

SKRIPSI

**Desain Sistem Monitoring dan Kontrol Oven Berbasis
IOT dengan Aplikasi Android**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh:

I Kadek Krisna Dwipa Merta Semadi

NIM. 2115344045

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Landasan Teori.....	5
2.2.1 ESP32.....	5
2.2.2 Elemen Panas (Heating Element)	6
2.2.3 Termokopel Tipe K	7
2.2.4 Relay 4 Channel.....	7
2.2.5 Layar TFT 3.5 Inch	8
2.2.6 Mikro Switch	8
BAB III	13
METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Rancangan Sistem.....	13
3.1.1 Rancangan Hardware	13
3.1.2 Rancangan Software	18
3.2 Pembuatan Alat.....	21
3.2.1 Langkah Pembuatan Alat	21
3.2.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Analisa Hasil Penelitian	23
3.4 Hasil yang Diharapkan.....	24
BAB IV	25
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Implementasi	25
4.1.1 Implementasi Hardware	25

4.2 Hasil Pengujian Sistem	40
4.2.1 Pengujian Alat	40
4.2.2 Pengujian Aplikasi	42
4.2.3 Pengujian Parameter-Parameter yang Diamati	44
4.3 Pembahasan Hasil Implementasi dan Pengujian.....	55
4.3.1 Analisa Keakurasian Sensor Thermocouple	55
4.3.2 Analisa Waktu Pemanas Heater	56
4.3.3 Analisa Pengujian Antara Suhu Target dan Status Relay	56
BAB V.....	57
SIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ESP32 Devkit V1	6
Gambar 2.2 Heating Element.....	7
Gambar 2.3 Thermocouple Tipe K	7
Gambar 2.4 Modul Relay 4 Channel	8
Gambar 2.5 TFT Display	8
Gambar 2.6 Microswitch	9
Gambar 2.7 Power Supplay 12V5A.....	10
Gambar 2.8 KSD301 Thermostat Dispenser Fuse 250°C 10A.....	11
Gambar 2.9 MCB.....	11
Gambar 3.1 Blok Diagram Perancangan Perangkat Mikrokontroler.....	14
Gambar 3.2 Wirring Diagram	15
Gambar 3.3 Flowchart	17
Gambar 3.4 Rancangan Panel Box	17
Gambar 3.5 Rancangan Oven Listrik.....	18
Gambar 3.6 Rancangan Database pada Firebase	19
Gambar 3.7 Rancangan Aplikasi Halaman Utama.....	20
Gambar 3.8 Rancangan Aplikasi Halaman Monitoring.....	20
Gambar 3.9 Rancangan Aplikasi Halaman Setting.....	21
Gambar 4.1 Tampak Oven Otomatis.....	26
Gambar 4.2 Tampak Bagian Panel Box	26
Gambar 4.3 Program Konfigurasi ESP32 (1)	28
Gambar 4.4 Program Inisialisasi ESP32 (1)	29
Gambar 4.5 Program Void Loop ESP32 (1).....	31
Gambar 4.6 Program Void Loop ESP32 (1).....	32
Gambar 4.7 Program Konfigurasi ESP32 (2)	33
Gambar 4.8 Program Void Loop ESP32 (2).....	34
Gambar 4.9 Program Pembacaan Data ESP32 (2).....	36
Gambar 4.10 Realtime Database pada Firebase.....	36
Gambar 4.11 Blok Program Kodular(1).....	37
Gambar 4.12 Blok Program Kodular(2)	38
Gambar 4.13 Blok Program Kodular(3)	38
Gambar 4.14 Blok Program Kodular(4)	39

Gambar 4.15 Pengujian Mikrokontroler ESP32 Devkit V1	40
Gambar 4.16 Program Pengujian Mikrokontroler	40
Gambar 4.17 Tampilan LED pada Mikrokontroler Menyala.....	41
Gambar 4.18 Pengujian Relay	41
Gambar 4.19 Pengujian MAX6675	42
Gambar 4.20 Pengujian TFT Display	42
Gambar 4.21 Halaman Awal	43
Gambar 4.22 Halaman Kontrol dan Monitoring	43
Gambar 4.23 Halaman Setting	44
Gambar 4.24 Hasil Pengujian Sensor Thermocouple(1)	47
Gambar 4.25 Hasil Pengujian Sensor Thermocouple(2)	47
Gambar 4.26 Hasil Pengujian Sensor Thermocouple(3)	48
Gambar 4.27 Hasil Pengujian Sensor Thermocouple(4)	48
Gambar 4.28 Hasil Pengujian Sensor Thermocouple(5)	49
Gambar 4.29 Hasil Pengujian Waktu Pemanasan Heater (1).....	50
Gambar 4.30 Hasil Pengujian Waktu Pemanasan Heater (2).....	50
Gambar 4.31 Hasil Pengujian Waktu Pemanasan Heater (3).....	51
Gambar 4.32 Hasil Pengujian Waktu Pemanasan Heater (4).....	51
Gambar 4.33 Hasil Pengujian Waktu Pemanasan Heater (5).....	52
Gambar 4.34 Hasil Pengujian Antara Suhu Target Dan Status Relay (1).....	53
Gambar 4.35 Hasil Pengujian Antara Suhu Target Dan Status Relay (2).....	53
Gambar 4.36 Hasil Pengujian Antara Suhu Target Dan Status Relay (3).....	54
Gambar 4.37 Hasil Pengujian Antara Suhu Target Dan Status Relay (4).....	54
Gambar 4.38 Hasil Pengujian Antara Suhu Target Dan Status Relay (5).....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Keterangan Gambar	15
Tabel 3.2 Penjelasan Pin Komponen ke ESP32	16
Tabel 3.3 Alat yang Digunakan	22
Tabel 3.4 Bahan Komponen Mikrokontroler.....	22
Tabel 3.5 Bahan Oven	22
Tabel 3.5 Perangkat Lunak yang Digunakan.....	23
Tabel 3.6 Contoh pengambilan data keakurasian sensor thermocouple.....	23
Tabel 3.7 Contoh pengambilan data pengujian waktu pemanasan heater	24
Tabel 3.8 Contoh pengambilan data antara suhu target dan status relay	24
Tabel 4.1 Hasil pengambilan data keakurasian sensor thermocouple	44
Tabel 4.2 Hasil pengambilan data pengujian waktu pemanasan heater	49
Tabel 4.3 Hasil pengambilan data antara suhu target dan status relay	52

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol pada smart oven berbasis Internet of Things (IoT) melalui aplikasi Android. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor suhu thermocouple tipe K dengan modul MAX6675, serta modul relay sebagai pengendali elemen pemanas. Data suhu dan waktu pemanggangan dikirim secara real-time ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan pada aplikasi Android yang dirancang menggunakan Kodular. Sistem memungkinkan pengguna memantau suhu, mengatur waktu, serta mengendalikan oven dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan sensor thermocouple memiliki akurasi tinggi dengan nilai 98,16%–99,86% dan error 0,14%–1,84%. Relay bekerja sesuai logika kontrol suhu, menjaga stabilitas suhu sesuai setpoint, dan waktu pemanasan bervariasi tergantung suhu target. Sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kenyamanan dalam proses pemanggangan, serta dapat diadaptasi untuk perangkat lain yang memerlukan pengendalian suhu dan waktu berbasis IoT.

Kata kunci: Smart oven, IoT, ESP32, thermocouple, Firebase, Android

ABSTRACT

This study aims to design and implement a monitoring and control system for a smart oven based on the Internet of Things (IoT) using an Android application. The developed system utilizes an ESP32 microcontroller, a K-type thermocouple temperature sensor with a MAX6675 module, and a relay module to control the heating element. Temperature and baking time data are transmitted in real time to the Firebase Realtime Database and displayed on an Android application built using Kodular. The system enables users to monitor temperature, set baking time, and control the oven remotely. Test results show that the thermocouple sensor achieves high accuracy, with values ranging from 98.16% to 99.86% and errors between 0.14% and 1.84%. The relay operates according to temperature control logic, maintaining temperature stability at the setpoint, and heating times vary depending on the target temperature. This system successfully enhances efficiency, safety, and convenience in the baking process and can be adapted for other devices requiring IoT-based temperature and time control.

Keywords: Smart oven, IoT, ESP32, thermocouple, Firebase, Android

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Oven adalah salah satu perangkat dapur yang berperan sangat penting dalam memasak, terutama untuk memanggang kue, roti, dan hidangan panggang lainnya. Alat ini menggunakan panas terkontrol yang mampu mematangkan makanan secara merata dan menghasilkan tekstur serta cita rasa yang optimal. Seiring kemajuan teknologi, oven telah berkembang dari model tradisional—seperti oven tangkring—ke oven listrik, gas, hingga oven berteknologi tinggi yang menawarkan presisi dan keamanan yang lebih baik [2].

Jenis-jenis oven yang umum digunakan mencakup oven tangkring (konvensional), oven listrik, oven gas, oven konveksi, dan steam oven. Oven tangkring adalah model sederhana yang mengandalkan panas dari kompor, sementara oven listrik lebih stabil dalam menjaga suhu. Oven gas sering digunakan di industri karena kapasitas dan kecepatannya. Oven konveksi memakai kipas untuk sirkulasi panas merata, sedangkan steam oven menggunakan uap air untuk menjaga kelembapan makanan, membuatnya lebih sehat dan menjaga tekstur makanan [4], [5].

Pengaturan suhu adalah kunci dalam memanggang kue. Banyak resep menyarankan suhu sekitar 350 °F (± 175 °C) sebagai standar karena rentang ini mendukung proses kimia seperti karamelisasi dan reaksi Maillard, yang memberikan warna keemasan dan aroma khas pada kue [1]. Indikator kematangan juga bisa dilihat dari suhu internal adonan, seperti quick breads dan cakes matang sempurna pada kisaran 200–210 °F (± 93 –99 °C) [3].

Namun, penggunaan oven juga membawa potensi risiko. Menurut data dari U.S. Fire Administration, memasak tanpa pengawasan adalah penyebab utama kebakaran rumah tangga—sekitar 170.000 insiden kebakaran domestik pada tahun 2021, dengan 37% disebabkan oleh peralatan memasak yang ditinggalkan menyala [6]. Demikian pula, menurut Waconia (MN) Fire Department, sekitar 45% kebakaran rumah tangga bermula dari aktivitas memasak, termasuk oven dan kompor [8]. Risiko ini semakin meningkat jika oven tertinggal menyala dalam keadaan kotor atau ada tumpahan minyak yang mudah terbakar [7].

Kesadaran pengguna sangat penting dalam menekan risiko tersebut. Meskipun banyak oven modern hadir dengan timer otomatis, sensor panas berlebih, dan sistem pemutus arus, peran pengguna tetap sangat menentukan keamanan. Membiasakan mematikan oven setelah digunakan, membersihkan sisa makanan dalam oven, dan tidak meninggalkannya tanpa pengawasan adalah langkah preventif penting untuk mencegah kebakaran [11].

Selain itu, steam oven kini semakin menarik dibicarakan karena keunggulannya. Menurut Better Homes & Gardens, steam oven—baik full steam dan combi—memberikan manfaat seperti mempertahankan kelembapan dan nutrisi makanan, memasak lebih cepat dan hemat energi dibandingkan oven konvensional, meskipun harganya lebih tinggi dan ukurannya lebih kecil [12].

Melalui pemahaman yang mendalam tentang fungsi oven, jenis-jenisnya, standar penggunaan suhu, serta kesadaran terhadap potensi bahaya—ditambah dengan pemanfaatan teknologi keamanan dan kebiasaan disiplin—penggunaan oven dapat tetap efisien dan aman, serta mendukung kenyamanan dan kualitas masakan dalam kehidupan sehari-hari.

Penggunaan aplikasi Android pada smart oven dipilih karena kemudahan akses dan fleksibilitas yang ditawarkannya. Android merupakan sistem operasi yang paling banyak digunakan di dunia, sehingga mempermudah pengguna dalam memantau dan mengendalikan oven langsung dari perangkat smartphone mereka. Dengan konektivitas berbasis Internet of Things (IoT), aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengatur suhu dan waktu pemanggangan secara real-time tanpa harus berada di dekat oven. Selain itu, aplikasi dapat memberikan notifikasi ketika proses memasak selesai atau jika terjadi anomali pada sistem, sehingga meningkatkan kenyamanan dan efisiensi penggunaan.

Aplikasi Android juga menawarkan antarmuka yang intuitif dan mudah dipahami, sehingga pengguna dari berbagai kalangan dapat mengoperasikan oven dengan lebih cepat dan efisien. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat memantau suhu internal oven, mengatur timer, serta mengaktifkan atau mematikan oven dari jarak jauh. Selain itu, aplikasi dapat menyimpan pengaturan favorit untuk berbagai jenis masakan, sehingga pengguna dapat mengulangi proses pemanggangan dengan hasil yang konsisten. Integrasi dengan fitur notifikasi push memastikan bahwa pengguna tidak akan melewatkan momen penting selama proses memasak, sehingga meningkatkan keamanan dan kenyamanan saat menggunakan oven.

Keunggulan lain dari aplikasi Android adalah kemampuan untuk memantau dan mengendalikan oven dari berbagai lokasi selama perangkat terhubung ke internet. Hal ini sangat bermanfaat bagi pengguna yang memiliki aktivitas padat, karena mereka dapat memulai atau menghentikan proses memasak tanpa harus berada di dapur. Selain itu, aplikasi dapat dilengkapi dengan fitur pemantauan riwayat penggunaan dan diagnostik sistem untuk mempermudah pemeliharaan dan mendeteksi potensi masalah pada oven. Dengan demikian, penggunaan aplikasi Android pada smart oven tidak hanya meningkatkan kenyamanan dan efisiensi, tetapi juga mendukung gaya hidup modern yang mengutamakan kemudahan dan fleksibilitas dalam menjalani aktivitas sehari-hari.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan paparan latar belakang di atas, beberapa permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian ini meliputi:

- a) Bagaimana merancang sistem kendali untuk memantau dan mengontrol suhu oven listrik secara otomatis dengan menggunakan aplikasi android?
- b) Bagaimana penerapan konsep *Internet of Things* dalam Sistem Smart Oven yang dikontrol dengan aplikasi android?
- c) Bagaimana kinerja sistem kendali suhu oven listrik yang telah dikembangkan?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian tetap fokus dan tidak meluas ke aspek yang kurang relevan, maka beberapa batasan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah:

- a) Penelitian ini hanya mengendalikan dua parameter utama, yaitu suhu dan waktu operasi oven.
- b) Sistem komunikasi yang digunakan dalam pengendalian oven adalah jaringan *WiFi* dari esp32 ke kodular
- c) Perangkat oven yang di gunakan dalam penelitian ini merupakan oven listrik prototipe yang hanya sampai mencapai suhu max di 250 derajat
- d) Sistem kontrol pada oven yang saya buat hanya berupa kendali otomatis dari aplikasi android yang harus terhubung ke wifi atau jaringan internet

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Dapat Merancang sistem kendali suhu otomatis pada oven listrik dengan teknologi IoT.

- b) Dapat Mengintegrasikan sistem pemantauan dan pengendalian suhu melalui jaringan internet.
- c) Dapat Melakukan evaluasi terhadap kinerja sistem kendali suhu oven listrik guna memastikan kestabilannya

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a) Mengetahui waktu operasi oven secara lebih akurat. Dengan adanya sistem pemantauan waktu mundur, pengguna dapat lebih mudah mengelola jadwal pemanggangan dan memastikan proses berjalan sesuai rencana.
- b) Memantau suhu oven secara *real-time* melalui aplikasi Android Informasi suhu yang diperbarui secara langsung memungkinkan pengguna mengawasi proses pemanasan secara lebih presisi, sehingga meminimalkan risiko kesalahan dalam pemanggangan.
- c) Mengendalikan waktu dan suhu oven dengan mudah Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengatur suhu dan waktu pemanggangan hanya dengan satu sentuhan melalui aplikasi berbasis Android.
- d) Penerapan kendali IoT yang fleksibel dan dapat diadaptasi untuk berbagai perangkat pemantauan suhu dan wakt

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sistem pengendalian suhu oven listrik berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan memanfaatkan sensor thermocouple sebagai pendeteksi utama, modul relay untuk menyalakan dan mematikan heater, serta aplikasi Android sebagai antarmuka pengguna. Sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengaturan suhu secara real-time melalui koneksi nirkabel, sehingga pengguna dapat mengontrol proses pemanasan tanpa intervensi langsung.

Penerapan konsep IoT dilakukan dengan menghubungkan mikrokontroler ke internet dan aplikasi Android, sehingga data suhu dari sensor dapat dikirim dan ditampilkan secara langsung. Sebaliknya, perintah pengaturan suhu dari aplikasi diteruskan ke sistem untuk mengendalikan relay. Dengan demikian, oven berfungsi sebagai perangkat cerdas yang dapat diawasi dan dikendalikan jarak jauh.

Sistem relay bekerja sesuai logika kontrol, mengaktifkan heater ketika suhu di bawah setpoint dan mematikannya saat mencapai atau melebihi target. Waktu pemanasan bervariasi tergantung selisih suhu awal dan target, di mana suhu target yang lebih tinggi memerlukan waktu lebih lama. Secara keseluruhan, sistem ini mampu menjaga suhu oven sesuai setpoint yang diinginkan.

5.2 Saran

Perlu dilakukan pemeliharaan rutin pada alat untuk menjaga kinerja optimal, meningkatkan keamanan, dan memperpanjang umur pakai, serta memberikan pelatihan singkat kepada pengguna agar pengoperasian lebih efektif dan minim risiko.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] JM Arick, K. Zamojski, dan A. Simonne, *Dry Heat: Baking, Roasting, and Broiling*, University of Florida IFAS EDIS, Nov. 2021. [Online]. Available: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/FY1501> Ask IFAS - Powered by EDIS
- [2] M. Arick dkk., “Baking quickly breads, cakes internal temp,” *EDIS IFAS*, 2021. [Online]. Available: same source above [FLVC Journals](#)
- [3] U.S. Fire Administration, *Cooking Fire Safety*, FEMA/USFA, 2021. [Online]. Available: <https://www.usfa.fema.gov/prevention/home-fires/prevent-fires/cooking/> Ask IFAS - Powered by EDIS
- [4] H. “Top 5 Benefits of a Steam Oven,” *Rustic Kitchen & Bath*, 2023. [Online]. Available: <https://www.rustickitchenandbath.com/a/blog/top-5-benefits-of-a-steam-oven> Rustic Kitchen & Bath
- [5] “Steam Ovens: 5 Cooking Benefits,” *John’s Appliance & Bedding Blog*, 2023. [Online]. Available: <https://www.johnsabc.com/blog/5-steam-oven-benefits> John’s Appliance & Bedding
- [6] Better Homes & Gardens, “What Is a Steam Oven? Pros and Cons of the Popular Kitchen Appliance,” 2024. [Online]. Available: <https://www.bhg.com/what-is-a-steam-oven-8425960> Better Homes & Gardens
- [7] The Spruce Eats, “Dry Heat Cooking Methods,” 2019. [Online]. Available: <https://www.thespruceeats.com/dry-heat-cooking-methods-t2-995494> The Spruce Eats
- [8] FoodAboveGold, “Baking and Roasting: Cooking Methods 101,” 2023. [Online]. Available: <https://www.foodabovegold.com/baking-and-roasting/> Food Above Gold
- [9] Vienna bread entry, *Wikipedia*, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Vienna_bread Wikipedia
- [10] “TSG Stein & Gold: Why Steam Ovens Trendy,” *Architectural Digest*, 2018. [Online]. Available: <https://www.architecturaldigest.com/story/gaggenau-new-combi-steam-oven> Architectural Digest
- [11] Epicurious, “This Steam Oven Is Changing the Way I Bake,” 2023. [Online]. Available: <https://www.epicurious.com/shopping/this-steam-oven-is-changing-the-way-i-bake> Epicurious
- [12] “Steam Oven vs Microwave,” *The Spruce*, 2025. [Online]. Available: <https://www.thespruce.com/steam-oven-vs-microwave-11685861>
- [13] T. R. Yudantoro, L. Hestningsih, S. Sukamto, and L. Triyono, “PENERAPAN TEKNOLOGI IoT PADA SMART OVEN UNTUK TOKO ROTI DANISA,” *Pros. Semin. Has. Penelit. Dan Pengabd. Masy.*, vol. 3, no. 1, Art. no. 1, Jul. 2021, Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/Sentrikom/article/view/271>
- [14] E. Hariadi, Y. Anistyasari, M. S. Zuhrie, and R. E. Putra, “Mesin Oven Pengereng Cerdas Berbasis Internet of Things (IoT),” *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, vol. 2, no. 1, pp. 18–23, 2019, doi: 10.26740/inajet.v2n1.p18-23

- [15] M. A. B. Muhit, N. Widiyasono, and Rianto, "Pengembangan Smart Oven Daun Kelor Berbasis Internet of Things," *Proceeding Seminar Nasional Teknologi dan Sains (STAINS)*, vol. 2, Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2023. [Online]. Available: <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/stains/article/view/2747>
- [16] Espressif Systems, "ESP32," *Wikipedia*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32>
- [17] Maker Advisor, "ESP32 vs ESP8266 – Pros and Cons," *Maker Advisor*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/>
- [18] Sigma Blog, "ESP32 vs ESP8266: 4 Key Differences for IoT Developers," *Sigma Blog*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://blog.sigma.com/introduction-and-comparison-esp32-vs-esp8266/>
- [19] "Sistem Pengereng Daun Kelor Berbasis Internet of Things dan Artificial Intelligence | Sudiarsa | IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)." Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: https://jurnal.ugm.ac.id/ijeis/article/view/89823?utm_source=chatgpt.com
- [20] Espressif Systems, "ESP32 Series of SoCs," *Espressif Systems*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/>
- [21] Espressif Systems, "ESP32 Datasheet," *Espressif Systems*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [22] Espressif Systems, "ESP32 Wi-Fi Radio and Baseband," *Espressif Systems*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [23] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," *Espressif*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [24] *Wikipedia*, "ESP32," *Wikipedia*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32>
- [25] Diego Paez (GitHub), "Basic Examples of FreeRTOS for the ESP32 Using ESP-IDF," *GitHub*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://github.com/DiegoPaezA/ESP32-freeRTOS>
- [26] TomW3115, "Implementing FreeRTOS Solutions on ESP32 Devices using Arduino," *Medium*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/@tomw3115/implementing-freertos-solutions-on-esp-32-devices-using-arduino-fa64c5d88605>
- [27] Arduino-based research in smart farming applications, "A Low-Energy Solution for IoT-Based Smart Farms," *White Rose eTheses*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: https://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/33647/1/A_Low_Energy_Security_Solution_for_IoT_Based_Smart_Farms.pdf

- [28] CirKit Designer, “How to Use ESP32 Devkit V1: Examples, Pinouts, and Specs,” *CirKit Designer Docs*. Accessed: Aug. 5, 2025. [Online]. Available: <https://docs.cirkitdesigner.com/component/518495d5-e179-49dc-aafe-d7d40a222bea/esp32-dev-kit-v1>