

Design and Development of a Fire Early Warning System Prototype for Hazardous Material Storage Areas in the Wood Industry in Sidoarjo [Rancang Bangun Prototype Sistem Peringatan Dini Kebakaran pada Area Penyimpanan B3 Industri Kayu di Sidoarjo]

Efendi Slamet¹⁾, Izza Anshory^{*,2)}

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: izzaanshory@umsida.ac.id

Abstract. Wood-processing facilities face a substantial fire hazard because combustible materials and hazardous substances may be stored in the same working environment. This research develops an Internet of Things (IoT) prototype for early fire warning in a hazardous-material storage area. An ESP32 is used as the main controller and is connected to MQ-2, MQ-135, DHT22, and flame sensors. The system evaluates gas concentration, air-quality changes, temperature, and flame presence, then assigns the environmental condition to Safe, Warning, or Danger. Measurement records are transmitted through WiFi and stored in Google Spreadsheet so that the condition can be observed remotely in real time. The DHT22 test produced an average error of 0.34%. MQ-2 and MQ-135 responded to increased gas or smoke exposure, while the flame sensor detected a flame at a test distance of up to 20 cm. Integrated testing showed that the prototype could process sensor readings, activate local indicators, and send monitoring data. These results indicate that the proposed multi-sensor architecture can support early identification of fire-related conditions in the tested environment.

Keywords - ESP32; Fire Detection; Internet of Things; Multi-parameter Sensor

Abstrak. Lingkungan industri pengolahan kayu memiliki potensi kebakaran yang tinggi karena terdapat material mudah terbakar dan bahan berbahaya yang dapat menjadi sumber maupun pemicu kebakaran. Penelitian ini mengembangkan prototype sistem peringatan dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) untuk area penyimpanan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). ESP32 digunakan sebagai pengendali utama yang memperoleh masukan dari sensor MQ-2, MQ-135, DHT22, dan flame sensor. Keempat sensor digunakan untuk memantau gas, perubahan kualitas udara, suhu, dan keberadaan nyala api. Hasil pembacaan diproses menjadi tiga kondisi, yaitu Aman, Warning, dan Bahaya. Data pengukuran dikirim melalui jaringan WiFi dan dicatat pada Google Spreadsheet agar kondisi lingkungan dapat dipantau secara real-time. Pengujian DHT22 menghasilkan rata-rata error 0,34%. Sensor MQ-2 dan MQ-135 menunjukkan respons terhadap peningkatan paparan gas atau asap, sedangkan flame sensor masih mampu mengenali api pada jarak pengujian 20 cm. Pengujian terpadu memperlihatkan bahwa sistem dapat membaca masukan sensor, mengaktifkan indikator lokal, dan mengirimkan data monitoring. Dengan demikian, prototype yang dibuat dapat digunakan sebagai pendekatan awal untuk mendukung deteksi dini kondisi yang berpotensi menyebabkan kebakaran pada lingkungan yang diuji.

Kata Kunci - Deteksi Kebakaran; ESP32; Internet of Things; Sensor Multi-parameter

I. PENDAHULUAN

Industri pengolahan kayu merupakan salah satu sektor manufaktur yang memiliki peranan penting dalam struktur industri di Provinsi Jawa Timur[1][2]. Berdasarkan pemetaan sektor industri, subsektor industri berbasis kayu, barang dari kayu, rotan, dan furnitur menjadi salah satu komoditas utama yang menggerakkan aktivitas industri di wilayah ini, yang secara spasial termasuk ke dalam klaster manufaktur utama bersama sektor makanan, tekstil, dan bahan kimia[3]. Selain itu, Sidoarjo termasuk dalam daerah dengan konsentrasi aktivitas industri manufaktur yang signifikan di provinsi ini[4][5].

Data terkait aktivitas industri kayu di Jawa Timur juga tercermin dari banyaknya pusat pengolahan dan perdagangan kayu, dengan ratusan unit usaha di berbagai kota termasuk Surabaya, Malang, dan Sidoarjo sebagai salah satu lokasi industri kayu dengan puluhan bisnis pengolahan kayu dan furnitur, yang menunjukkan besarnya keterlibatan sektor ini dalam struktur ekonomi daerah[6][7].

Potensi risiko kebakaran pada industri kayu sangatlah tinggi karena material yang diproses umumnya mudah terbakar seperti serbuk kayu, sisa material, cat, thinner, dan bahan kimia lainnya yang berbahaya[8][9]. Hal ini menjadi perhatian utama terutama pada area penyimpanan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), dimana api kecil atau peningkatan suhu dapat dengan cepat berkembang menjadi kebakaran besar apabila tidak terdeteksi secara dini[10][11].

Selama ini metode pemantauan kebakaran di banyak pabrik kayu cenderung dilakukan secara manual dan bersifat periodik, sehingga tidak mampu memberikan respons cepat saat terjadi kondisi ekstrim seperti lonjakan suhu, konsentrasi asap, atau deteksi api secara langsung[12][13]. Keterlambatan deteksi menjadi salah satu faktor utama penyebab meluasnya kebakaran industri yang dapat mengakibatkan kerugian material yang besar, gangguan produksi, hingga risiko terhadap keselamatan pekerja dan lingkungan sekitar[14][15].

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, sistem deteksi dini kebakaran berbasis IoT umumnya telah mampu mendeteksi gas dan api serta mengirimkan notifikasi secara real-time, namun sebagian besar masih berfokus pada skala rumah tangga dan menggunakan mikrokontroler serta sensor dengan akurasi terbatas[16][17]. Selain itu, beberapa penelitian hanya memanfaatkan satu jenis sensor sehingga deteksi belum dilakukan secara multi-parameter, serta belum mengintegrasikan pencatatan data monitoring secara terstruktur sebagai dokumentasi jangka panjang, khususnya pada lingkungan industri berisiko tinggi seperti area penyimpanan B3[18]. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan dengan mengintegrasikan ESP32 dan multi-sensor (MQ-2, MQ-135, DHT22, dan flame sensor), dilengkapi klasifikasi kondisi Aman–Warning–Bahaya serta sistem monitoring berbasis Google Spreadsheet untuk meningkatkan akurasi, keandalan, dan pencatatan data secara real-time pada lingkungan industri kayu[19].

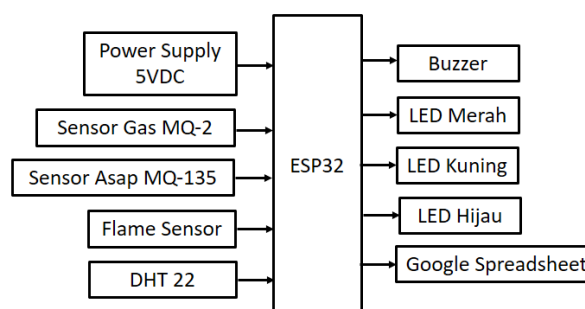
Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan perancangan dan pembangunan sebuah prototype sistem peringatan dini kebakaran berbasis IoT yang mampu mendeteksi parameter lingkungan kritis secara cepat dan efektif. Sistem ini diharapkan dapat membantu meminimalkan risiko kebakaran pada area penyimpanan B3 industri kayu di Sidoarjo, sehingga mampu menjaga keselamatan aset, pekerja, dan lingkungan sekitar pabrik.

II. METODE

A. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem rancang bangun prototype sistem peringatan dini kebakaran pada area penyimpanan B3 industri kayu di Sidoarjo dibagi beberapa bagian utama yaitu blok input, blok proses, blok output, blok monitoring, dan blok catu daya. Pada blok input, sensor Gas MQ-2, sensor Asap MQ-135, sensor Suhu DHT22, dan Flame Sensor berfungsi untuk mendeteksi kondisi lingkungan di area penyimpanan B3, seperti konsentrasi gas mudah terbakar, partikel asap, kenaikan suhu, serta keberadaan api. Data dari seluruh sensor tersebut dikirimkan ke blok proses yang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem. ESP32 akan membaca dan mengolah data berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan untuk mengidentifikasi kondisi aman, waspada, atau bahaya.

Selanjutnya, hasil pengolahan data akan diteruskan ke blok output berupa buzzer dan LED indikator (hijau, kuning, merah) sebagai peringatan dini secara langsung di lokasi. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan data melalui jaringan WiFi ke blok monitoring yaitu Google Spreadsheet untuk penyimpanan serta pemantauan secara real-time melalui laptop atau smartphone. Seluruh rangkaian sistem mendapatkan suplai daya dari adaptor 5V sebagai blok catu daya. Dengan susunan blok tersebut, sistem mampu mendeteksi potensi kebakaran secara dini dan memberikan notifikasi baik secara lokal maupun jarak jauh.. Berikut merupakan blok diagram sistem yang digunakan pada gambar 1.

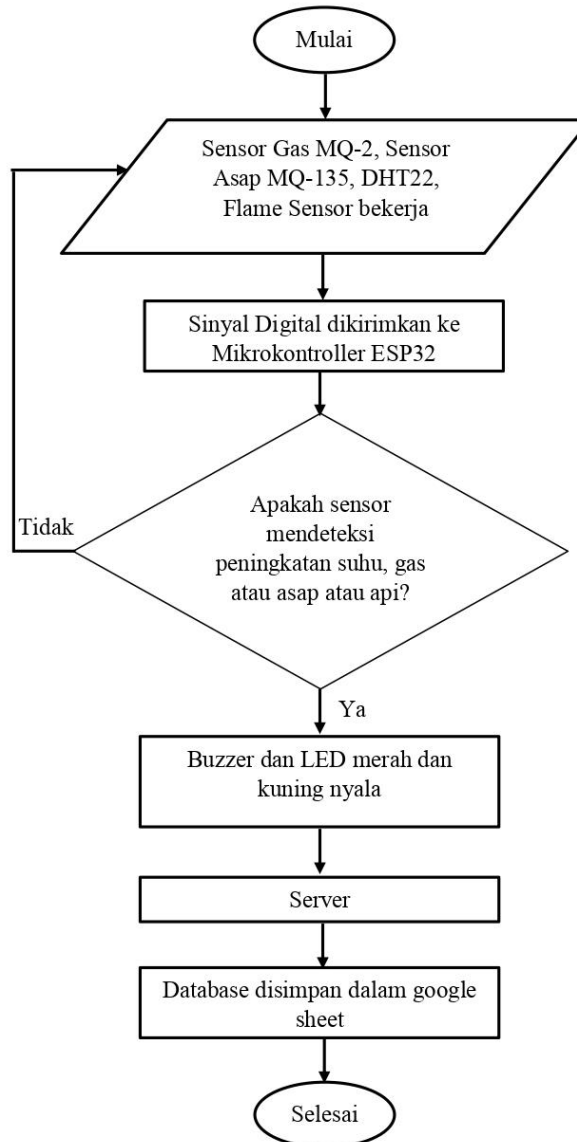


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

B. Flowchart Sistem

Flowchart sistem dimulai ketika seluruh komponen diaktifkan dan mendapatkan suplai daya dari adaptor 5V. Setelah aktif, Sensor Gas MQ-2, Sensor Asap MQ-135, DHT22, dan Flame Sensor melakukan pembacaan kondisi lingkungan secara terus-menerus untuk mendeteksi keberadaan gas, asap, suhu, dan api. Hasil pembacaan dari keempat sensor kemudian dikirimkan dalam bentuk sinyal digital ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses dan dianalisis dengan cara membandingkan data sensor terhadap nilai ambang batas yang telah ditentukan. Selanjutnya, ESP32 melakukan pengecekan kondisi untuk menentukan apakah terjadi peningkatan suhu, gas, asap, atau terdeteksi

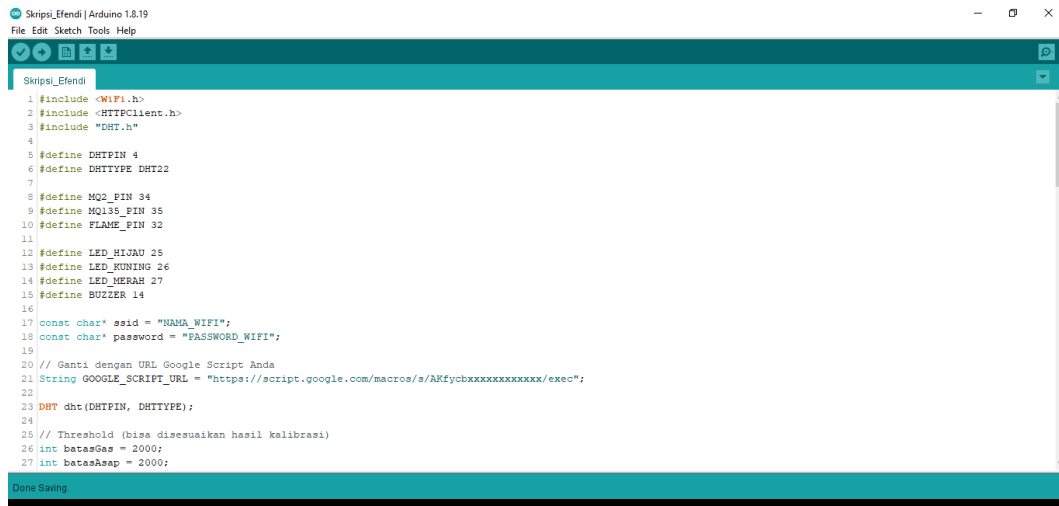
api. Jika tidak terdeteksi kondisi yang melebihi batas, sistem akan kembali ke proses pembacaan sensor dan melakukan pemantauan secara berulang (*looping* atau *continuous monitoring*). Namun, apabila terdeteksi kondisi yang berpotensi membahayakan, sistem akan masuk ke tahap peringatan dengan mengaktifkan buzzer sebagai alarm suara serta menyalakan LED merah sebagai indikator bahaya atau LED kuning sebagai indikator peringatan sesuai dengan tingkat kondisi yang terdeteksi. Selanjutnya, ESP32 mengirimkan data kondisi tersebut melalui jaringan WiFi ke server, kemudian data kejadian disimpan secara otomatis pada Google Spreadsheet sebagai dokumentasi dan media monitoring secara *real-time*. Setelah proses pengiriman dan penyimpanan data selesai, satu siklus proses dinyatakan selesai, kemudian sistem kembali melakukan pembacaan sensor untuk melanjutkan pemantauan kondisi lingkungan secara terus-menerus.. Berikut merupakan flowchart sistem yang digunakan pada gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Sistem

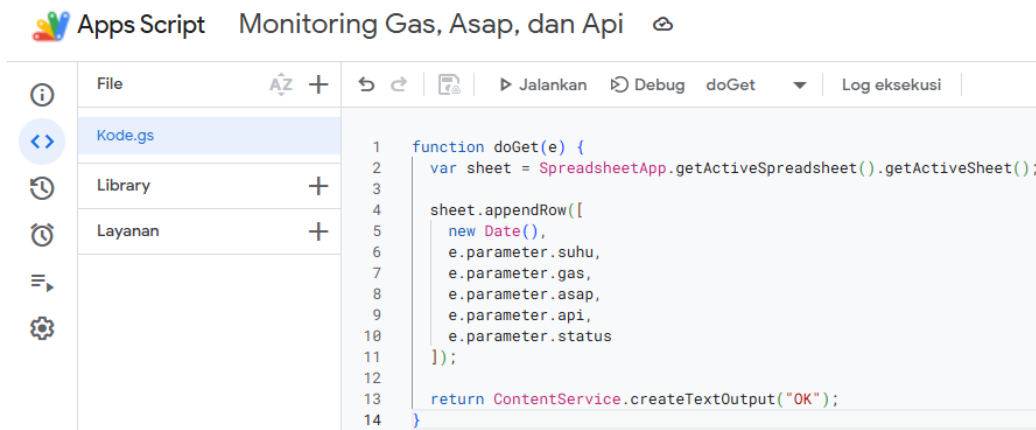
C. Perancangan Software

Perancangan software merupakan proses yang digunakan untuk menjabarkan tahapan pengembangan program secara sistematis, dengan tujuan agar sistem yang dibangun dapat menjalankan fungsi sesuai dengan kebutuhan dan tujuan perancangan. Tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3. Pembuatan Sketch Program pada Arduino IDE

Gambar 3. menunjukkan langkah-langkah dalam pembuatan program menggunakan Arduino IDE, dengan board ESP32 sebagai komponen utama dalam penelitian ini. Di dalam sketch program tersebut terdapat MQ2, MQ135, Flame, serta DHT22.

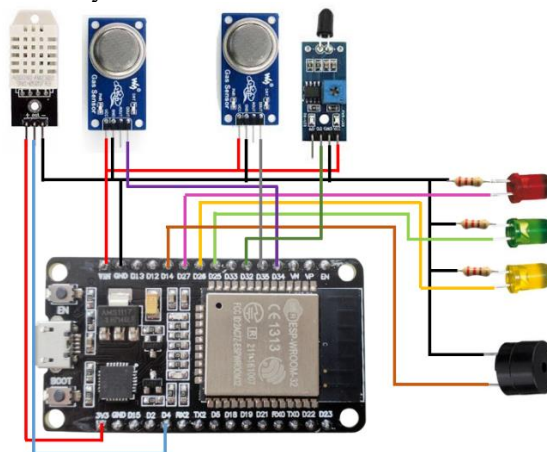


Gambar 4. Tampilan Google Apps Script

Gambar 4. Menunjukkan tampilan google apps script pada google spreadsheet. Terdapat beberapa parameter yang digunakan yaitu waktu, suhu, gas, asap, api, serta status objek.

D. Perancangan Hardware

“Dalam proses perancangan perangkat keras, perlu diperhatikan skema rangkaian yang telah dirancang sebagai acuan dalam proses pembuatannya.



Gambar 5. Skema Rangkaian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan bertujuan untuk mengetahui kinerja dan tingkat akurasi sistem berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, serta menganalisis kesesuaian hasil pengukuran sensor dengan alat ukur standar.

A. Pengujian Sensor Suhu DHT22

Pengujian sensor DHT22 dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan suhu pada sistem dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar berupa termometer digital. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sensor DHT22 pada mikrokontroler ESP32, kemudian menempatkan sensor DHT22 dan termometer digital pada lokasi yang sama agar kedua perangkat memperoleh kondisi lingkungan yang relatif identik. Setelah sistem diaktifkan dan pembacaan dibiarkan stabil selama kurang lebih 1–2 menit, dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali. Setiap hasil pembacaan sensor DHT22 dibandingkan dengan hasil pembacaan termometer digital untuk mengetahui selisih pengukuran dan persentase error. Selisih pengukuran dihitung menggunakan rumus $\text{Selisih} = |\text{Pengukuran DHT22} - \text{Pengukuran alat standar}|$, sedangkan persentase error dihitung menggunakan rumus $\text{Error (\%)} = (\text{Selisih} / \text{Pengukuran alat standar}) \times 100\%$. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Suhu DHT22

Pengujian ke-	Pengukuran		Selisih Perhitungan	
	Alat Penelitian (°C)	Alat Standart (°C)	Jumlah Selisih (°C)	Pesentase Error (%)
1	28,4	28,5	0,1	0,35
2	28,6	28,7	0,1	0,35
3	28,8	28,9	0,1	0,35
4	29,0	29,1	0,1	0,34
5	29,2	29,3	0,1	0,34
6	29,4	29,5	0,1	0,34
7	29,5	29,6	0,1	0,34
8	29,7	29,8	0,1	0,34
9	29,8	29,9	0,1	0,33
10	30,0	30,1	0,1	0,33
Rata-Rata			0,1	0,34

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa hasil pembacaan sensor DHT22 memiliki nilai yang sangat mendekati hasil pembacaan alat ukur standar. Dari 10 kali pengukuran, selisih pembacaan yang diperoleh berada pada nilai 0,1°C, sedangkan rata-rata persentase error sebesar 0,34%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan hasil pembacaan sensor DHT22 terhadap alat ukur standar relatif kecil. Perbedaan pembacaan dapat disebabkan oleh karakteristik masing-masing alat, tingkat sensitivitas sensor, posisi sensor terhadap sumber panas, serta perubahan kondisi suhu lingkungan selama proses pengukuran. Meskipun terdapat perbedaan antara hasil pembacaan DHT22 dan alat standar, perbedaan tersebut masih relatif kecil sehingga sensor DHT22 dapat memberikan hasil pengukuran suhu yang cukup akurat. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sensor DHT22 dinilai mampu bekerja dengan baik dan dapat digunakan sebagai salah satu komponen dalam sistem peringatan dini kebakaran, khususnya untuk melakukan pemantauan perubahan suhu lingkungan secara terus-menerus. Semakin kecil nilai error yang diperoleh, semakin tinggi tingkat kesesuaian pembacaan sensor terhadap alat ukur standar, sehingga hasil pengujian ini menunjukkan bahwa DHT22 memiliki kinerja yang memadai untuk digunakan pada sistem yang dirancang.

B. Pengujian Sensor Gas MQ2

Pengujian sensor gas MQ-2 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan gas mudah terbakar serta melihat perubahan nilai ADC yang dihasilkan oleh sensor. Sensor MQ-2 dihubungkan dengan ESP32 melalui pin analog, kemudian data hasil pembacaan ditampilkan pada Serial Monitor. Sebelum dilakukan pengujian, sensor terlebih dahulu dinyalakan dan dilakukan proses pre-heating selama $\pm 1-2$ menit agar pembacaan sensor lebih stabil.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Gas MQ2

Pengujian ke-	Kondisi Pengujian	Nilai ADC MQ-2	Status
1	Udara Normal	620	Aman
2	Udara Normal	680	Aman
3	Paparan Gas (5 cm)	1850	Warning

4	Paparan Gas (10 cm)	1520	Warning
5	Paparan Gas Intens	2350	Warning

Berdasarkan Tabel 2, pada pengujian ke-1 dan ke-2 dengan kondisi udara normal, sensor MQ-2 menghasilkan nilai ADC sebesar 620 dan 680, sehingga masih berada di bawah nilai threshold 1500 dan dikategorikan aman. Pada pengujian ke-3 dengan paparan gas pada jarak 5 cm, nilai ADC meningkat menjadi 1850 dan sistem memberikan status warning. Pada jarak 10 cm, nilai ADC sebesar 1520 juga telah melewati batas threshold, sehingga masuk dalam kondisi warning. Sementara itu, pada pengujian ke-5 dengan paparan gas intens, nilai ADC meningkat hingga 2350. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-2 mampu merespons keberadaan gas dengan baik, di mana semakin tinggi paparan gas yang diterima, semakin besar nilai ADC yang dihasilkan..

C. Pengujian Sensor Asap MQ135

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kualitas udara akibat adanya gas atau asap di lingkungan sekitar. Sensor MQ-135 dihubungkan dengan ESP32 untuk membaca keluaran analog berupa nilai ADC. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai ADC pada kondisi udara normal dengan kondisi saat sensor diberikan paparan gas atau asap pada jarak tertentu. Perubahan nilai ADC digunakan untuk mengetahui respons sensor terhadap peningkatan konsentrasi polutan. Hasil pengujian selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan nilai *threshold* sebesar 1200 untuk membedakan kondisi udara yang masih aman dengan kondisi yang memerlukan peringatan (*warning*)..

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Asap MQ135

Pengujian ke-	Kondisi Pengujian	Nilai ADC MQ-135	Status
1	Udara Normal	650	Aman
2	Udara Normal	720	Aman
3	Paparan Gas (15 cm)	1050	Aman
4	Paparan Gas (10 cm)	1380	Warning
5	Paparan Gas Intens (5 cm)	1850	Warning

Berdasarkan Tabel 3, pada pengujian ke-1 dan ke-2 dalam kondisi udara normal, sensor MQ-135 menghasilkan nilai ADC sebesar 650 dan 720. Nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas warning sebesar 1200, sehingga sistem berada dalam kondisi aman.

Pada pengujian ke-3, ketika sensor diberikan paparan gas pada jarak 15 cm, nilai ADC meningkat menjadi 1050. Meskipun terjadi peningkatan dibandingkan kondisi udara normal, nilai tersebut masih berada di bawah threshold, sehingga status sistem masih aman.

Pada pengujian ke-4 dengan jarak paparan 10 cm, nilai ADC meningkat menjadi 1380 dan telah melewati batas threshold 1200. Sistem kemudian memberikan status warning, yang menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi gas atau polutan di sekitar sensor. Selanjutnya, pada pengujian ke-5 dengan paparan gas intens pada jarak 5 cm, nilai ADC mencapai 1850 dan menghasilkan status warning.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa sensor MQ-135 mampu merespons perubahan kondisi udara berdasarkan perubahan nilai ADC. Semakin dekat dan semakin intens paparan gas yang diberikan, nilai ADC cenderung semakin tinggi. Hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar penerapan nilai threshold pada sistem monitoring untuk membedakan kondisi udara aman dan kondisi yang memerlukan peringatan (*warning*)..

D. Pengujian Sensor Flame

Pengujian flame sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan nyala api berdasarkan pancaran sinar inframerah (IR) yang dihasilkan oleh api. Sensor dihubungkan dengan ESP32 melalui pin digital (DO), kemudian perubahan status output diamati melalui Serial Monitor. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi, yaitu tanpa api, adanya api pada jarak 5 cm, 10 cm, dan 20 cm, serta kondisi setelah api dipadamkan. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui jarak efektif sensor dalam mendeteksi api dan memastikan sistem dapat memberikan respons berupa aktivasi LED merah dan buzzer ketika api terdeteksi.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Flame

Pengujian ke-	Kondisi Pengujian	Jarak Api (cm)	Output Sensor	Status
1	Tanpa Api	-	HIGH	Aman
2	Api	5	LOW	Terdeteksi
3	Api	10	LOW	Terdeteksi

4	Api	20	LOW	Terdeteksi
5	Api Dipadamkan	-	HIGH	Aman

Berdasarkan Tabel 4, pada pengujian pertama saat tidak terdapat api, flame sensor menghasilkan output HIGH sehingga sistem berada dalam kondisi aman. Ketika diberikan sumber api pada jarak 5 cm, output sensor berubah menjadi LOW, yang menunjukkan bahwa keberadaan api berhasil terdeteksi.

Pada pengujian ketiga dengan jarak api 10 cm, sensor masih menghasilkan output LOW sehingga api dapat terdeteksi dengan baik. Selanjutnya, pada jarak 20 cm, sensor juga masih memberikan output LOW. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki kemampuan mendeteksi nyala api hingga jarak tersebut pada kondisi pengujian.

Pada pengujian terakhir setelah api dipadamkan, output sensor kembali menjadi HIGH. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa sensor dapat membedakan kondisi saat terdapat api dan saat api sudah tidak ada. Dengan demikian, flame sensor dapat digunakan sebagai input sistem keamanan untuk mengaktifkan LED merah dan buzzer ketika api terdeteksi, serta mengembalikan sistem ke kondisi aman setelah api tidak lagi terdeteksi..

E. Pengujian Rangkaian Keseluruhan

Pengujian rangkaian keseluruhan dilakukan untuk mengetahui apakah seluruh komponen sistem, yaitu sensor MQ-2, MQ-135, DHT22, dan flame sensor, dapat bekerja secara terintegrasi dengan ESP32. Pengujian juga bertujuan untuk memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor dapat diproses dan dikirimkan secara real-time ke Google Spreadsheet melalui koneksi WiFi. Beberapa kondisi disimulasikan, yaitu kondisi normal, terdeteksi gas, terdeteksi asap, dan terdeteksi api. Parameter yang diamati meliputi suhu, nilai ADC MQ-2, nilai ADC MQ-135, status deteksi api, serta status keseluruhan sistem.

Tabel 5. Hasil Pengujian Rangkaian Keseluruhan

No.	Kondisi Uji	Suhu (°C)	MQ-2 (ADC)	MQ-135 (ADC)	Flame (Ya/ Tidak)	Status (Aman/ Warning/ Bahaya)
1	Normal	29,5	650	680	Tidak	Aman
2	Gas Terdeteksi	30,1	1850	850	Tidak	Warning
3	Asap Terdeteksi	30,5	1100	1380	Tidak	Warning
4	Api Terdeteksi	31,2	1250	1450	Ya	Bahaya
5	Normal Kembali	29,8	700	750	Tidak	Aman

Berdasarkan Tabel 2.6, pada kondisi normal seluruh sensor memberikan pembacaan dalam kondisi yang relatif stabil. Nilai MQ-2 sebesar 650 ADC dan MQ-135 sebesar 680 ADC masih berada di bawah nilai threshold, sedangkan flame sensor tidak mendeteksi adanya api. Sistem kemudian memberikan status Aman.

Pada kondisi gas terdeteksi, nilai MQ-2 meningkat menjadi 1850 ADC, sedangkan nilai MQ-135 masih berada pada kondisi normal. Peningkatan nilai MQ-2 menyebabkan sistem memberikan status Warning. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali adanya peningkatan gas berdasarkan hasil pembacaan sensor.

Pada kondisi asap terdeteksi, nilai MQ-135 meningkat menjadi 1380 ADC dan telah melewati batas threshold sebesar 1200. Sistem memberikan status Warning, sehingga dapat diketahui bahwa sensor MQ-135 mampu memberikan respons terhadap perubahan kualitas udara akibat adanya asap.

Selanjutnya, pada kondisi api terdeteksi, flame sensor menghasilkan status Ya. Meskipun nilai sensor gas juga mengalami perubahan, keberadaan api menyebabkan sistem meningkatkan status menjadi Bahaya. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mengandalkan sensor gas, tetapi juga menggunakan flame sensor untuk memberikan peringatan ketika terdapat sumber api.

Setelah sumber gas, asap, dan api dihilangkan, pada pengujian normal kembali, nilai pembacaan sensor kembali mendekati kondisi awal dan flame sensor tidak mendeteksi api. Sistem kembali memberikan status Aman. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor dapat bekerja secara terintegrasi dengan ESP32 dan mampu membedakan kondisi Aman, Warning, dan Bahaya sesuai dengan kondisi lingkungan yang disimulasikan. Data hasil pembacaan juga dapat dikirimkan ke Google Spreadsheet sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara real-time.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, prototype sistem peringatan dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 telah berhasil dirancang dan dapat bekerja secara terintegrasi dengan sensor MQ-2, MQ-135, DHT22, dan flame sensor. Sensor DHT22 menunjukkan kinerja yang baik dengan rata-rata persentase error sebesar 0,34%, sehingga mampu digunakan untuk memantau perubahan suhu lingkungan. Sensor MQ-2 dan MQ-135 mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi gas dan asap berdasarkan perubahan nilai ADC serta memberikan status Warning ketika melewati nilai ambang batas yang ditentukan. Flame sensor mampu mendeteksi keberadaan api hingga jarak 20 cm dan mengaktifkan indikator bahaya berupa LED merah dan buzzer. Secara keseluruhan, sistem mampu mengklasifikasikan kondisi lingkungan menjadi Aman, Warning, dan Bahaya. Data hasil pembacaan sensor juga berhasil dikirim melalui jaringan WiFi dan disimpan pada Google Spreadsheet sehingga monitoring dapat dilakukan secara real-time. Dengan demikian, prototype yang dirancang dapat digunakan sebagai sistem pendeteksi dan peringatan dini terhadap potensi kebakaran pada area penyimpanan B3 industri kayu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, khususnya Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses perancangan, pengujian, hingga penyusunan artikel ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyediaan fasilitas, pelaksanaan pengujian, serta memberikan dukungan selama penelitian berlangsung. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi dalam pengembangan sistem peringatan dini kebakaran berbasis Internet of Things pada lingkungan industri.

REFERENSI

- [1] F. L. Wachadah, "Analisis Strategi Industrialisasi Pada Industri Mebel di Kelurahan Bukir , Kecamatan Gadingrejo , Kota Pasuruan , Jawa Timur," *Trending J. Ekon. Akutansi dan Manaj.*, vol. 1, no. 3, 2023.
- [2] N. A. W. Oktavia and S. Setyowati, "Redesain dan Pengembangan Pabrik Furniture Kayu PTC di Surabaya Pendekatan Arsitektur Berkelanjutan," *Univ. Muhammad*, pp. 1–23, 2025.
- [3] T. Junari, E. Rustiadi, and S. Mulatsih, "Identifikasi Sektor Industri Pengolahan Unggulan Provinsi Jawa Timur (Analisis Input Output)," *TATA LOKA*, pp. 308–320, 2020.
- [4] N. Supriyatno, "Evaluasi Produktivitas Kayu dalam Pengelolaan Hutan Rakyat Lestari Skema Forest Stewardship Council di Jawa Timur," *J. Silva Trop.*, vol. 3, no. 31, pp. 175–184, 2019.
- [5] M. Syukur and K. Rosyidi, "Efektivitas Maintenance Scheduling Terintegrasi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di UPT. Industri dan Produk Kayu Disperindag Provinsi Jawa Timur di Kota Pasuruan," *MES Manag. J.*, vol. 3, pp. 614–627, 2024.
- [6] A. Prianto, M. Sulhan, and U. Y. Pasuruan, "Evaluasi Kebijakan Pembangunan Industri di Jawa Timur yang Berwawasan Sumber Daya Manusia dalam Sustainability Development," *PUBLISIA J. Ilmu Adm. Publik*, vol. 2515, no. 1, 2025.
- [7] R. D. Susanti, H. B. Santoso, and A. Komari, "Perencanaan Agregat Pada Industri Pengolahan Kayu Jenis Flooring Dengan Pendekatan Heuristic (Study Kasus Pada PT . Sinar Rimba Pasifik Sidoarjo)," *JURMATIS J. Mhs. Tek. Ind. Univ. Kadiri*, vol. 1, no. 2, pp. 121–130, 2019.
- [8] A. Fathurrahman, F. A. Saputra, H. Setiawan, D. Ariyanda, and Y. Prastya, "Implementasi Pemisahan Bahan Kimia Sebagai Strategi Pencegahan Kebakaran di Fasilitas Industri PT Mits Duta Utama," *Cent. Publ.*, vol. 3, pp. 3899–3906, 2025.
- [9] T. Dayanti, P. Dwi, N. Fatiha, and M. L. Ashari, "Evaluasi Kebutuhan Alat Deteksi Kebakaran Pada TPS Limbah B3 di Perusahaan Beton Pracetak," *J. Sains Student Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 144–148, 2025.
- [10] P. S. Alala, H. Rifaldin, and G. Subroto, "Manajemen Industri dalam Penerapan B3 dan Limbah B3 di PT. X," *ENVITATS*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- [11] H. R. Ilham, "Evaluasi Penerapan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif pada Unit Plant I dan Plant II di PT. Sumatra Prima Fibreboard Tahun 2019," *Ilmu Alat Pengabdi.*, 2019.
- [12] M. U. Pasha, J. Soemirat, and M. C. N. Deni, "Analisis Sistem Tanggap Darurat Tumpahan B3 Studi Kasus di Perusahaan Manufaktur," *J. Reka Lingkung.*, vol. 10, no. 1, pp. 23–34, 2022.
- [13] E. M. Tarigan and A. Amalia, "Penyimpanan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun B3 (Studi Kasus," *Indones. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 57–66, 2022.
- [14] E. Y. Karuniawati, B. Kurniawan, and H. M. Denny, "Analisis Kejadian Kebakaran dengan Metode 'Loss Causation Model' pada Sebuah Pabrik Kayu Lapis di Pacitan," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 6, 2018.

- [15] L. Liyudza, D. Maheswari, and M. Arfianto, "Evaluasi implementasi strategi keselamatan kebakaran berdasarkan kep / 186 / men / 1999 di PT . Dharma Satya Nusantara Temanggung," *J. Lentera Kesehat. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 11–20, 2025.
- [16] F. Maulana, Widiyono, and Taryadi, "Sistem Smart Home untuk Deteksi Potensi Kebakaran Berbasis Internet of Things dengan Notifikasi WhatsApp," *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 10, no. 1, pp. 246–256, 2025, doi: 10.30591/jpit.v9ix.xxx.
- [17] I. ANSHORY, I. ROBANDI, J. Jamaaluddi, A. FUDHOLI, and WIRAWAN, "Transfer function modeling and optimization speed response of bldc motor e-bike using intelligent controller," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 305–324, 2021.
- [18] S. Nurazizah, S. Paembonan, R. Suppa, and K. Palopo, "Integrasi Sensor IoT pada Sistem Rumah Cerdas untuk Deteksi Kebakaran dan Gas Berbahaya," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.*, vol. 14, no. 1, 2020.
- [19] D. Rustiana *et al.*, "Sistem Obsvasi Lingkungan Otomatis Sebagai Pencegahan Kebakaran dengan Integrasi Sensor Gas MQ-2 dan ESP8266," *ICIT J.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, 2026.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.