadam.jakarta.go.id/artikel/2024-01-05_kaleidoskop-kejadian-kebakaran-di-provinsi_yzs244j
- [5] L. Asiri, 'Pelaksanaan Mitigasi Bencana Kebakaran Pada Dinas Pemadam Kebakaran Kabupaten Buton', *Jurnal Studi Kepemerintahan*, vol. 3, no. 2, pp. 28–40, Sep. 2020.
- [6] J. Pebralia, R. Raaiqa Bintana, and I. Amri, 'SISTEM MONITORING KEBAKARAN HUTAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)', *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 19, no. 3, pp. 183–189, 2022, doi: 10.31258/jkfi.19.3.183-189.
- [7] F. Anisa, M. Abyan Zhafran Wijaya, and R. Erpindo Ginting, 'PENERAPAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS DALAM SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI UNTUK PENGAWATAN STRATEGI MITIGASI BENCANA', *Warta Dharmawangsa*, vol. 19, no. 1, pp. 231–239, 2025, doi: <https://doi.org/10.46576/wdw.v19i1.5541>.
- [8] A. Riyadi, E. Nursanti, J. W. Heksa Galuh, and P. Studi Teknik Industri S-, 'PERANCANGAN SISTEM MONITORING DETEKSI KEBAKARAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK MENURUNKAN RISIKO KEBAKARAN', *Jurnal Mahasiswa Teknik Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 123–128, 2024.
- [9] F. T. Arumsari, J. Maulindar, and A. I. Pradana, 'RANCANG BANGUN SISTEM PENDETEKSI KEBAKARAN BERBASIS INTERNET OF THINGS', *INFOTECH journal*, vol. 9, no. 1, pp. 175–182, May 2023, doi: 10.31949/infotech.v9i1.5317.
- [10] G. G. Salindeho and T. Wellem, 'PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENDETEKSI DAN PERINGATAN KEBAKARAN BERBASIS IOT MENGGUNAKAN NODEMCU ESP8266 DAN SENSOR API', *Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 2, no. 3, pp. 179–191, 2023.
- [11] R. Akbar Nuryadin, A. Rahman Yusuf, M. Reza, N. H. Fadlila Alifian, and P. A. Shagita Dyah, 'PROTOTYPE SISTEM DETEKSI KEBAKARAN MENGGUNAKAN SENSOR MQ-2 DAN FLAME SENSOR BERBASIS IOT', *Jurnal Riset dan Aplikasi Mahasiswa Informatika (JRAMI)*, vol. 05, 2024.
- [12] U. Fatimah, S. Sitorus Pane, and I. Andriyani, 'Sistem Pendeteksi Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Air Tawar Berbasis Internet Of Things (IoT)', *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD*, vol. 7, no. 1, 2024, [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharna.ac.id/index.php/jsk/index>
- [13] M. Waruwu, 'Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan', *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, vol. 9, no. 2, pp. 1220–1230, May 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i2.2141.