



JURNAL SISTEM INFORMASI DAN TEKNOLOGI (S I N T E K)

Situs Jurnal
<https://sintek.stmikku.ac.id/index.php/home>



INTEGRASI SENSOR–AKTUATOR BERBASIS IOT UNTUK PENGATURAN KIPAS OTOMATIS DAN MONITORING LINGKUNGAN PADA RUMAH PINTAR

Ahmad Roihan¹, Muhammad Wildan Septiano², Erlangga Eka Kurniawan³

^{1,2,3}Program Studi Sistem Komputer, Universitas Raharja
Jl. Jenderal Sudirman No.40, Cikokol, Kec. Tangerang, Kota Tangerang

E-mail: ahmad.roihan@raharja.info¹, muhhammad.wildan@raharja.info², erlangga.eka@raharja.info³

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem mekatronika rumah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pengaturan kipas angin otomatis berdasarkan suhu ruangan. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembapan, serta modul relay dan kipas DC 12V sebagai aktuator. Data lingkungan ditransmisikan menggunakan protokol MQTT melalui *broker* shiftr.io dan disajikan pada antarmuka pemantauan berbasis web yang terintegrasi dengan basis data MySQL. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu *respons* sistem kontrol berada pada kisaran ± 760 ms. Pengiriman data MQTT dengan interval 10 detik berlangsung stabil tanpa kehilangan paket selama pengujian. Integrasi sensor, mikrokontroler, aktuator, dan sistem pemantauan web berjalan dengan baik, sehingga sistem mampu merespons perubahan suhu secara cepat, adaptif, dan efisien. Dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengandalkan kontrol lokal, sistem ini menawarkan solusi rumah pintar yang lebih komprehensif dengan dukungan pemantauan daring dan pencatatan data lingkungan secara *real-time*.

Kata Kunci: *Mekatronika; Rumah Pintar; IoT; MQTT; Pemantauan Web.*

1. PENDAHULUAN

Bidang otomatisasi rumah atau *smart home* mengalami perkembangan pesat seiring kemajuan teknologi mekatronika yang mengintegrasikan komponen mekanis, elektronik, sensor, aktuator, serta sistem komputasi. Perkembangan ini didukung oleh meningkatnya penggunaan platform mikrokontroler modern seperti ESP32 dalam sistem rumah pintar [1], serta berkembangnya teknologi keamanan, otomasi, dan sensor cerdas berbasis IoT [2]. Konsep *smart home* berfokus pada kenyamanan, efisiensi energi, serta kemudahan pengendalian perangkat rumah tangga, termasuk sistem pendingin ruangan. Salah satu masalah utama pada penggunaan kipas konvensional adalah pengoperasian manual yang sering mengabaikan fluktuasi suhu ruangan, sehingga menyebabkan pemborosan energi, sebagaimana juga diamati pada penelitian terkait pemantauan suhu berbasis IoT [3].

Diperlukan sebuah sistem yang mampu mengatur kipas secara otomatis berdasarkan suhu

ruangan. Penelitian ini memanfaatkan *Internet of Things* (IoT) untuk membangun prototipe sistem mekatronika rumah pintar yang mampu mengendalikan kipas secara otomatis sesuai kondisi suhu. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai unit kendali utama, sejalan dengan pemanfaatannya pada berbagai sistem *smart home* berbiaya rendah dan berorientasi kenyamanan pengguna [1], [4]. Sensor DHT22 dipilih untuk mengukur suhu dan kelembapan karena reliabilitasnya pada berbagai sistem monitoring berbasis IoT [5]. Komunikasi data menggunakan protokol MQTT melalui *broker* shiftr.io, mengikuti pendekatan komunikasi IoT yang efisien dan ringan sebagaimana diterapkan pada penelitian *smart home* berbasis MQTT dan HTTP [6], serta implementasi monitoring berbasis MQTT lainnya [7]. Seluruh sistem dikoneksikan dengan platform pemantauan berbasis web dan basis data MySQL, mengikuti rancangan sistem pemantauan temperatur berbasis ESP32 yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya [8].

Isu utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah perancangan sistem mekatronika yang mampu mengatur kipas angin secara otomatis berdasarkan suhu ruangan sekaligus memungkinkan pemantauan dan kontrol secara daring melalui antarmuka web terintegrasi. Tujuan penelitian ini adalah menciptakan prototipe rumah pintar berbasis IoT yang mampu beroperasi secara mandiri, ramah pengguna, serta memberikan akses pemantauan *real-time* melalui sistem web, sebagaimana juga ditunjukkan pada konsep *smart home* modern yang mengintegrasikan sensor, aktuator, dan kontrol berbasis jaringan [7]. Sistem ini memungkinkan pengguna memantau status kipas dan kondisi suhu ruangan kapan saja dan di mana saja.

Penelitian ini memberikan beberapa kontribusi penting, yaitu: (1) implementasi sistem mekatronika fungsional dengan integrasi sensor, mikrokontroler [9], dan aktuator untuk mengendalikan perangkat rumah tangga, sejalan dengan penelitian terkait kontrol kipas dan exhaust fan berbasis IoT [10]; (2) penerapan komunikasi MQTT sebagai protokol utama pertukaran data antara perangkat dan server, yang terbukti ringan, cepat, dan andal dalam sistem IoT modern [11]; dan (3) pengembangan sistem pemantauan suhu berbasis web dengan basis data MySQL yang dapat diakses secara *real-time*, sebagaimana diterapkan pada penelitian monitoring suhu ruangan berbasis ESP32 [12]. Sistem yang dikembangkan bersifat hemat energi, adaptif, serta ekonomis untuk penggunaan rumah tangga.

Penelitian serupa telah dilakukan sebelumnya. Suryawan dkk. (2021) mengembangkan sistem otomatisasi suhu menggunakan ESP8266 dan DHT11, namun tidak menyediakan pemantauan web *real-time*, sebagaimana juga terlihat pada beberapa penelitian monitoring IoT dasar lainnya [13]. Rahmawati dan Nugroho (2022) merancang sistem kendali perangkat rumah berbasis MQTT, tetapi tidak mengintegrasikan aktuator mekatronika secara langsung [14]. Putra dkk. (2023) mengembangkan sistem kendali kipas otomatis berbasis Arduino, namun sistem tersebut masih bersifat lokal dan belum terhubung dengan infrastruktur IoT [10]. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini mengintegrasikan sepenuhnya sistem mekatronika berbasis sensor-aktuator, komunikasi MQTT, dan pemantauan web interaktif untuk menghasilkan sistem rumah pintar yang lebih responsif, cerdas, dan siap dikembangkan lebih lanjut.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Mekatronika dalam Sistem Otomasi

Mekatronika adalah bidang yang menggabungkan teknik mesin, elektronika, sistem Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi (SINTEK)

kontrol, dan teknologi komputer untuk merancang sistem otomatis yang cerdas. Di rumah pintar, prinsip mekatronika memungkinkan sensor, aktuator, dan mikrokontroler untuk bekerja sama sehingga sistem dapat secara otomatis beradaptasi dengan lingkungannya.

Misalnya, sensor dapat mengukur suhu, kelembaban, atau tingkat cahaya, dan sistem dapat secara otomatis mengontrol kipas atau pendingin udara untuk menjaga kenyamanan sekaligus menghemat energi [16].

2.2. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merujuk pada jaringan perangkat fisik yang dapat terhubung ke internet dan berbagi data secara otomatis, tanpa keterlibatan manusia secara langsung.

Sistem IoT umumnya terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu:

- Lapisan persepsi, seperti sensor (DHT22) yang mengumpulkan data dari lingkungan.
- Lapisan jaringan, menangani komunikasi antar perangkat menggunakan protokol seperti MQTT.
- Lapisan aplikasi: menyediakan antarmuka pengguna, seperti dashboard web, untuk memantau atau mengontrol sistem.

Melalui lapisan-lapisan ini, perangkat rumah pintar dapat dikelola secara efisien dan diakses dari jarak jauh [15].

2.3. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler berkemampuan Wi-Fi dan Bluetooth yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Mikrokontroler ini populer dalam aplikasi IoT karena kuat namun hemat energi.

Dengan prosesor dual-core dan kemampuan nirkabel bawaannya, ESP32 sangat cocok untuk otomatisasi rumah pintar. Mikrokontroler ini membaca data dari sensor, memprosesnya menggunakan logika kontrol, dan mengirimkan hasilnya ke server melalui internet.

2.4. Protokol MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi ringan berbasis model *publish/subscribe*. Dirancang untuk perangkat dengan sumber daya terbatas dan sangat efisien dalam hal *bandwidth*.

Dalam pengaturan rumah pintar, MQTT menghubungkan ESP32 ke *broker cloud* (seperti shiftr.io), yang kemudian meneruskan data ke server web atau dashboard [11]. Dibandingkan dengan HTTP tradisional, MQTT mempertahankan koneksi yang stabil bahkan ketika kondisi jaringan lemah, menjadikannya ideal untuk aplikasi IoT *real-time*.

2.5. Sistem Pemantauan Berbasis Web dan Basis Data MySQL

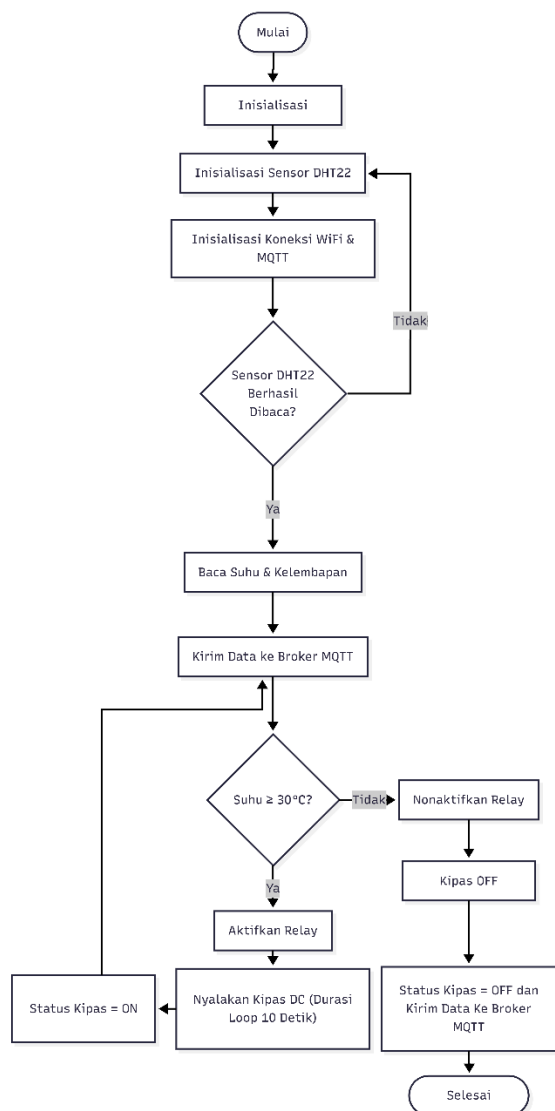
Sistem pemantauan berbasis web memungkinkan pengguna untuk melihat data *real-*

time dari sensor dan mengontrol perangkat dari jarak jauh. Data yang dikirim oleh ESP32 melalui MQTT disimpan dalam basis data MySQL dan ditampilkan pada dasbor web.

Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengakses dan mengelola perangkat rumah pintar mereka kapan saja melalui komputer atau ponsel pintar.

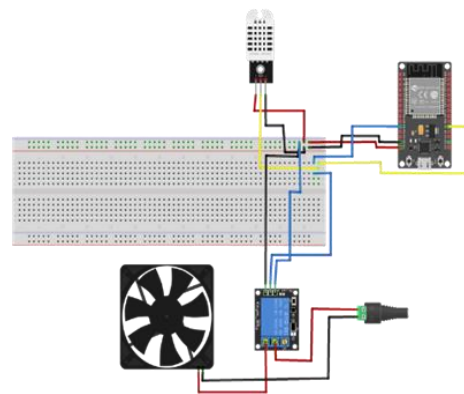
3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental langsung dengan membangun dan menguji prototipe sistem rumah pintar yang secara otomatis mengendalikan kipas angin berdasarkan suhu ruangan. Tujuan utamanya adalah menggabungkan sensor suhu DHT22 dengan mikrokontroler ESP32 untuk mengembangkan pengaturan yang efisien, responsif, dan cukup sederhana untuk penggunaan di rumah [4].



Gambar 1. Flowchart Integrasi Sensor-Aktuator Berbasis IoT

Penelitian ini dimulai dengan merancang konsep keseluruhan dan mengidentifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan. Aliran kerja sebagaimana dituangkan dalam Gambar 1, menjelaskan konsep dari prototipe ini. Perangkat keras tersebut meliputi sensor DHT22 untuk mengukur suhu, mikrokontroler ESP32 untuk memproses data dan mengendalikan operasi, modul relay yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang menghubungkan kipas angin ke pengontrol, dan kipas DC yang menyala atau mati berdasarkan logika terprogram. Semua komponen ini terhubung ke dalam satu sistem mekatronik, yang ditenagai oleh catu daya yang stabil untuk memastikan kinerja yang konsisten selama pengujian [14]. Hubungan antar-komponen dirancang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



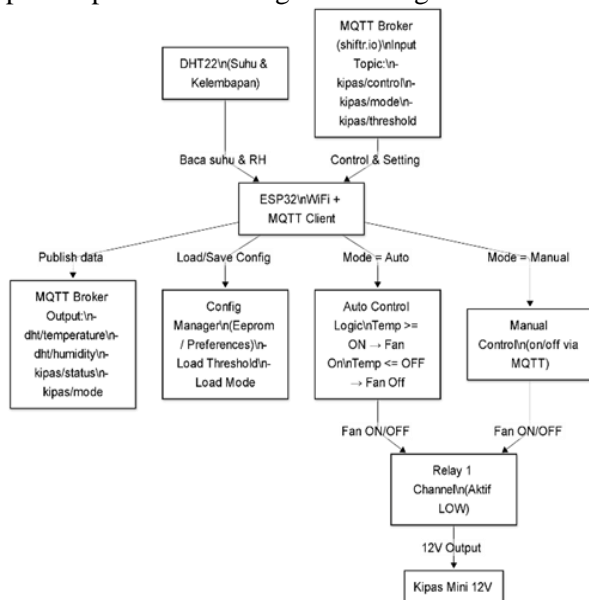
Gambar 1. Skema Prototipe

Dalam desain ini, mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai pengontrol pusat yang mengelola komunikasi antara sensor suhu DHT22 dan kipas DC, yang dikontrol melalui modul relay. Setiap bagian sistem terhubung ke pin GPIO tertentu pada ESP32 sesuai fungsinya.

Sensor DHT22 ditenagai melalui output 5V ESP32, sementara kabel *ground*-nya terhubung ke ground umum sirkuit. Pin data sensor terhubung ke GPIO 4 pada ESP32, yang mengirimkan pembacaan suhu dan kelembapan digital. ESP32 kemudian memproses data ini untuk memutuskan apakah kipas harus menyala atau mati [15].

Modul relay, yang berfungsi sebagai saklar untuk kipas, terhubung ke GPIO 5 pada ESP32. Ketika suhu melampaui batas yang telah ditentukan (misalnya, 30°C), ESP32 mengirimkan sinyal TINGGI ke pin ini, mengaktifkan relay dan memungkinkan daya mengalir ke kipas. Ketika suhu turun di bawah ambang batas, ESP32 mengirimkan sinyal rendah (LOW), yang mematikan relay dan menghentikan kipas. Modul relay mengambil daya dari pin 5V ESP32, dengan *ground*-nya terhubung ke *ground* bersama sistem.

Kipas DC itu sendiri beroperasi dengan catu daya eksternal 12V. Kabel positifnya terhubung ke terminal Normal Terbuka (NO-Normally Open) relay, dan kabel negatifnya terhubung ke *ground* bersama. Ketika relay diaktifkan, relay melengkapi rangkaian, memungkinkan arus untuk memberi daya pada kipas dan mendinginkan ruangan.



Gambar 3. Diagram Blok Prototipe

Perangkat lunak untuk sistem ini dikembangkan menggunakan Arduino IDE dan diprogram dalam C++. Logika utamanya dirancang agar ESP32 dapat terus membaca data suhu dari sensor DHT22 secara berkala. Program kemudian membandingkan pembacaan ini dengan batas suhu yang ditetapkan, misalnya, 30°C. Ambang batas suhu ini hanya bersifat percobaan dan bisa disesuaikan sesuai kebutuhan. Jika suhu naik di atas nilai tersebut, ESP32 secara otomatis memicu relay untuk menyalakan kipas; jika suhu turun di bawah batas tersebut, relay dinonaktifkan dan kipas mati. Proses ini mendemonstrasikan sistem kontrol loop tertutup dasar, di mana sistem merespons secara otomatis berdasarkan umpan balik sensor untuk mempertahankan kondisi yang diinginkan.

Data untuk penelitian ini dikumpulkan melalui serangkaian langkah terstruktur, yang masing-masing dirancang untuk memastikan informasi yang dikumpulkan dari sensor, komponen kontrol, dan situs web pemantauan akurat dan konsisten selama proses pengujian sistem.

Proses dimulai dengan mengukur suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Sensor ini terus membaca kondisi lingkungan sekitar secara *real-time*. Pembacaan dilakukan setiap 10 detik, kemudian dikirimkan ke server menggunakan

protokol komunikasi MQTT sehingga data dapat dipantau secara daring dan disimpan dengan aman.

Tahap selanjutnya berfokus pada pengumpulan data terkait aktuator khususnya relay dan kipas DC 12V yang berfungsi sebagai bagian dari sistem kontrol otomatis. Status ON/OFF kipas didokumentasikan berdasarkan logika kontrol yang diprogram ke dalam ESP32. Pembaruan status aktuator ini juga dikirim ke server dan disimpan dalam basis data sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem.

Transmisi dan penyimpanan data ditangani melalui protokol MQTT menggunakan *broker* shiftr.io. Setiap pesan yang dikirim oleh ESP32 diterima oleh server dan secara otomatis diteruskan ke basis data MySQL yang terhubung ke situs web pemantauan pribadi [20].

Setelah itu, semua data dapat dilihat dan dilacak melalui situs web ini. Situs ini menampilkan nilai suhu dan kelembapan, stempel waktu setiap pembacaan, dan status pengoperasian kipas. Selain berfungsi sebagai dashboard pemantauan waktu nyata, situs web ini juga berfungsi sebagai platform pencatatan data, sehingga memudahkan analisis stabilitas dan kinerja sistem secara keseluruhan.

Tahap terakhir melibatkan pengujian bagaimana sistem merespons perubahan suhu, baik yang terjadi secara alami maupun yang disengaja. Pengujian ini meliputi pemanasan sensor menggunakan sumber panas eksternal untuk mengamati seberapa cepat dan akurat sistem bereaksi. Hasil pengujian dicatat untuk memastikan kipas aktif atau nonaktif sesuai dengan ambang batas suhu yang ditentukan dalam logika kontrol terprogram.

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa setiap bagian sistem perangkat keras, perangkat lunak, dan komunikasi data berfungsi dengan benar sesuai desain. Pengujian dilakukan langkah demi langkah agar setiap komponen dapat dievaluasi secara menyeluruh sebelum digabungkan menjadi sistem yang berfungsi penuh.

Tahap pertama difokuskan pada pengujian sensor DHT22 untuk memastikan akurasi dalam membaca suhu dan kelembapan. Sensor dihubungkan ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian menangkap nilai suhu dan kelembapan ruangan secara *real-time*. Hasil pembacaan ini dibandingkan dengan termometer digital yang digunakan sebagai instrumen referensi. Pengukuran diulang pada beberapa kondisi suhu untuk mengamati stabilitas dan konsistensi sensor. Hasilnya kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat kesalahan pengukuran dan mengevaluasi

keandalan sensor dalam memantau kondisi lingkungan [21].

Pengujian selanjutnya melibatkan logika kontrol otomatis yang tertanam dalam ESP32. Ambang batas suhu misalnya 30°C diatur untuk mengatur kapan kipas harus beroperasi. Jika suhu turun di bawah ambang batas, kipas harus tetap MATI, sementara suhu di atas batas tersebut akan secara otomatis memicu kipas untuk menyala. Pada tahap ini, waktu respons sistem diukur, mulai dari saat sensor mendeteksi perubahan suhu, hingga pemrosesan oleh ESP32, dan akhirnya aktivasi relay dan kipas [13]. Pengujian ini memastikan bahwa sistem merespons dengan cepat dan tepat sesuai dengan logika kontrol yang telah diprogram.

Setelah itu, pengujian aktuator dilakukan pada relay dan kipas DC 12V. Tujuannya adalah untuk memverifikasi bahwa relay dapat menghubungkan dan memutuskan daya listrik ke kipas dengan benar. Kecepatan dan stabilitas pengalihan relay selama operasi berulang juga dipantau. Pada saat yang sama, kipas diperiksa untuk memastikan beroperasi dengan lancar setiap kali diberi daya oleh relay. Hasil dari tahap ini menegaskan keandalan aktuator sebagai komponen mekanis utama sistem.

Fase selanjutnya adalah pengujian komunikasi MQTT menggunakan broker shiftr.io. Data suhu ditransmisikan dari ESP32 ke broker MQTT, dan kemudian akurasi data yang diterima oleh server web privat diverifikasi. Selama proses ini, latensi dan kehilangan paket diamati untuk mengevaluasi kualitas transmisi data. Tahap ini juga memastikan bahwa status kipas yang dikirim melalui MQTT sesuai dengan status yang ditampilkan di antarmuka pemantauan web, yang memastikan bahwa komunikasi antar perangkat akurat dan efisien.

Perhatian kemudian beralih ke pengujian sistem pemantauan berbasis web. Sistem ini menampilkan pembacaan sensor dan status kipas secara waktu nyata (*real-time*). Situs web diperiksa untuk memastikan bahwa data suhu, kelembapan, dan kipas diperbarui secara akurat setiap beberapa detik. Basis data MySQL juga diperiksa untuk memastikan bahwa data yang masuk dari ESP32 diterima, disimpan, dan diproses dengan benar. Situs web diakses dari berbagai perangkat seperti komputer dan ponsel pintar untuk memastikan bahwa antarmuka tetap responsif dan ditampilkan dengan baik di berbagai platform [22].

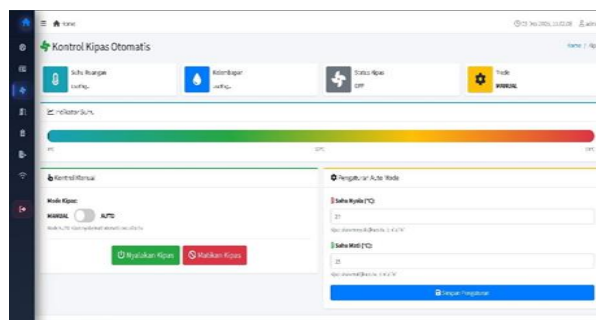
Tahap terakhir terdiri dari pengujian menyeluruh untuk memverifikasi integrasi lengkap sensor, mikrokontroler, aktuator, dan sistem pemantauan. Untuk mensimulasikan kondisi dunia nyata, suhu ruangan ditingkatkan secara bertahap hingga melampaui ambang batas yang telah ditentukan.

Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi (SINTEK)

Ketika ini terjadi, kipas diharapkan menyala secara otomatis, sementara data suhu dan status dikirimkan melalui MQTT ke broker shiftr.io, disimpan dalam basis data MySQL, dan ditampilkan di antarmuka web. Setelah itu, suhu diturunkan di bawah ambang batas, dan kipas diharapkan mati secara otomatis, dengan semua perubahan berhasil dicatat. Pengujian komprehensif ini memastikan bahwa seluruh sistem beroperasi dengan lancar, konsisten, dan tanpa masalah komunikasi saat merespons perubahan kondisi lingkungan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk memverifikasi bahwa setiap komponen mulai dari sensor, mikrokontroler, dan aktuator hingga jalur komunikasi dan antarmuka pemantauan berbasis web berfungsi sesuai dengan desain sistem. Berdasarkan keseluruhan proses pengujian, prototipe sistem mekatronika rumah pintar berhasil mengoperasikan kipas secara otomatis bergantung pada suhu ruangan, sekaligus menyediakan data lingkungan secara *real-time* melalui dashboard web.



Gambar 4. Tampilan halaman dashboard web

Tahap pertama pengujian difokuskan pada evaluasi seberapa baik sensor DHT22 mengukur suhu dan kelembapan, karena sensor ini berfungsi sebagai sumber data utama sistem. Setelah terhubung ke mikrokontroler ESP32, sensor di program untuk membaca suhu ruangan secara berkala. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan pembacaan termometer digital yang digunakan sebagai referensi.

Dalam beberapa pengujian yang dilakukan pada berbagai kondisi suhu ruangan, DHT22 secara konsisten menghasilkan pembacaan yang sangat mendekati hasil pembacaan termometer digital. Deviasi yang diamati relatif kecil dan masih dapat diterima untuk keperluan pemantauan suhu dalam ruangan. Untuk menilai responsivitasnya lebih lanjut, sensor juga diuji pada perubahan suhu yang cepat dengan memaparkannya ke sumber panas terdekat.

DHT22 berhasil mengikuti peningkatan suhu dengan cepat, menghasilkan pembacaan yang stabil dan konsisten seiring perubahan suhu di sekitarnya. Data yang ditangkap selama proses ini dikirimkan ke server melalui protokol MQTT tanpa gangguan yang berarti. Hasil ini menunjukkan bahwa DHT22 memberikan kinerja yang andal dan stabil, sehingga cocok untuk digunakan sebagai sensor utama dalam sistem kontrol kipas otomatis berbasis IoT.



Gambar 5. Desain prototipe rumah pintar dengan komponen utama sistem kendali suhu berbasis IoT

Tahap selanjutnya mengevaluasi logika kontrol otomatis yang diprogram ke dalam mikrokontroler ESP32. Ambang batas suhu tertentu ditetapkan sebagai dasar untuk mengendalikan kipas. Ketika suhu yang terdeteksi turun di bawah ambang batas, kipas diharapkan tetap mati; setelah suhu melebihi ambang batas, kipas akan menyala secara otomatis. Selama percobaan, sistem merespons setiap perubahan suhu dengan andal. Ketika suhu meningkat melampaui batas yang ditentukan, ESP32 mengaktifkan relay, yang menyebabkan kipas langsung menyala. Demikian pula, ketika suhu turun kembali di bawah batas, kipas mati secara otomatis tanpa penundaan. Sepanjang pengujian, transisi dari deteksi suhu ke respons aktuator berlangsung mulus. Tidak ada gejala peralihan yang tidak stabil seperti kipas yang berulang kali menyala dan mati secara berurutan yang menegaskan bahwa logika kontrol terprogram dan pengaturan ambang batas berfungsi dengan benar. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu bereaksi dengan cepat dan akurat terhadap fluktuasi

suhu, sebagaimana dimaksudkan dalam desain kontrol.

Tabel 1. Waktu Respons Sistem Kontrol Otomatis

| Kondisi Uji | Waktu Deteksi Sensor (ms) | Waktu Proses ESP32 (ms) | Waktu Aktivasi Relay (ms) | Total Waktu Respons (ms) |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Suhu < 30°C → ≥ 30°C | 450 | 120 | 180 | 750 |
| Suhu ≥ 30°C → < 30°C | 460 | 115 | 175 | 750 |
| Lonjakan suhu cepat | 470 | 130 | 190 | 790 |

Bagian aktuator sistem terdiri dari relay yang berfungsi sebagai saklar elektronik dan kipas 12V DC yang bertindak sebagai perangkat yang dikendalikan. Selama pengujian, relay berulang kali dipicu untuk menghubungkan dan memutus daya listrik ke kipas mengikuti perintah yang dikirim oleh ESP32. Hasil pengujian menunjukkan bahwa relay mampu melakukan setiap tindakan peralihan dengan andal, tanpa penundaan atau masalah kinerja yang berarti. Setiap perintah dari mikrokontroler menghasilkan respons langsung dan tepat dari kipas menyala ketika daya disuplai dan mati sepenuhnya ketika relay pemutus sirkuit. Bahkan setelah siklus aktivasi yang berkelanjutan dan berulang, relay tidak menunjukkan tanda-tanda malfungsi atau penurunan kinerja. Kipas DC juga beroperasi dengan lancar setiap kali menerima daya dan secara konsisten mati ketika daya terputus. Temuan ini menunjukkan bahwa relay dan kipas DC 12V bekerja sama dengan baik dan dapat diandalkan untuk digunakan sebagai komponen penggerak utama dalam sistem rumah pintar. Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa rata-rata waktu respons sistem yaitu ± 760 ms. Waktu respons di bawah 1 detik menunjukkan bahwa sistem cukup responsif untuk aplikasi rumah pintar berbasis IoT.

Pengujian sistem komunikasi data dilakukan menggunakan protokol MQTT, dengan Shiftr.io berfungsi sebagai broker yang menghubungkan perangkat ESP32 ke server web. Pada tahap ini, data suhu dan kelembapan yang dihasilkan oleh sensor dikirim secara berkala dari ESP32 ke broker, kemudian diteruskan ke server, dan disimpan dalam basis data MySQL. Selama proses pengamatan, semua pesan yang dikirim dari ESP32 berhasil diterima oleh broker dan muncul di server tanpa penundaan yang berarti. Selama pengujian, koneksi MQTT tetap stabil, dan tidak terdeteksi kehilangan paket yang signifikan. Status kipas yang dikirim menggunakan topik MQTT juga secara konsisten

sesuai dengan kondisi kipas yang sebenarnya secara *real-time*. Hal ini tercermin dengan jelas pada antarmuka pemantauan, di mana status yang ditampilkan baik NYALA maupun MATI selalu sesuai dengan operasi kipas yang sebenarnya. Temuan ini menunjukkan bahwa protokol MQTT yang dikombinasikan dengan broker Shiftr.io sangat cocok untuk mendukung komunikasi data yang andal dan efisien dalam sistem IoT rumah pintar ini.

Sistem pemantauan berbasis web yang dikembangkan dalam studi ini berfungsi sebagai platform bagi pengguna untuk memantau suhu, kelembapan, dan status kipas secara waktu nyata.

Berdasarkan hasil pengujian, halaman web mampu memperbarui informasi secara konsisten sesuai interval transmisi data yang dikirim dari ESP32. Nilai suhu dan kelembapan ditampilkan dengan jelas dalam bentuk numerik, sementara status kipas ditampilkan melalui indikator yang memudahkan pengguna untuk mengetahui apakah kipas sedang beroperasi. Basis data MySQL yang terintegrasi ke dalam sistem juga berkinerja baik dalam menyimpan log data. Setiap informasi baru yang dikirim dari ESP32 berhasil direkam dengan tanda waktu yang tepat, sehingga memungkinkan untuk memeriksa pola suhu jangka panjang. Saat diuji pada berbagai perangkat seperti laptop, komputer desktop, dan ponsel pintar situs web tetap responsif dan beradaptasi dengan lancar pada berbagai ukuran layar. Hasil ini menegaskan bahwa sistem pemantauan berbasis web memenuhi kebutuhan fungsional pengguna, menyediakan informasi yang mudah diakses, jelas, dan terkini setiap saat.

Uji *end-to-end* secara menyeluruh kemudian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan, mulai dari proses pembacaan suhu hingga tampilan akhir di situs web pemantauan. Selama pengujian, suhu ruangan ditingkatkan secara bertahap hingga melampaui ambang batas yang ditentukan. Setelah batas ini tercapai, sistem secara otomatis mengaktifkan kipas melalui relay. Pada saat yang sama, nilai suhu dan status pengoperasian kipas dikirim melalui MQTT ke *broker* Shiftr.io, diteruskan ke server, disimpan dalam basis data, dan ditampilkan di halaman web pemantauan. Ketika suhu turun di bawah ambang batas, kipas mati secara otomatis, dan perubahan ini langsung terekam dan ditampilkan di antarmuka web. Seluruh rangkaian pengujian berjalan lancar, tanpa masalah komunikasi atau penundaan yang dapat mengganggu kinerja sistem. Hasil pengujian menyeluruh ini menunjukkan bahwa semua komponen sensor, mikrokontroler, aktuator, protokol MQTT, *broker* Shiftr.io, basis data MySQL, dan antarmuka pemantauan web

terintegrasi dengan baik dan berfungsi sesuai dengan desain operasional sistem yang diinginkan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe sistem mekatronik rumah pintar yang dikembangkan mampu beroperasi secara otomatis dan terintegrasi, sesuai dengan rancangannya. Sensor DHT22 berhasil menyediakan data suhu dan kelembapan dengan akurasi yang memadai untuk menjadi dasar yang andal bagi pengambilan keputusan sistem. Mikrokontroler ESP32 juga menjalankan logika kontrol terprogram secara efektif, memungkinkan kipas untuk menyala dan mati secara otomatis sebagai respons terhadap perubahan suhu ruangan. Sementara itu, relay 12V dan kipas DC menunjukkan kinerja yang stabil dan responsif saat menjalankan perintah dari mikrokontroler, menunjukkan keandalannya sebagai aktuator utama sistem. Dari sudut pandang komunikasi, penggunaan protokol MQTT bersama dengan shiftr.io terbukti sangat efektif dalam mendukung transfer data yang cepat, ringan, dan stabil, yang selaras dengan persyaratan sistem rumah pintar berbasis IoT modern. Integrasi kerangka kerja komunikasi ini dengan platform pemantauan berbasis web dan basis data MySQL semakin meningkatkan sistem dengan memungkinkan pemantauan waktu nyata dan pencatatan data jangka panjang, yang dapat diakses dari berbagai perangkat pengguna. Hasilnya, sistem ini tidak hanya mengotomatiskan kontrol kipas tetapi juga memberikan visibilitas komprehensif terhadap kondisi suhu dan kelembapan ruangan. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang hanya mengandalkan kontrol lokal tanpa pemantauan berbasis web, atau yang tidak sepenuhnya mengintegrasikan sensor, aktuator, komunikasi MQTT, dan sistem basis data, prototipe ini menawarkan solusi yang lebih lengkap dan canggih yang siap untuk dikembangkan lebih lanjut. Sistem ini adaptif, hemat energi, dan sangat sesuai untuk kebutuhan rumah pintar modern, yang semakin menuntut kenyamanan, efisiensi operasional, dan kemampuan untuk mengelola perangkat dari jarak jauh.

5. PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah prototipe sistem mekatronika rumah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengendalikan kipas angin secara otomatis berdasarkan suhu ruangan. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan sensor DHT22 sebagai pengukur suhu dan kelembapan, mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, serta relay dan kipas DC 12V sebagai aktuator. Komunikasi data dilakukan menggunakan protokol MQTT melalui broker

shiftr.io dan ditampilkan pada antarmuka pemantauan berbasis web, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan dan status kipas secara *real-time*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem bekerja secara andal dan terintegrasi dengan baik. Sensor DHT22 memberikan pembacaan yang stabil dan akurat, sementara ESP32 mampu menjalankan logika kontrol otomatis berdasarkan ambang batas suhu yang telah ditentukan. Protokol MQTT terbukti efisien dalam mendukung pengiriman data secara real-time tanpa gangguan yang berarti, serta memungkinkan penyimpanan data historis pada basis data MySQL untuk keperluan pemantauan dan analisis jangka panjang. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan bersifat adaptif, efisien, dan sesuai untuk aplikasi rumah pintar berbasis IoT.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sistem kontrol yang digunakan masih bersifat on-off (*threshold-based*) sehingga belum mampu mengatur kecepatan kipas secara dinamis sesuai perubahan suhu. Selain itu, pengujian sistem masih dilakukan dalam skala prototipe dan lingkungan terbatas, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi penggunaan jangka panjang pada lingkungan rumah yang kompleks. Aspek keamanan komunikasi data juga belum dibahas secara mendalam, khususnya terkait enkripsi dan autentikasi pada protokol MQTT.

Sebagai arah pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat ditingkatkan dengan menerapkan algoritma kontrol lanjutan seperti PID atau fuzzy logic untuk menghasilkan respons yang lebih halus dan efisien terhadap fluktuasi suhu. Integrasi kecerdasan buatan (AI) atau pembelajaran mesin juga dapat dikembangkan untuk memprediksi pola suhu dan menyesuaikan pengoperasian kipas secara adaptif. Selain itu, pengembangan aplikasi *mobile* sebagai antarmuka alternatif, peningkatan aspek keamanan komunikasi IoT, serta integrasi dengan perangkat rumah pintar lainnya menjadi peluang penelitian lanjutan yang menjanjikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Serepas, I. Papias, K. Christakis, N. Dimitropoulos, and V. Marinakis, "Lightweight Embedded IoT Gateway for Smart Homes Based on an ESP32 Microcontroller," *Computers* 2025, Vol. 14, Page 391, vol. 14, no. 9, p. 391, Sep. 2025, doi: 10.3390/COMPUTERS14090391.
- [2] A. A. Zainuddin et al., "Innovative IoT Smart Lock System: Enhancing Security with Fingerprint and RFID Technology," *Malaysian Journal of Science and Advanced Technology*, pp. 360–365, Aug. 2024, doi: 10.56532/mjsat.v4i4.335.
- [3] Muneeb Ahmed and Mohd Majid Akhtar, "Smart Home - Application using HTTP/MQTT as Communication Protocols". *Zenodo*, Nov. 10, 2021. doi: 10.5281/zenodo.5791697.
- [4] F. Hendajani, A. Mughni, I. P. Wardhani, and A. Hakim, "Modeling Automatic Room Temperature and Humidity Monitoring System with Fan Control on the Internet of Things," *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, vol. 13, no. 2, pp. 75–85, Nov. 2022, doi: 10.21512/comtech.v13i2.7433.
- [5] C. M. C. Razali, S. Samsudin, N. Z. Mahabob, and M. Aalayamani, "Design Low-Cost IoT Smart Home System with Comfort and Humidity Control using NodeMCU ESP 32 Microcontroller," *Journal of Advanced Research in Micro sand Nano Engineering*, vol. 26, no. 1, pp. 66–82, Nov. 2024, doi: 10.37934/ARMNE.26.1.6682.
- [6] H. B. Surbakti, J. G. A. Ginting, S. Romadhona, M. B. Ginting, and K. Ni'amah, "SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA RUANGAN DENGAN PROTOKOL MQTT BERBASIS INTERNET OF THINGS," *Jurnal SINTA: Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, vol. 1, no. 3, pp. 129–137, Aug. 2024, doi: 10.61124/sinta.v1i3.25.
- [7] A. N. M. Andreas and R. Ariyanto, "Rancang Bangun Smart Home IoT dengan Integrasi Kunci Rfid dan Otomasi Elektronik," *bit-Tech*, vol. 7, no. 2, pp. 235–243, Dec. 2024, doi: 10.32877/BT.V7I2.1729.
- [8] M. Z. Mutaqin, M. E. Favian, and A. Kurniawan, "Sistem smart home pemantauan dan pengendalian suhu ruangan menggunakan Arduino ESP32 berbasis green energy," *JUPITER: Journal of Computer & Information Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 101–113, 2024.
- [9] Sutrisno, A. Roihan, and D. P. Kristiadi, "Sistem Informasi Keamanan Ruang Kelas Berbasis Mikrokontroler Atmega328," *SINTEK*, vol. 3, no. 1, pp. 14–20, Feb. 2023.
- [10] D. F. Ivanusi, R. N. Saputra, S. A. Faisal, and P. Pramono, "Alat Pengendali Suhu Ruangan Otomatis Dengan Esp32," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis*, pp. 659–663, Jul. 2025, doi: 10.47701/TSPEMY12.

- [11] M. Alfhi Syari, R. Fatih Dzaky, R. Saragih, S. Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Kaputama, and B. millialfhisuari, "Integration of the Internet of Things in Smart Home Information Systems to Improve Security and Convenience," *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)*, vol. 4, no. 3, pp. 1772–1777, Jun. 2025, doi: 10.59934/JAIEA.V4I3.1010.
- [12] M. Asep Rizkiawan et al., "Smart Building Design Web based Room Temperature and Humidity," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 12, no. 1, pp. 123–131, May 2025, doi: 10.33795/ELKOLIND.V12I1.7474.
- [13] K. Kanchanasatian, "Automatic Speed Control and Turning ON/OFF for Smart Fan by Temperature and Ultrasonic Sensor," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/325/1/012022.
- [14] F. Sharmin et al., "Humidity Based Automated Room Temperature Controller Using IoT," *Proceedings of the 3rd International Conference on I-SMAC IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, I-SMAC 2019*, pp. 226–231, Dec. 2019, doi: 10.1109/I-SMAC47947.2019.9032624.
- [15] S. Kaushik, Y. S. Chouhan, N. Sharma, and S. Singh, "Automatic Fan Speed Control using Temperature and Humidity Sensor and Arduino," *International Journal of Advance Research*, 2018, vol. 4, no. 2, pp. 453–467.
- [16] G. J. Rao, G. Satish, D. Abhinav, P. M. Manoj, N. Rao, and P. S. Ganesh, "Temperature Controlled Fan using IOT," *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET)*, vol. 4, no. 4, pp. 671–675, 2018.
- [17] I. Heryanto/Eryk, S. A. Kusuma, and M. N. Hidayat, "Sistem Otomasi Suhu dan Kelembaban Pada Greenhouse Berbasis Sensor DHT22 dan Mikrokontroler," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 97–102, Jun. 2025, doi: 10.33795/ELPOSYS.V12I2.7521.
- [18] J. Homepage, O. Pengendalian Suhu dan Kelembaban Berbasis, G. Ainur Rohman, and A. Rahman Isnain, "Otomatisasi Pengendalian Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet of Things pada Kandang Ayam Potong," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 5, no. 2, pp. 558–565, Apr. 2025, doi: 10.57152/MALCOM.V5I2.1686.
- [19] S. Mohite, S. Adsule, R. Patil, and N. Dhawas, "Automatic Temperature Based Fan Speed Controller Using Arduino," *SSRN Electronic Journal*, Apr. 2020, doi: 10.2139/SSRN.3645388.
- [20] P. MacHeso, S. Chisale, C. Daka, N. Dzupire, J. Mlatho, and D. Mukanyirigira, "Design of standalone asynchronous ESP32 web-server for temperature and humidity monitoring," in *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, pp. 635–638, Mar. 2021, doi: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441845.
- [21] J. Fisika and D. Aplikasinya, "Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar," *Jurnal Fisika dan aplikasinya*, vol. 16, p. 2020, doi: 10.12962/j24604682.v16i1.5717.
- [22] A. Yuhana, Y. Yudiana, and K. Suhada, "Rancang Bangun Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruang Server Berbasis Web Menggunakan Node MCU ESP8266," *Pros. Semin. Nas. Inov. dan Adopsi Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 207–215, May 2022, doi: 10.35969/inotek.v2i1.227.