

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI OTOMATIS AC DAN PENGHARUM RUANGAN MASJID BERBASIS MULTI-SENSOR UNTUK KENYAMANAN JAMAAH

Nursendi Putra Wahyudi; Bambang Hari Purwoto, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Pengoperasian *Air Conditioner* (AC) dan pengharum ruangan pada masjid umumnya masih dilakukan secara manual sehingga belum mampu menyesuaikan kondisi lingkungan secara dinamis. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi kenyamanan jamaah dalam melaksanakan ibadah karena suhu ruangan dan kualitas udara tidak selalu sesuai dengan kebutuhan aktual. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan masjid berbasis multi-sensor untuk meningkatkan kenyamanan jamaah. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama yang terintegrasi dengan sensor AHT20 untuk mengukur suhu ruangan, sensor MH-Z19 untuk mendeteksi konsentrasi karbon dioksida (CO₂), serta Aladhan API untuk memperoleh informasi jadwal sholat secara *real-time* berdasarkan lokasi. Modul relay digunakan untuk mengendalikan pengharum ruangan, sedangkan LED inframerah digunakan untuk mengontrol AC. Selain mode otomatis, sistem juga dilengkapi dengan mode manual berbasis *Firebase*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor AHT20 memiliki rata-rata persentase error sebesar 0,52% terhadap termometer digital. Sistem mampu mengatur AC pada suhu 26°C ketika suhu ruangan di bawah 30°C dan mengubah setpoint menjadi 17°C ketika suhu mencapai atau melebihi 30°C. Pengharum ruangan bekerja dengan interval penyemprotan setiap 5 menit pada konsentrasi CO₂ di bawah 1000 ppm dan setiap 2 menit pada konsentrasi CO₂ sebesar 1000 ppm atau lebih. Seluruh fungsi sistem, baik pada mode otomatis maupun mode manual, dapat beroperasi sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang sehingga mampu mendukung terciptanya lingkungan masjid yang lebih nyaman bagi jamaah.

Kata Kunci: *Air Conditioner*, ESP32, *Firebase*, Multi-Sensor, Pengharum Ruangan

Abstract

The operation of Air Conditioners (AC) and room fresheners in mosques is generally performed manually, making it unable to adapt to changing environmental conditions dynamically. This condition may affect worshippers' comfort because room temperature and air quality are not always maintained according to actual needs. This study aims to design and implement an automatic control system for mosque air conditioners and room fresheners based on multiple sensors to improve worshippers' comfort. The proposed system employs an ESP32 microcontroller as the main controller integrated with an AHT20 sensor for temperature measurement, an MH-Z19 sensor for carbon dioxide (CO₂) concentration detection, and the Aladhan API to obtain real-time prayer schedules based on location. A relay module is utilized to control the room freshener, while an infrared LED is used to operate the air conditioner. In addition to automatic operation, the system also provides a manual control mode through Firebase. Experimental results indicate that the AHT20 sensor achieved an average error of 0.52% compared with a digital thermometer. The system sets the AC temperature to 26°C when the room temperature is below 30°C and changes the setpoint to 16°C when the temperature reaches or exceeds 30°C. The room freshener operates at 5-minute intervals when the CO₂ concentration is

below 1000 ppm and at 2-minute intervals when the concentration reaches 1000 ppm or higher. Overall, both automatic and manual operating modes functioned according to the designed control logic and were able to support a more comfortable mosque environment for worshippers.

Keywords: *Air Conditioner, ESP32, Firebase, Multi-Sensor, Room Freshener*

1. PENDAHULUAN

Masjid merupakan tempat ibadah yang memiliki peran penting untuk mendukung beberapa kegiatan pelayanan yang dilakukan oleh umat Islam. Selain berfungsi sebagai tempat melaksanakan salat berjamaah, masjid juga berperan sebagai pusat pendidikan untuk kegiatan dakwah dan aktivitas sosial masyarakat. Oleh karena itu, kondisi lingkungan masjid juga harus diperhatikan agar ibadah berjamaah dapat berlangsung dengan nyaman dan terfokus (khusyuk). Kondisi termal ruang dan kualitas udara yang buruk di ruang bawah masjid merupakan beberapa di antaranya yang berdampak pada para jamaah.

Air Conditioner (AC) berfungsi sebagai perangkat pengatur suhu di dalam ruangan untuk membangun kondisi lingkungan yang lebih baik, tetapi pengoperasiannya dilakukan melalui metode konvensional seperti *remote* (Afika et al., 2021). Akibatnya, saat menggunakan AC secara manual, sering kali AC menjadi kurang mampu menangani aspek nyata dari sebuah ruangan. Ini berarti bahwa pada waktu-waktu ketika selesai sholat jamaah, AC mungkin bekerja terlalu lama dari yang seharusnya, atau dalam beberapa kondisi tidak menyala saat diperlukan, sehingga hal ini benar-benar menyebabkan kenyamanan yang minimal bagi beberapa jamaah. Demikian pula, masalah seperti ini juga ada pada sistem pengharum ruangan yang umumnya bekerja dengan sistem pengatur waktu (*timer*). Sistem tersebut belum mempertimbangkan kondisi kualitas udara dan kepadatan kerumunan di dalam ruangan. Pengharum ruangan merupakan teknologi yang bisa memancarkan bahan-bahan yang cepat terbawa udara, sehingga dapat memberikan aroma segar. Permasalahan seperti ini akan menimbulkan tingkat aroma yang diproduksi tidak selalu berbanding lurus dengan apa yang dibutuhkan oleh lingkungan. Saat jamaah berjumlah sedikit, ada kemungkinan penyemprotannya berlebihan, dan begitu pula saat jumlah jamaahnya banyak, aroma yang ditimbulkan juga bisa tidak cukup dalam membantu kesegaran udara.

Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengaturan AC dan pengharum ruangan mengharuskan adanya mekanisme kontrol yang bisa merespon perubahan kondisi lingkungan secara langsung. Dengan perkembangan teknologi *IoT* (*Internet of Things*), berbagai jenis perangkat elektronik bisa

diintegrasikan dengan berbagai macam sensor canggih untuk menciptakan sistem yang lebih adaptif dan responsif. Implementasi *IoT* pada sistem monitoring lingkungan memungkinkan data sensor dikirimkan ke server atau platform berbasis *cloud* sehingga dapat dipantau dari jarak jauh melalui aplikasi atau *web* (Sihombing et al., 2026). Menggunakan konsep multi-sensor, maka sistem kontrol bisa melakukan penyesuaian operasional AC dan pengharum ruangan sesuai dengan kondisi di masjid, mulai dari suhu ruangan, kualitas udara, hingga kondisi keramaian jamaah. Dengan demikian, kenyamanan jamaah akan terjamin secara efektif.

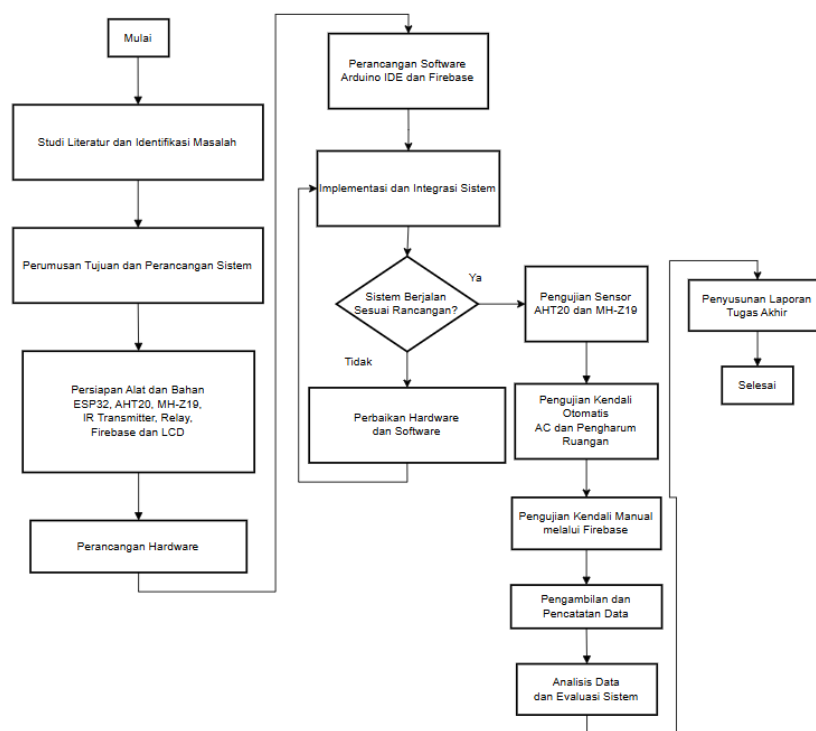
Berdasarkan hasil kajian terhadap berbagai penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan sistem kendali untuk satu jenis perangkat saja, seperti AC, kipas angin, maupun pengharum ruangan, yang dirancang secara terpisah. Selain itu, penerapan sistem otomatis pada lingkungan tempat ibadah, khususnya masjid atau mushola, masih relatif terbatas, sementara penelitian mengenai konsep masjid pintar umumnya lebih menitikberatkan pada otomasi berbasis jadwal atau pemantauan jumlah jamaah. Integrasi pengendalian AC dan pengharum ruangan dalam satu sistem yang memanfaatkan pendekatan multi-sensor sebagai dasar pengambilan keputusan secara *real-time* masih belum banyak dibahas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem kendali terpadu yang mampu mengatur kedua perangkat tersebut secara bersamaan dengan memanfaatkan berbagai parameter lingkungan, sehingga diharapkan dapat memberikan tingkat kenyamanan yang lebih baik bagi jamaah selama melaksanakan ibadah.

2. METODE

Pelataran penelitian ini adalah penggunaan sistem pengoperasian AC dan pengharum ruangan masjid secara manual yang tidak dapat menyesuaikan lingkungan. Hal ini akan mempengaruhi kinerja sistem tersebut dalam mengatur suhu ruangan dan kualitas udara dalam ruangan masjid. Akibatnya, kenyamanan jamaah dalam menjalankan ibadah menjadi berkurang. Maka dari itu, penelitian ini meneliti sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan masjid berbasis multi-sensor dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kontrol sistem. Sistem kendali tersebut menggunakan sensor AHT20 sebagai alat monitoring suhu ruangan serta menggunakan sensor MH-Z19 untuk mengetahui kadar CO₂ sebagai indikator kualitas udara dan jumlah jamaah. Di samping itu, sistem ini juga menggunakan layanan dari API Aladhan untuk mendapatkan jadwal waktu shalat berdasarkan lokasi masjid yang akan diperbaharui setiap hari secara otomatis. Data dari layanan jadwal shalat tersebut dan hasil pemantauan sensor disusun oleh ESP32 untuk menghasilkan pengaturan otomatis pengoperasian sistem AC dan pengharum ruangan. Selain itu, sistem juga memiliki fitur pengontrolan manual sistem melalui aplikasi web *Firestore*.

2.1 Flowchart Penelitian

Pada pelaksanaan tugas akhir ini terdapat beberapa langkah-langkah pelaksanaan seperti yang tertampil pada *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, proses penelitian dilaksanakan secara bertahap dan sistematis, dimulai dari kegiatan studi literatur serta identifikasi permasalahan guna memperoleh landasan teori dan menentukan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan. Tahap selanjutnya meliputi perumusan tujuan penelitian dan perancangan sistem, yang kemudian dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan, seperti ESP32, sensor AHT20, sensor MH-Z19, *IR transmitter*, modul relay, Solenoid Valve, Baterai, dan LCD. Setelah seluruh komponen tersedia, dilakukan perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) menggunakan Arduino IDE dan *Firestore*, yang kemudian diikuti dengan proses implementasi serta integrasi sistem secara menyeluruh. Pada tahap ini dilakukan

verifikasi untuk memastikan sistem dapat beroperasi sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Apabila ditemukan ketidaksesuaian, maka dilakukan perbaikan pada aspek perangkat keras maupun perangkat lunak hingga sistem dapat berfungsi dengan baik. Setelah sistem dinyatakan bekerja sesuai dengan perancangan, pengujian dilanjutkan terhadap sensor AHT20 dan MH-Z19, pengujian fungsi kendali otomatis AC dan pengharum ruangan, serta pengujian mode manual melalui *Firebase*. Selanjutnya, data hasil pengujian dikumpulkan dan didokumentasikan untuk dianalisis serta dievaluasi guna mengetahui tingkat keberhasilan dan kinerja sistem yang telah dikembangkan. Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan tugas akhir sebagai bentuk dokumentasi dan pelaporan terhadap keseluruhan hasil penelitian yang telah diperoleh.

2.2 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, digunakan sejumlah perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terintegrasi untuk membentuk sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan masjid berbasis multi-sensor. Pemilihan komponen dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan sistem agar mampu melakukan proses pemantauan kondisi lingkungan serta pengendalian perangkat secara otomatis maupun manual. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 1. Alat dan Bahan

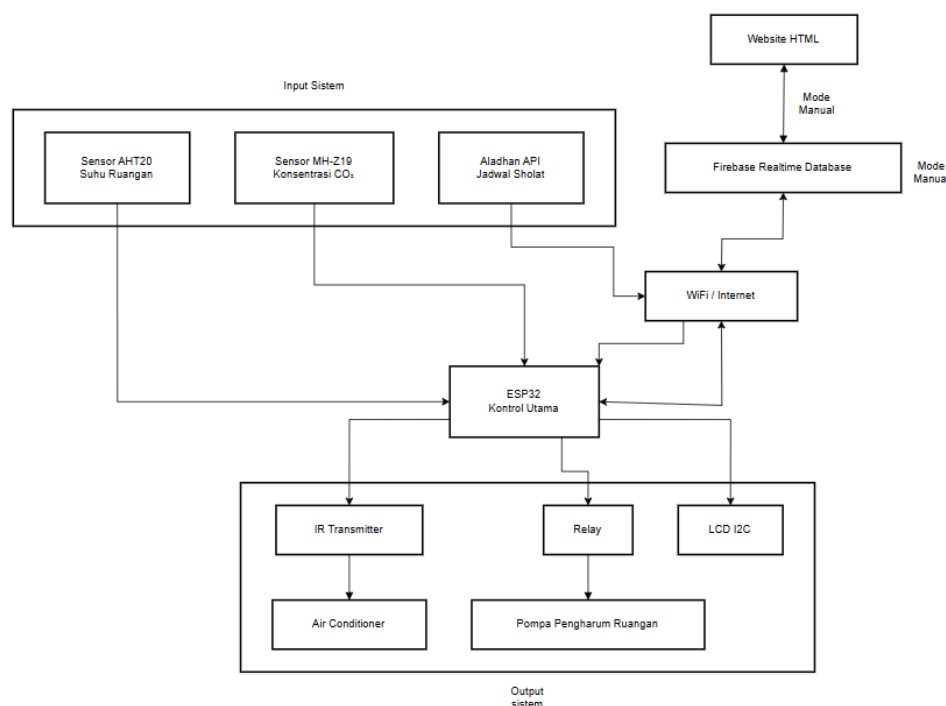
Alat dan Bahan	Jumlah
ESP32	1
Baterai 1.5V	2
Sensor Suhu (AHT20)	1
Sensor Karbon Dioksida (MHZ19)	1
IR LED	1
LCD I2C 20x4	1
Modul Relay	1
Pompa Pengharum (Valve)	1

Tabel 1 menunjukkan alat dan bahan yang digunakan dalam proses perancangan dan implementasi sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan berbasis multi-sensor. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang bertugas memproses seluruh data masukan dari sensor serta mengendalikan perangkat keluaran sesuai dengan logika yang telah diprogram. Sensor AHT20 digunakan untuk mengukur suhu ruangan, sedangkan sensor MH-Z19 dimanfaatkan untuk mendeteksi konsentrasi karbon dioksida (CO₂) sebagai indikator kualitas udara di dalam ruangan. Sistem pengendalian AC dilakukan melalui IR LED yang berfungsi untuk

mengirimkan sinyal inframerah menyerupai remot AC, sementara modul relay digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengaktifkan pompa pengharum ruangan (valve). Selain itu, LCD I2C 20×4 digunakan sebagai media penampil informasi, seperti nilai suhu, konsentrasi CO₂, mode sistem, status AC dan pengharum ruangan, interval pengharum ruangan, suhu AC, serta jadwal waktu salat yang diperoleh dari Aladhan API. Pada mekanisme penyemprotan pengharum ruangan, digunakan dua buah baterai 1,5 V sebagai sumber tegangan bagi valve sehingga proses penyemprotan dapat berlangsung sesuai dengan perintah yang diberikan oleh sistem. Keseluruhan komponen tersebut saling terintegrasi untuk mendukung pengoperasian sistem secara otomatis dalam menjaga kenyamanan lingkungan masjid bagi para jamaah.

2.3 Perancangan Sistem Hardware

2.3.1 Blok Diagram



Gambar 2. Blok Diagram

Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan masjid berbasis multi-sensor untuk kenyamanan jamaah. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang berfungsi mengolah seluruh data masukan dan mengatur perangkat keluaran sesuai dengan logika yang telah dirancang.

Pada bagian input sistem, terdapat sensor AHT20 yang digunakan untuk mendeteksi suhu ruangan, sensor MH-Z19 yang berfungsi mengukur konsentrasi karbon dioksida (CO₂) sebagai indikator kualitas udara dan tingkat kepadatan jamaah, serta Aladhan API yang menyediakan informasi jadwal sholat secara *real-time* berdasarkan lokasi yang telah ditentukan. Data dari Aladhan

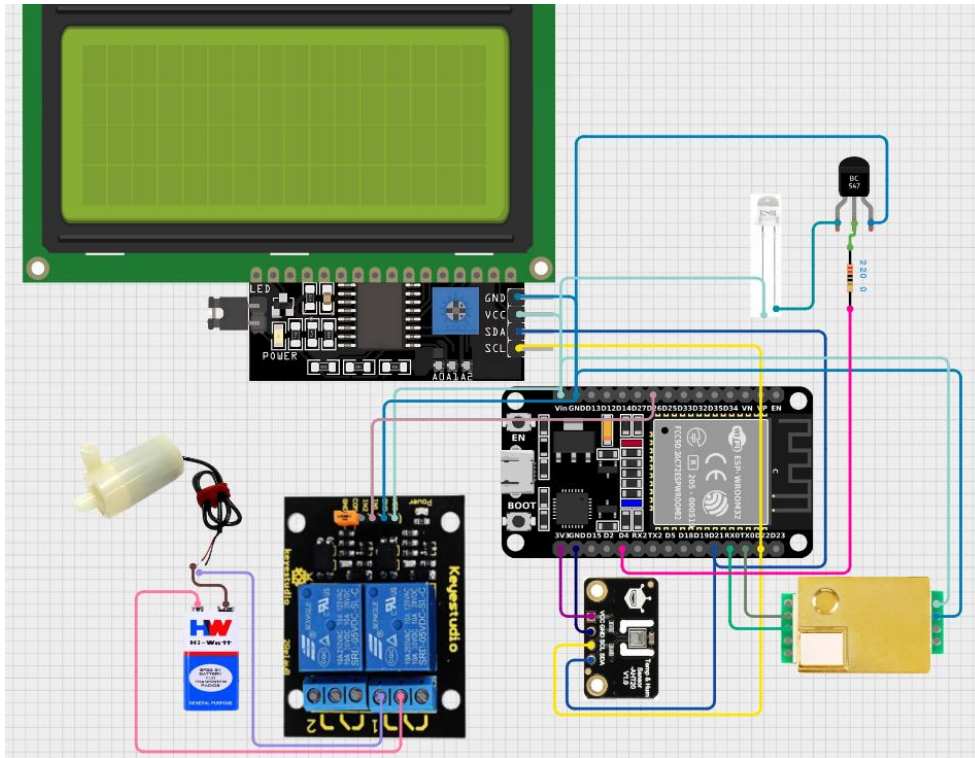
API diperoleh melalui koneksi *WiFi* atau internet dan kemudian dikirimkan ke ESP32 sebagai acuan dalam pengoperasian sistem secara otomatis.

Selain mode otomatis, sistem juga dilengkapi dengan mode manual yang memanfaatkan antarmuka berbasis *website* HTML dan *Firebase Realtime Database*. Perintah yang diberikan pengguna melalui *website* akan disimpan pada *Firebase* dan selanjutnya dikirimkan melalui jaringan internet menuju ESP32. Dengan demikian, pengguna dapat mengendalikan AC dan pengharum ruangan secara jarak jauh sesuai kebutuhan operasional.

ESP32 bertindak sebagai kontrol utama yang memproses seluruh data dari sensor, jadwal sholat, serta perintah dari *Firebase*. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut, ESP32 mengendalikan beberapa perangkat keluaran yang tergabung pada bagian output sistem. *IR Transmitter* digunakan untuk mengirimkan sinyal inframerah ke *Air Conditioner* (AC) sehingga dapat melakukan fungsi menyalakan, mematikan, dan mengatur suhu AC pada setpoint 16°C atau 26°C. Modul relay berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan pompa pengharum ruangan, sedangkan LCD I2C digunakan untuk menampilkan informasi kondisi sistem secara langsung, seperti nilai suhu, konsentrasi CO₂, mode sistem, status AC dan pengharum ruangan, interval pengharum ruangan, suhu AC, serta jadwal waktu salat yang diperoleh dari Aladhan API.

Secara keseluruhan, blok diagram tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mengintegrasikan beberapa parameter, yaitu suhu ruangan, kualitas udara, jadwal waktu sholat, dan perintah pengguna, sehingga mampu melakukan pengendalian AC dan pengharum ruangan secara otomatis maupun manual guna mendukung terciptanya lingkungan masjid yang lebih nyaman bagi jamaah dalam melaksanakan ibadah.

2.3.2 Wiring



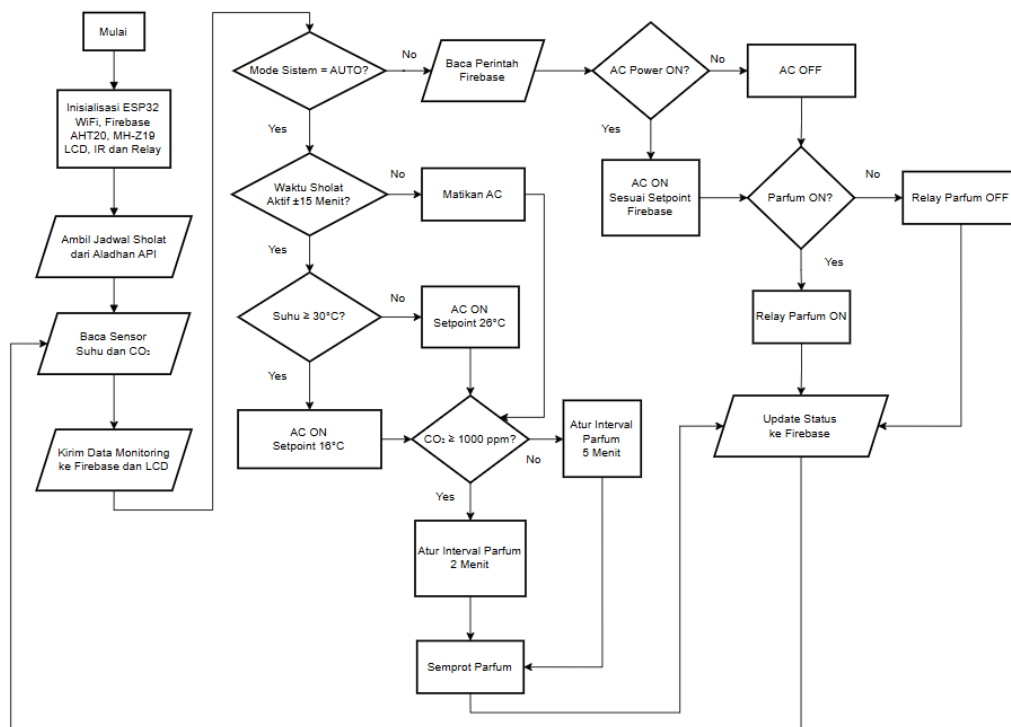
Gambar 3. Wiring Rangkaian

Gambar 3 merupakan diagram rangkaian sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan masjid berbasis multi-sensor, dimana peran mikrokontroler ESP32 menjadi unit kontrol yang memproses semua data yang terkumpul dari sensor dalam mengecek seluruh komponen yang ada. Dalam sistem tersebut, sensor AHT20 digunakan dalam mendeteksi suhu ruangan, sementara sensor MH-Z19 digunakan dalam mendeteksi tingkat CO₂ (kualitas udara dan padatnya jamaah). Data yang telah dibaca oleh sensor diproses melalui ESP32 untuk mengatur operasi AC dan pengharum ruangan. Kontrol AC dilakukan dengan *infrared* LED yang bertugas menyalakan sinyal inframerah berdasarkan perintah yang sudah terprogram sehingga dapat menghidupkan AC, mematikannya, atau mengatur AC berdasarkan suhu yang telah ditetapkan. Sedangkan untuk pengharum ruangan dikendalikan dengan modul relay yang langsung terhubung dengan valve sehingga dapat menyesuaikan jumlah semprotan berdasarkan jumlah CO₂ yang diketahui. Data berupa nilai suhu, konsentrasi CO₂, mode sistem, status AC dan pengharum ruangan, interval pengharum ruangan, serta suhu AC, disajikan dalam display monitor LCD 20×4 dan dapat diawasi secara online melalui aplikasi web yang dihubungkan ke *Firestore*.

Sistem juga memanfaatkan Aladhan API guna mendapatkan informasi jadwal sholat berdasarkan lokasi yang dimuat setiap hari. Informasi yang sudah didapat akan menjadi acuan operasional AC dan pengharum ruangan. Suplai utama didapat dari sumber DC yang berfungsi menyuplai seluruh komponen sehingga dapat beroperasi sesuai rancangan yang sudah dibuat.

2.4 Perancangan Sistem Software

2.4.1 Flowchart Software



Gambar 4. Flowchart software

Diagram software flowchart digunakan untuk menunjukkan tahapan sistem kontrol otomatis AC dan pengharum ruangan masjid menggunakan multi-sensor dalam penelitian ini. Sistem dimulai dengan melakukan inisialisasi semua perangkat yang terlibat dalam sistem, di mana perangkat tersebut meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor suhu AHT20, sensor CO₂ MH-Z19, modul relay, *IR transmitter*, LCD, *WiFi*, serta *Firebase* sebagai data *communication medium*.

Setelah tahap inisiasi selesai dilakukan, maka sistem menjalankan pengambilan jadwal sholat berdasarkan lokasi melalui Aladhan API. Kemudian ESP32 membaca data suhu ruangan berdasarkan sensor AHT20 dan membaca data konsentrasi CO₂ berdasarkan sensor MH-Z19. Data yang telah dibaca dari sensor kemudian ditampilkan melalui LCD dan dikirimkan ke *Firebase*.

Setelah proses pemilihan datanya selesai dilakukan, sistem akan memeriksa mode operasi apa yang saat ini sedang berjalan dalam sistem. Mode operasi ini memiliki dua pilihan, yaitu mode manual dan otomatis. Dalam mode otomatis, sistem akan melakukan pengecekan untuk mengetahui apakah waktu sekarang sudah masuk dalam periode waktu sholat yang telah ditetapkan. Jika belum waktunya sholat, maka AC dan pengharum akan berada dalam posisi mati. Sebaliknya, jika waktunya sholat, sistem akan melakukan pengecekan terhadap suhu ruangan. Jika suhu ruangan lebih besar atau sama dengan 30° C, maka AC akan dinyalakan dengan suhu set point sebesar 17°C sehingga proses

penyegaran dapat dilakukan dengan cepat. Sedangkan jika suhu ruangan dibawah 30°C, maka AC diatur dengan suhu set point sebesar 26°C.

Sistem kemudian memeriksa nilai CO₂ yang ditangkap dari sensor MH-Z19. Jika nilai CO₂ lebih dari atau sama dengan 1000 ppm, sistem menganggap bahwa jumlah jamaah yang ada di ruangan cukup banyak sehingga relay valve akan aktif dengan waktu penyemprotan sekitar 2 menit sekali. Namun, jika nilai CO₂ kurang dari 1000 ppm, interval penyemprotan penumpu ruangan menjadi sekitar 5 menit sekali. Berdasarkan mode manual, sistem akan membaca perintah dari user menggunakan *Firebase*. User dapat mengatur kondisi AC, suhu AC, dan mengaktifkan pengharum ruangan secara manual dengan menggunakan *website* yang telah dibuat. Setelah perintah diterima, sistem akan menjalankan perintah tersebut menggunakan *infrared* LED untuk AC dan relay untuk pengharum ruangan.

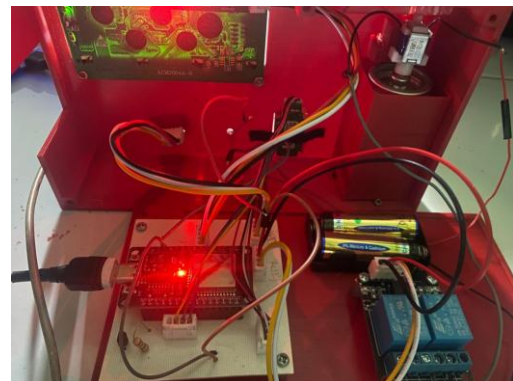
Sesudah semua tahap kontrol telah selesai dikerjakan, sistem akan memperbarui data status *device* serta output dari sensornya ke *Firebase*. Sistem kemudian akan melakukan ulang pengambilan sensor dan pengecekan kondisi dalam fungsi *loop()* agar sistem dapat terus berfungsi secara terus-menerus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Realisasi Alat



a. Tampak Luar



b. Tampak Dalam

Gambar 5. Desain Alat

Tampak luar alat yang ditunjukkan pada gambar 5.a memperlihatkan bahwa sistem dirancang dalam sebuah box yang berfungsi sebagai pelindung sekaligus tempat penempatan seluruh komponen agar tersusun dengan lebih rapi dan mudah digunakan. Pada bagian depan perangkat terdapat LCD I2C 20×4 yang dimanfaatkan sebagai media antarmuka untuk menampilkan berbagai informasi sistem,

meliputi nilai suhu, konsentrasi CO₂, mode sistem, status AC dan pengharum ruangan, interval pengharum ruangan, suhu AC, serta jadwal waktu salat yang diperoleh dari Aladhan API. Selain itu, terlihat pula sensor AHT20 yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan, sensor MH-Z19 yang berfungsi mendeteksi kadar CO₂ sebagai indikator kualitas udara, serta *IR LED* yang berperan sebagai pemancar sinyal inframerah untuk mengendalikan *Air Conditioner* (AC). Pada bagian depan alat juga terdapat lubang keluaran pengharum ruangan yang berfungsi sebagai jalur penyebaran aroma ketika sistem mengaktifkan mekanisme penyemprotan.

Tampilan bagian dalam alat yakni 5.b menunjukkan konfigurasi komponen elektronik yang saling terhubung dan bekerja secara terpadu dalam mendukung operasi sistem. Mikrokontroler ESP32 yang dipasang pada papan PCB berperan sebagai unit pengendali utama yang bertugas mengolah data dari sensor dan menjalankan algoritma pengendalian sesuai dengan program yang telah dirancang. Modul relay digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan mekanisme pengharum ruangan, sedangkan dua buah baterai 1,5 V dimanfaatkan sebagai sumber tegangan bagi valve pengharum. Pada bagian atas box terlihat pemasangan valve yang terhubung dengan stela sehingga mampu menekan secara otomatis ketika memperoleh sinyal dari relay. Selain itu, rangkaian juga dilengkapi dengan resistor serta beberapa komponen pendukung lainnya yang berfungsi untuk menunjang kinerja sistem secara keseluruhan. Integrasi seluruh komponen tersebut menghasilkan sebuah sistem kendali otomatis berbasis ESP32 yang mampu mengatur pengoperasian AC dan pengharum ruangan secara terkoordinasi guna mendukung terciptanya kondisi lingkungan masjid yang lebih nyaman bagi jamaah.

3.2 Hasil Pengujian Alat

3.2.1 Hasil Pengujian Sensor AHT20

Sebelum proses pengujian dilakukan, disiapkan sensor AHT20 dan termometer digital yang digunakan sebagai alat referensi dalam pengukuran suhu. Termometer digital berperan sebagai pembanding untuk menilai tingkat akurasi sensor AHT20 dalam mendeteksi suhu ruangan. Tahap pengujian dilaksanakan dengan melakukan pengukuran secara bersamaan menggunakan kedua perangkat pada beberapa kondisi suhu yang berbeda. Nilai suhu yang diperoleh dari sensor AHT20 dan termometer digital kemudian dicatat dan dianalisis untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran serta menghitung besarnya persentase kesalahan (*error*) dari sensor AHT20 terhadap alat ukur acuan. Data hasil pembacaan sensor AHT20 selama pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Sensor Suhu

No	Termometer Digital (°C)	Sensor AHT20 (°C)	Error (%)
1.	24,80	24,95	0,60

2.	26,50	26,38	0,45
3.	28,10	28,24	0,50
4.	30,20	30,05	0,50
5.	32,00	31,82	0,56
Rata-rata			0,52

Pada Tabel 2 rata-rata nilai *error* pada sensor suhu ada di 0,52%. Untuk mencari berapa nilai *error* ialah :

$$Error = \frac{Termometer\ Digital - AHT20}{Termometer\ Digital} \times 100\%$$

Berdasarkan data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 2, sensor AHT20 menunjukkan kemampuan yang baik dalam melakukan pengukuran suhu ruangan. Dari lima kali pengambilan data yang dilakukan, diperoleh rata-rata persentase kesalahan sebesar 0,52% jika dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan termometer digital sebagai alat referensi. Nilai *error* yang relatif kecil tersebut mengindikasikan bahwa hasil pembacaan sensor AHT20 memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap nilai acuan, sehingga sensor ini dinilai cukup andal untuk digunakan sebagai masukan pada sistem kendali otomatis AC yang dikembangkan. Adanya selisih antara hasil pengukuran kedua perangkat kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain karakteristik dan toleransi sensor, perbedaan posisi penempatan alat ukur, serta perubahan kondisi lingkungan yang terjadi selama proses pengujian berlangsung. Meskipun demikian, besarnya nilai kesalahan yang diperoleh masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi pemantauan dan pengendalian suhu ruangan.

Temuan pada penelitian ini memiliki kesesuaian dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh (Kusumah et al., 2023) yang menyatakan bahwa sensor AHT20 memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mengukur suhu dan kelembapan serta mampu memberikan respons yang stabil ketika diterapkan pada sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. Oleh karena itu, hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor AHT20 mempunyai kinerja yang memadai untuk diimplementasikan pada sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan masjid berbasis multi-sensor, sehingga dapat mendukung terciptanya kondisi lingkungan yang lebih nyaman bagi jamaah selama melaksanakan ibadah.

3.2.2 Pengujian Sensor

Tabel 3. Pengujian Sensor dan Respons Sistem Otomatis

No	Suhu AHT20 (°C)	CO ₂ MH-Z19 (ppm)	Respons AC yang Diharapkan	Respons Pengharum yang Diharapkan	Hasil Pengujian
1	27,5	650	AC 26°C	Penyemprotan setiap 5 menit	Sesuai dengan kondisi yang diharapkan
2	29,2	850	AC 26°C	Penyemprotan setiap 5 menit	Sesuai dengan kondisi yang diharapkan
3	30,1	950	AC 17°C	Penyemprotan setiap 5 menit	Sesuai dengan kondisi yang diharapkan
4	31,5	1366	AC 17°C	Penyemprotan setiap 2 menit	Sesuai dengan kondisi yang diharapkan

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa sistem kendali berbasis multi-sensor yang dirancang mampu memberikan respons sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdeteksi. Sensor AHT20 digunakan untuk mendeteksi suhu ruangan sebagai acuan pengaturan AC, sedangkan sensor MH-Z19 digunakan untuk mengukur konsentrasi karbon dioksida (CO₂) sebagai parameter pengendalian pengharum ruangan. Ketika suhu ruangan berada di bawah 30°C, sistem mengatur AC pada setpoint 26°C sebagai mode pendinginan normal, sedangkan pada suhu yang mencapai atau melebihi 30°C, sistem secara otomatis mengubah pengaturan AC menjadi 17°C untuk menghasilkan pendinginan yang lebih optimal. Selain itu, ketika konsentrasi CO₂ berada di bawah 1000 ppm, pengharum ruangan bekerja dengan interval penyemprotan setiap 5 menit. Sebaliknya, apabila konsentrasi CO₂ mencapai atau melebihi 1000 ppm, interval penyemprotan berubah menjadi setiap 2 menit. Seluruh hasil pengujian menunjukkan bahwa respons yang dihasilkan oleh sistem telah sesuai dengan kondisi yang diharapkan, sehingga kinerja sistem dapat dinyatakan berhasil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor AHT20 mampu memberikan data suhu yang akurat sebagai masukan bagi pengendalian AC, sedangkan sensor MH-Z19 mampu mendeteksi perubahan konsentrasi CO₂ dengan baik sehingga frekuensi kerja pengharum ruangan dapat disesuaikan secara adaptif. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh (Teguh Permana et al., 2021), yang menyatakan bahwa sensor MH-Z19 yang bekerja berdasarkan prinsip *Non-Dispersive Infrared*

(*NDIR*) memiliki tingkat keandalan yang baik dalam mendeteksi perubahan kadar karbon dioksida dan dapat dimanfaatkan untuk pemantauan kualitas udara secara *real-time*. Dengan demikian, integrasi sensor AHT20 dan sensor MH-Z19 pada sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan yang dikembangkan telah mampu bekerja sesuai dengan logika yang telah dirancang serta mendukung terciptanya kondisi lingkungan masjid yang lebih nyaman bagi jamaah dalam melaksanakan ibadah.

3.2.3 Pengujian Mode Manual *Firebase*

Tabel 4. Pengujian Mode Manual *Firebase*

No	Perintah Firebase	Respons yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1.	AC ON	AC Menyala	AC berhasil menyala	Berhasil
2.	AC OFF	AC Mati	AC berhasil mati	Berhasil
3.	Set suhu 17°C	AC 17°C	AC berubah ke suhu 17°C	Berhasil
4.	Set suhu 26°C	AC 26°C	AC berubah ke suhu 26°C	Berhasil
5.	Pengharum ON	Relay aktif	Relay aktif dan pompa bekerja	Berhasil
6.	Pengharum OFF	Relay mati	Relay aktif dan pompa mati	Berhasil

Berdasarkan data pengujian yang disajikan pada Tabel 4, dapat diketahui bahwa sistem kendali manual berbasis *Firebase* mampu menjalankan fungsi pengendalian sesuai dengan perintah yang diberikan oleh pengguna melalui antarmuka *web*. Pengujian dilakukan pada beberapa skenario, meliputi proses menghidupkan dan mematikan AC, pengaturan suhu AC pada setpoint 17°C dan 26°C, serta pengoperasian pengharum ruangan dalam kondisi aktif maupun tidak aktif. Seluruh perintah yang dikirimkan melalui *Firebase* berhasil diterima dan diproses oleh mikrokontroler ESP32 sehingga menghasilkan respons aktuator yang sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja dengan baik dan seluruh pengujian dapat dinyatakan berhasil. Selain itu, komunikasi data antara *Firebase* dan ESP32 terbukti mampu berlangsung secara *real-time* dan memiliki tingkat kestabilan yang baik selama proses pengujian. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini sejalan dengan temuan yang dilaporkan oleh (Rizqi Samkayana, 2025), yang menyatakan bahwa penerapan *Firebase Realtime Database* yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dapat mendukung proses sinkronisasi data dan pengendalian perangkat secara *real-time* secara optimal. Oleh karena itu, penerapan mode manual berbasis *Firebase* pada sistem yang dikembangkan

mampu memberikan kemudahan dan fleksibilitas bagi pengelola masjid dalam mengoperasikan AC serta pengharum ruangan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

3.2.4 Pengujian Jadwal Sholat

Tabel 5. Pengujian Jadwal Sholat

No	Kondisi Waktu	Respons yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1.	10 menit sebelum sholat	AC ON, Pengharum ON	AC dan Pengharum menyala otomatis	Berhasil
2.	5 menit saat waktu sholat	AC ON, Pengharum ON	AC dan Pengharum tetap menyala	Berhasil
3.	15 menit sesudah sholat	AC ON, Pengharum ON	AC dan Pengharum tetap menyala	Berhasil
4.	Di luar waktu sholat	AC OFF, Pengharum OFF	AC dan Pengharum mati otomatis	Berhasil

Berdasarkan data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi pengendalian secara otomatis berdasarkan informasi waktu sholat yang diperoleh melalui Aladhan API. Sistem dirancang untuk mengaktifkan AC dan pengharum ruangan mulai 10 menit sebelum waktu sholat sebagai upaya menciptakan kondisi ruangan yang nyaman bagi jamaah sebelum pelaksanaan ibadah dimulai. Selama berlangsungnya waktu sholat hingga 15 menit setelahnya, kedua perangkat tersebut tetap beroperasi untuk mempertahankan kenyamanan termal dan kualitas udara di dalam ruangan. Di luar rentang waktu tersebut, sistem secara otomatis menonaktifkan AC dan pengharum ruangan. Seluruh skenario pengujian menunjukkan bahwa respons sistem telah sesuai dengan kondisi yang direncanakan, sehingga kinerja sistem dapat dinyatakan berhasil. Temuan pada penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Pratama et al., 2019) yang menyatakan bahwa mikrokontroler ESP32 memiliki kemampuan dalam mengolah dan menampilkan data jadwal sholat secara akurat pada sistem berbasis waktu. Dengan demikian, sistem yang dirancang telah berhasil diimplementasikan sesuai dengan logika kendali yang ditetapkan dan mampu mendukung terciptanya lingkungan masjid yang lebih nyaman bagi jamaah selama melaksanakan ibadah.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali otomatis AC dan pengharum ruangan masjid berbasis multi-sensor

berhasil direalisasikan dan mampu beroperasi sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi mikrokontroler ESP32 dengan sensor AHT20, sensor MH-Z19, Aladhan API, modul relay, serta *infrared LED* memungkinkan sistem melakukan pengendalian perangkat secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan dan waktu pelaksanaan ibadah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor AHT20 memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata persentase error sebesar 0,52% terhadap termometer digital, sehingga dapat digunakan sebagai parameter dalam pengaturan suhu AC secara otomatis. Selain itu, sensor MH-Z19 mampu mendeteksi perubahan konsentrasi karbon dioksida dengan baik sehingga sistem pengharum ruangan dapat menyesuaikan interval penyemprotan secara otomatis sesuai kondisi kualitas udara di dalam ruangan. Seluruh respons aktuator yang dihasilkan telah sesuai dengan logika kendali yang dirancang.

Pengujian mode manual berbasis *Firebase* juga menunjukkan bahwa komunikasi data antara antarmuka web dan mikrokontroler ESP32 dapat berlangsung secara *real-time*, sehingga pengguna dapat mengendalikan AC maupun pengharum ruangan secara fleksibel sesuai kebutuhan. Di samping itu, pemanfaatan Aladhan API sebagai sumber informasi jadwal sholat memungkinkan sistem menjalankan fungsi pengendalian otomatis berdasarkan waktu ibadah yang diperbarui setiap hari, sehingga kondisi ruangan dapat dipersiapkan sebelum jamaah melaksanakan sholat.

Secara umum, implementasi sistem kendali berbasis multi-sensor yang dikembangkan pada penelitian ini mampu mendukung terciptanya lingkungan masjid yang lebih nyaman melalui pengaturan suhu ruangan dan pengoperasian pengharum ruangan yang disesuaikan dengan kondisi aktual secara *real-time*. Pada penelitian selanjutnya, sistem ini masih dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter pemantauan lainnya serta mengoptimalkan metode pengendalian yang digunakan, sehingga kemampuan sistem dalam merespons perubahan kondisi lingkungan dapat menjadi lebih baik dan lebih adaptif.

PERSANTUNAN

Segala puji hanya bagi Allah, Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Dengan anugerah Allah yang tak terhingga, penulis berhasil menyelesaikan penelitian atau tugas akhir ini sampai pada tahap ini. Penulis juga mengirimkan shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad, semoga Allah memberikan berkah kepada beliau, dan penulis berharap akan mendapatkan syafaatnya di hari kiamat nanti. Selain itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada orang tua atas dorongan dan dukungan mereka yang selalu hadir. Selanjutnya, penulis juga sangat berterima kasih kepada Bapak Bambang Hari Purwoto, S.T., M.T., dosen pembimbing akademik, yang telah membantu dan membimbing saya dengan penuh kesabaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada dosen-dosen Teknik Elektro di UMS yang telah

memberikan pengetahuan mereka yang sangat membantu saya dalam mempelajari banyak hal yang berharga dan berguna. Untuk teman-teman saya di Teknik Elektro, terima kasih, karena kehadiran kalian membuat saya merasa seperti memiliki sebuah keluarga.

DAFTAR PUSTAKA

- Afika, A. N., Widodo Arif, Anifah Lilik, & Kholis Nur. (2021). Smart AC Remote : Pengontrol Suhu Air Conditioner Otomatis Berbasis Internet of Thing Berdasarkan Suhu Aktual Ruangan. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(3), 681–688.
- Kusumah, R., Islam, H. I., & Sobur, S. (2023). Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Ruang Data Center. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 7(1), 82–88.
- Pratama, R. P., Ma'arif, O. W., & Niswatin, C. (2019). Display Jadwal Sholat P7.65 Berbasis Mikrokontroler Esp32. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Perangkat Lunak*, 1(1), 37–42.
- Rizqi Samkayana, I. N. W. R. S. (2025). Implementasi Firebase Realtime Database Pada Smart Cat Feeder Berbasis Mikrokontroler Esp32. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3).
- Sihombing, Y., Sitompul, B., Manurung, D. C., Suryanto, E. D., Saragi, D. P., Studi, P., Elektro, T., Pendidikan, J., Elektro, T., Teknik, F., Medan, U. N., Willem, J., Psv, I., Medan, K., Sumatera, P., Indonesia, N., & Pos, K. (2026). *RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALIAN LINGKUNGAN RUANG KELAS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ESP32*. 4(2), 171–184.
- Teguh Permana, L., Qomariyah, N., & Wirawan, R. (2021). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Oleh Tumbuhan Menggunakan Sensor MH-Z19. *Indonesian Physical Review*, 4(2), 86–94.