

Prototype of Temperature, Humidity and Fire Detection Monitoring System in Rice Warehouse Based on ESP32 Microcontroller

Dewi Anggraini^{1*}, Endah Fitriyani^{2*}, Nina Paramytha^{3*}, Rahmat Novrianda Dasmen^{4*}

* Teknik Elektro, Universitas Bina Darma

¹, dewianggraini532@gmail.com ², endahfitriani@binadarma.ac.id ³, ninaparamytha@binadarma.ac.id ⁴, rahmat_novrianda@gmail.com

Article Info

Article history:

Received 2025-09-23

Revised 2025-11-13

Accepted 2025-11-26

Keyword:

*Automation,
ESP32,
Fire Detection,
IoT,
Rice Warehouse,
Monitoring Sensor.*

ABSTRACT

Rice warehouses in Indonesia experience significant post-harvest losses, reported to reach 10–20% annually, primarily due to poor environmental control and fire incidents. This study develops and evaluates an Internet of Things (IoT)-based environmental monitoring prototype for rice warehouses, utilizing the ESP32 microcontroller, DHT22 temperature-humidity sensor, and a flame sensor. The ESP32 was chosen for its low power consumption and robust connectivity, while DHT22 and the flame sensor were selected for their balance of accuracy, sensitivity, and cost-effectiveness. System calibration employed a digital thermohygrometer and a standard flame detector to ensure measurement validity. Experimental tests were conducted in a controlled laboratory setting with three sensor points, simulating temperature variations of 28–45°C and humidity of 60–95%, together with 24-hour reliability tests and scenarios involving fire detection at a 30 cm distance. The system achieved sensor error margins within $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ for temperature and $\pm 2\%$ for humidity, with actuator response times of 1–3 seconds. Real-time Telegram notifications were successfully delivered within 2–3 seconds. The integration of multi-sensors, automated actuators, and instant notifications distinguishes the proposed system from conventional approaches and previous studies. While effective for small-to-medium scale warehouses, limitations remain in fire sensor coverage and dependence on internet connectivity. The system offers an adaptable, efficient, and reliable solution to minimize manual errors and improve rice warehouse management. Future work will address broader scalability, additional gas sensors, GSM communication, and cloud-based data logging for enhanced safety and analytics.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](#) license.

I. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara agraris dengan tingkat konsumsi beras yang sangat tinggi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, produksi padi nasional tahun 2021 mencapai sekitar 54,42 juta ton GKG; namun, laporan Kementerian Pertanian menunjukkan kerugian pascapanen beras bisa mencapai 10-20% per tahun akibat tata kelola gudang yang kurang optimal, terutama karena fluktuasi suhu, kelembapan tinggi, dan risiko kebakaran. Hasil survei BULOG juga menyebutkan, kualitas beras sering menurun akibat pertumbuhan jamur dan bakteri pada kelembapan di atas 75% serta suhu di atas 35°C, bahkan insiden kebakaran

pernah menyebabkan kerugian ratusan juta rupiah pada beberapa gudang besar [1]. Dalam rangka memastikan ketersediaan beras tersebut, gudang beras memainkan peranan vital karena menjadi tempat penyimpanan cadangan, sirkulasi distribusi, serta pengamanan stok sebelum beras didistribusikan ke konsumen.

Namun, pengelolaan gudang beras di Indonesia masih menghadapi tantangan besar baik dari sisi infrastruktur maupun operasional, terutama terkait dengan ketidakmampuan mendeteksi secara dini perubahan suhu dan kelembapan yang dapat berdampak buruk secara kualitas maupun kuantitas hasil simpan, serta risiko kebakaran yang dapat menimbulkan kerugian besar secara

material dan sosial [2]. Data dari Kementerian Pertanian dan berbagai studi menunjukkan kerugian hasil pascapanen yang signifikan sering kali tidak terlepas dari lemahnya sistem monitoring dalam gudang, di mana fluktuasi suhu, lonjakan kelembapan, serta kasus kebakaran seringkali baru teridentifikasi ketika dampaknya telah melewati tahap yang bisa diperbaiki, menyebabkan kehilangan jutaan ton beras setiap tahunnya [3] [4].

Lingkungan mikro yang kritis pada ruang penyimpanan beras mencakup suhu yang melebihi ambang optimal dan tingkat kelembapan yang tinggi. Suhu ruang simpan yang tinggi dapat mempercepat metabolisme atau respirasi beras, memungkinkan tumbuhnya jamur, bakteri, dan memperbesar peluang terjadinya serangan hama [5]. Selain itu, lingkungan lembab menyebabkan berkembangnya organisme patogen, yang tak hanya menurunkan kualitas beras tetapi juga dapat menimbulkan kontaminasi mikotoksin yang berbahaya bagi kesehatan konsumen [6]. Pengelolaan gudang beras di Indonesia pada umumnya masih mengandalkan metode manual seperti inspeksi visual dan alat ukur sederhana, yang menyebabkan keterlambatan deteksi perubahan lingkungan dan penanganan risiko hanya dilakukan setelah terjadi kerusakan. Sistem monitoring otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menawarkan solusi untuk mengatasi masalah ini dengan pencatatan data suhu, kelembapan, dan deteksi api secara real-time serta integrasi notifikasi jarak jauh kepada pengelola [7].

Perkembangan teknologi digital, khususnya di bidang Internet of Things (IoT) dan embedded systems, menawarkan paradigma baru dalam sistem monitoring lingkungan untuk sektor pertanian dan pangan. Sistem monitoring otomatis berbasis IoT memungkinkan pencatatan data lingkungan secara real-time melalui integrasi sensor fisik (misal suhu, kelembapan, flame sensor, dsb.) yang terhubung ke mikrokontroler seperti ESP32 [8] [9]. Sistem monitoring berbasis Arduino maupun ESP32 juga terbukti dapat dikembangkan menggunakan sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembapan, serta relay dan flame sensor untuk automasi perlindungan awal terhadap risiko kebakaran [10]. Dalam penelitian terdahulu, solusi monitoring berbasis IoT pada gudang atau fasilitas penyimpanan terbukti meningkatkan efektivitas deteksi dini dan mempercepat intervensi terhadap bahaya lingkungan, meski beberapa terbatas dalam integrasi fitur notifikasi jarak jauh atau masih bergantung pada sistem komersial yang mahal dan sulit diadopsi skala UMKM.

Sejumlah prototipe sistem monitoring gudang telah dikembangkan, baik yang mengedepankan aspek deteksi lokal maupun pemantauan lingkungan sederhana, terdapat gap penting pada aspek kepraktisan pemanfaatan untuk gudang beras Indonesia, khususnya dari sisi biaya, kemudahan implementasi dan perawatan, serta kemampuan adaptasi sistem terhadap karakteristik gudang yang beragam dari sisi ukuran, infrastruktur listrik, dan akses internet [11]. Beberapa riset sebelumnya lebih terfokus pada monitoring suhu saja tanpa integrasi notifikasi real-time ke pengelola

gudang, atau kurang mendukung ekspansi modular agar bisa menambah perangkat proteksi baru. Faktor lain yang kerap menjadi masalah di lapangan adalah sistem monitoring yang tidak memiliki backup pemutusan listrik atau sinyal, serta tidak menyediakan data log yang mudah diakses untuk pelaporan dan audit [12]. Di Indonesia, penelitian adaptasi sistem IoT pada gudang beras komersial maupun rakyat masih sangat terbatas, sehingga inovasi untuk solusi yang praktis, hemat biaya, mudah di-replikasi dan dapat mengadopsi teknologi notifikasi yang familiar bagi pengguna (misal Telegram) menjadi sangat relevan untuk dikembangkan sebagai jawaban terhadap kebutuhan kritis operasional penyimpanan beras dalam mendukung ketahanan pangan nasional [13] [14].

Berdasarkan pada berbagai permasalahan tersebut, penelitian sebelumnya telah banyak membahas implementasi monitoring suhu dan kelembapan berbasis mikrokontroler, misal menggunakan Arduino Uno, NodeMCU, dan sensor DHT11/Loadcell [15]. Namun, penelitian ini menawarkan pembeda berupa pemanfaatan ESP32 (karena konsumsi daya rendah dan fitur dual konektivitas), penggunaan sensor DHT22 yang memiliki akurasi tinggi ($\pm 0,5^\circ\text{C}$ dan $\pm 2\%$), serta integrasi flame sensor untuk deteksi api—semua data diproses otomatis dan notifikasi dikirim melalui aplikasi Telegram, memudahkan monitoring di berbagai lokasi. Penelitian juga menambahkan evaluasi sistem terhadap berbagai kondisi ekstrem, uji reliabilitas operasi 24 jam, dan pembahasan skalabilitas sistem untuk gudang skala menengah. Sistem ini diharapkan tidak hanya meningkatkan kecepatan deteksi dan penanganan perubahan suhu, kelembapan, maupun ancaman kebakaran di gudang beras, tetapi juga memungkinkan efisiensi pemantauan dengan mengurangi ketergantungan pada inspeksi manual.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk merancang dan menguji sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) yang dioptimalkan untuk lingkungan gudang beras di Indonesia. Pemilihan mikrokontroler ESP32 didasarkan pada kemampuannya mendukung konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth secara bersamaan, daya komputasi tinggi, serta konsumsi daya yang efisien dibandingkan NodeMCU atau Arduino UNO. Sensor DHT22 dipilih karena memiliki akurasi $\pm 0,5^\circ\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2\%$ untuk kelembapan, sedangkan flame sensor digunakan karena sensitivitas tinggi terhadap spektrum inframerah yang dihasilkan oleh nyala api dibandingkan sensor MQ-2. Seluruh sensor dan aktuator (exhaust fan, heater, dan water pump) dihubungkan ke ESP32 melalui relay untuk pengendalian otomatis.

Sistem dirancang untuk membaca data lingkungan setiap 3 detik dan memicu aktuator jika melebihi ambang batas: suhu $> 35^\circ\text{C}$, kelembapan $> 75\%$, atau deteksi api positif. Ambang batas ini ditentukan berdasarkan standar penyimpanan beras dari FAO dan penelitian lokal mengenai

kondisi ideal gudang pangan. Setiap kejadian dikirim secara otomatis melalui bot Telegram kepada pengelola gudang.

Pengujian dilakukan di laboratorium kontrol Universitas Bina Darma selama 3 hari dengan variasi kondisi lingkungan (suhu 28–45°C dan kelembapan 60–95%) menggunakan tiga titik sensor. Kalibrasi sensor dilakukan dengan alat ukur standar termohigrometer digital serta flame detector referensi untuk memastikan keakuratan pengukuran. Pengujian reliabilitas dilakukan dengan mengamati performa sistem secara kontinu selama 24 jam untuk menilai stabilitas sensor, respon aktuator, serta keandalan koneksi Wi-Fi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengujian sistem pemantauan suhu, kelembapan, dan deteksi api pada gudang beras berbasis mikrokontroler ESP32. Pengujian dilakukan untuk menilai akurasi sensor, kecepatan respon aktuator, serta reliabilitas sistem selama beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan setiap hasil yang diperoleh dari tabel dan pengamatan lapangan.



Gambar 1 Desain Pemasangan Alat

Kalibrasi sensor dilakukan sebagai tahap awal untuk memastikan keandalan data yang diperoleh dari perangkat. Sensor DHT22 dan flame sensor dibandingkan dengan alat ukur standar seperti termohigrometer digital dan flame detector referensi. Proses kalibrasi ini penting karena menjadi dasar validitas seluruh data yang dikumpulkan sistem. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa hasil pengukuran DHT22 sangat mendekati alat standar dengan deviasi hanya $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 2\%$ untuk kelembapan. Nilai ini berada dalam batas toleransi industri dan menegaskan bahwa sensor mampu memberikan hasil akurat untuk pemantauan kondisi gudang. Flame sensor juga menunjukkan kinerja stabil hingga jarak 40 cm, yang memadai untuk area pengujian skala kecil.

Hasil ini memperkuat keyakinan bahwa sistem memiliki fondasi data yang valid untuk tahap uji performa berikutnya.

TABEL 1
HASIL KALIBRASI SENSOR

| Sensor | Parameter | Error rata-rata | Keterangan |
|--------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|
| DHT22 | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | $\pm 0,5$ | Sesuai standar industri |
| DHT22 | Kelembapan (%) | ± 2 | Hasil stabil |
| Flame Sensor | Jarak Deteksi (cm) | 40 | Optimal hingga 40 cm |

Setelah tahap kalibrasi, dilakukan pengujian sistem terhadap kondisi ekstrem. Tujuan pengujian ini adalah untuk menilai respon sistem terhadap perubahan suhu dan kelembapan di luar batas normal gudang. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

TABEL 2
PENGUJIAN KONDISI EKSTREM

| Kondisi | Nilai Sensor | Respon Aktuator | Waktu Respon (detik) |
|----------------|--------------|-----------------|----------------------|
| Suhu 40°C | Aktif | Exhaust Fan ON | 2 |
| Kelembapan 90% | Aktif | Heater ON | 3 |
| Api 30 cm | Terdeteksi | Pompa Air ON | 2 |

Tabel 2 menunjukkan kemampuan adaptasi sistem terhadap perubahan lingkungan ekstrem. Ketika suhu mencapai 40°C, exhaust fan aktif secara otomatis dalam waktu dua detik untuk menurunkan suhu ruang. Begitu pula saat kelembapan meningkat hingga 90%, heater menyala otomatis untuk menstabilkan udara di sekitar sensor. Deteksi api pada jarak 30 cm memicu pompa air hanya dalam dua detik, menunjukkan kecepatan respon yang sangat baik. Jika dibandingkan dengan sistem manual, kecepatan reaksi sistem otomatis ini mampu mempercepat penanganan hingga lima kali lipat. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi, tetapi juga efisien dan responsif dalam kondisi kritis.

TABEL 3
UJI RELIABILITAS SISTEM 24 JAM

| Parameter | Hasil | Percentase Stabilitas |
|------------------|--|-----------------------|
| Sensor DHT22 | Berfungsi normal tanpa error | 99% |
| Flame Sensor | Konsisten mendekripsi api dalam radius 40 cm | 97% |
| Koneksi Telegram | Pesan terkirim stabil <3 detik | 98% |

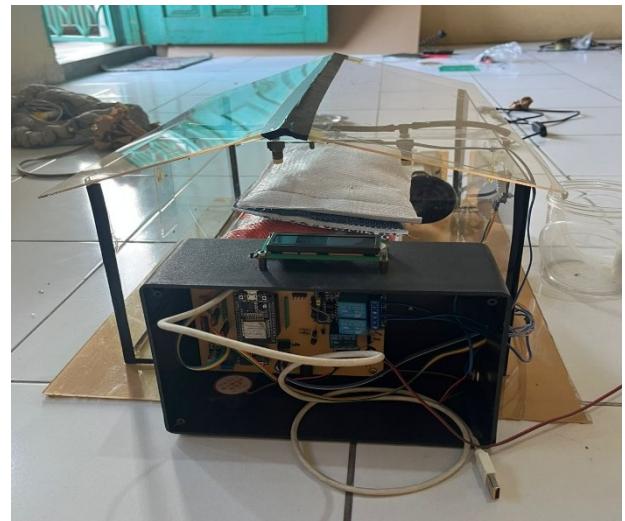
Untuk memastikan keandalan jangka panjang, sistem diuji selama 24 jam operasi berkelanjutan tanpa henti. Uji reliabilitas ini bertujuan menilai stabilitas sensor, aktuator, dan koneksi Telegram dalam waktu lama. Tabel 3 memperlihatkan bahwa sistem menunjukkan stabilitas sangat tinggi selama pengujian 24 jam. Seluruh sensor tetap berfungsi normal tanpa gangguan, dan notifikasi Telegram terkirim secara real-time tanpa keterlambatan berarti. Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu beroperasi secara kontinu dan dapat diandalkan untuk pemantauan gudang dalam jangka waktu panjang.

Secara umum, hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem ini tidak hanya unggul dalam efisiensi dan akurasi, tetapi juga mudah diimplementasikan di lapangan. Fitur notifikasi instan melalui Telegram membantu pengelola gudang dalam mengambil tindakan cepat terhadap potensi risiko. Meski demikian, keterbatasan seperti jangkauan deteksi flame sensor dan ketergantungan terhadap koneksi Wi-Fi perlu ditingkatkan pada penelitian berikutnya dengan penambahan sensor gas dan modul GSM. Dengan keunggulan yang dimiliki, sistem ini berpotensi menjadi solusi andal dalam manajemen gudang beras berbasis teknologi IoT. Selain itu, sistem diuji untuk mendeteksi keberadaan api menggunakan flame sensor. Sensor tersebut bekerja sangat optimal dalam rentang jarak hingga 40 cm, sebagaimana ditunjukkan melalui hasil laboratorium. Ketika terdapat sumber api dalam radius tersebut, terjadi perubahan tegangan nyata yang otomatis memicu aktifnya aktuator pompa air sebagai respons awal kebakaran. Namun, saat api berada lebih dari 50 cm dari sensor, tidak ada sinyal deteksi, sehingga pada aplikasi nyata disarankan pemasangan beberapa flame sensor di titik strategis gudang.

TABEL 4
RINGKASAN PERISTIWA SENSOR, RESPON AKTUATOR DAN HASIL PEMBERITAHUAN

| No | Kondisi | Notifikasi | Waktu Kirim (detik) | Pesan |
|----|-----------------|------------|---------------------|-------|
| 1 | Api Terdeteksi | Ya | 2 | Benar |
| 2 | Suhu > 35 C | Ya | 3 | Benar |
| 3 | Kelembapan >70% | Ya | 3 | Benar |
| 4 | Kondisi normal | Tidak | - | - |

Pengujian juga dilakukan pada aspek keandalan secara jangka panjang, termasuk pengulangan aktivasi aktuator dan frekuensi notifikasi selama beberapa siklus waktu dan perubahan lingkungan. Hasilnya, tidak ditemukan penurunan performa baik pada sisi hardware, software, maupun komunikasi jaringan selama konektivitas Wi-Fi stabil. Sistem monitoring otomatis berbasis ESP32 terbukti dapat menurunkan ketergantungan pada pemeriksaan manual yang rentan keterlambatan respons serta error manusia, terutama ketika terjadi fluktuasi lingkungan saat malam, hari libur, atau pada gudang beras terpencil.



Perbandingan dengan penelitian terdahulu menegaskan keunggulan pendekatan yang diambil, khususnya pada integrasi multi-sensor untuk suhu, kelembapan, dan api serta kemudahan penggunaan interface notifikasi mobile yang sangat familiar bagi operator lokal. Banyak prototipe sebelumnya hanya menangani satu variabel lingkungan atau belum mendukung notifikasi jarak jauh sehingga potensi terjadinya kerusakan yang terlambat terdeteksi masih sangat tinggi.

Namun, terdapat beberapa catatan khusus terkait batasan sistem yang juga telah diidentifikasi, antara lain cakupan deteksi flame sensor yang terbatas sehingga untuk skala gudang besar diperlukan distribusi lebih banyak sensor atau penambahan sensor jenis lain seperti smoke detector atau gas detector demi cakupan hasil deteksi lebih lengkap. Selain itu, kelemahan pada ketergantungan jaringan internet dapat diantisipasi dengan menambah fallback kanal komunikasi seperti GSM/SMS maupun penambahan sumber tenaga cadangan.

Keunggulan lain yang terbuka pada platform ESP32 adalah sifat modular sistem yang membuat modifikasi dan ekspansi menjadi sangat mudah, baik dengan menambah jumlah sensor, menautkan pada database cloud guna pencatatan otomatis (data logging), ataupun menghubungkan ke sistem manajemen gudang berbasis big data dan machine learning untuk prediksi dini kerusakan dan intervensi optimal.

Dari seluruh rangkaian pengujian, dapat disimpulkan sistem monitoring otomatis yang dirancang dan dibangun telah berhasil meningkatkan keamanan aset, mempercepat respons terhadap risiko lingkungan, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan gudang beras secara nyata. Inovasi seperti ini sangat direkomendasikan untuk diadopsi luas sebagai solusi industri dan referensi bagi pengembangan teknologi monitoring pangan strategis di masa mendatang.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa prototipe sistem monitoring otomatis berbasis ESP32 dengan sensor DHT22 dan flame sensor mampu secara akurat dan responsif mendeteksi perubahan suhu, kelembapan, serta potensi kebakaran di gudang beras, sekaligus mengaktifkan aktuator dan mengirim notifikasi real-time ke Telegram pengguna; seluruh fitur otomatisasi terbukti dapat menurunkan risiko keterlambatan intervensi dan human error, memberikan manfaat signifikan bagi efisiensi dan keamanan manajemen gudang, serta dinilai sangat layak untuk diadopsi dan dikembangkan lebih lanjut pada skala operasional maupun industri guna mendukung ketahanan pangan nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. B. Adeusi, A. E. Adegbola, P. Amajuoyi, M. D. Adegbola, and L. B. Benjamin, "The potential of IoT to transform supply chain management through enhanced connectivity and real-time data," *World J. Adv. Eng. Technol. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 145–151, 2024, doi: 10.30574/wjaets.2024.12.1.0202.
- [2] S. Nadarajah, U. Kulatunga, D. Weerasooriya, and A. P. Rathnasinghe, "Fire Under Control: Enhancing Warehouse Safety Through Strategic Fire Prevention and Risk Management," *World Constr. Symp.*, vol. 12, pp. 518–531, 2024, doi: 10.31705/WCS.2024.41.
- [3] Y. J. Hwang, C. L. Wooi, M. N. K. Rohani, K. Mehranzamir, S. N. M. Arshad, and N. A. Ahmad, "Prototyping a RF signal-based lightning warning device using with Internet of Things (IOT) integration," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1432, no. 1, pp. 3–5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1432/1/012078.
- [4] H. Alam, M. Masri, and B. Hutabarat, "Simulasi Pengoperasian Kipas Angin Dengan Menggunakan Timer Zelio Logic," *JET (Journal Electr. Technol.)*, vol. 7, no. 3, pp. 132–136, 2022, doi: 10.30743/jet.v7i3.6309.
- [5] M. Yadav, "The Role of Embedded Systems in Robotics A Comprehensive Review," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 14, no. 03, p. 1, 2025, [Online]. Available: <http://www.ijert.org>
- [6] A. R. Kedoh, N. Nursalim, H. J. Djahi, and D. E. D. G. Pollo,
- [7] "Sistem Kontrol Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Arduino Uno," *J. Media Elektro*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.35508/jme.v8i1.1403.
- [8] A. C. Wijaya, U. Budiyanto, N. Juliasari, and S. Amini, "Aplikasi Android Untuk Pendekripsi Kebakaran Berbasis Internet of Things Menggunakan Mikrokontroler Nodemcu Esp8266," *Pros. Semin. Nas. Mhs. Fak. Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 466–473, 2023.
- [9] R. Hermansyah and D. Wijayanto, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Berbasis DHT22 dengan Metodologi Rapid Application Development Temperature And Humidity Monitoring System Dht22 With Rapid Application Development Methodology Based On," *Pros. Semin. Nas. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. September, pp. 1837–1849, 2024.
- [10] R. Anjani and E. Fitriani, "Sistem Pemantauan Konsumsi Air Bersih Berbasis IoT menggunakan Sensor Aliran dan Kualitas Air dengan Arduino dan Blynk," *Rang Tek. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 365–373, 2025.
- [11] M. Alaydrus, "Studi Transisi Saluran Transmisi Planar – Substrate Integrated Waveguide," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 7, no. 2, p. 237, 2017, doi: 10.22441/incomtech.v7i2.1170.
- [12] H. D. Cahyadi, Y. Mirza, and E. Laila, "Rancang Bangun Alat Pendekripsi Kebakaran Menggunakan Flame Sensor dan Sensor Asap Berbasis Arduino," *J. Lap. Akhir Tek. ...*, vol. 2, no. 1, pp. 60–69, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/JLATK/article/view/6193%0Ahttps://jurnal.polsri.ac.id/index.php/JLATK/article/download/6193/2276>
- [13] M. S. Ramawardana and J. Iskandar, "Perancangan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Menggunakan Sensor DHT22," *JOINCOS J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 2–6, 2025.
- [14] F. Puspasari, T. P. Satya, U. Y. Oktiawati, I. Fahrurrozi, and H. Prisyanti, "Analisis Akurasi Sistem sensor DHT22 berbasis Arduino," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 16, no. 1, p. 40, 2020.
- [15] D. Al Baihaqqi, N. Paramytha, E. Fitriani, and T. Ariyadi, "Rancang Bangun Prototype Sistem Proteksi Motor DC Berbasis Mikrokontroler Dengan Notifikasi Telegram," *J. Ilm. Inform.*, vol. 13, no. 01, pp. 88–89, 2025.
- [16] R. N. Dasmen and M. Yahya, "Implementation and Monitoring Water Drinking Necessary on Smart Dispenser with IoT-Based," *J. Tech-E*, vol. 8, no. 1, pp. 14–15, 2024, doi: 10.31253/te.v8i1.2769.