

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA SISTEM JEMURAN OTOMATIS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SENSOR BME280 DAN RAINDROP

Wahyu Prastomo, Pramono, Joni Maulindar

Teknik Informatika, Universitas Duta Bangsa Surakarta

Jalan Bhayangkara No 55-57 Tipes, Serengan, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

Wahyuprastomo31@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan kemudahan dalam berbagai aktivitas, termasuk proses penjemuran pakaian. Namun, proses penjemuran masih bergantung pada kondisi cuaca yang dapat berubah secara mendadak, seperti hujan atau meningkatnya kelembapan udara pada malam hari sehingga pakaian kembali basah. Penelitian ini mengaplikasikan metode perancangan prototipe untuk membangun dan menguji sistem jemuran otomatis berbasis IoT yang mampu merespons perubahan cuaca secara otomatis. Pada tahapan perancangan perangkat keras, prototipe ini dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor cuaca BME280, dan sensor hujan (*raindrop*). Sementara itu, pada tahapan perancangan perangkat lunak, sistem mengimplementasikan metode pemrograman *non-blocking* untuk meningkatkan kecepatan dan respons sistem. Selain itu, prototipe juga diintegrasikan dengan *dashboard* web untuk pemantauan data cuaca dari jarak jauh. Hasil pengujian terhadap 6.242 titik data menunjukkan tingkat keberhasilan respons prototipe sebesar 100%. Sistem mampu menggerakkan motor servo secara presisi untuk menutup jemuran saat terdeteksi hujan atau kelembapan udara melebihi 70%. Pengiriman data ke server ThingSpeak juga berjalan stabil dengan interval 15 detik tanpa mengganggu kinerja mekanis sistem. Secara keseluruhan, prototipe ini terbukti mampu bekerja otomatis, akurat, dan efisien dalam menghadapi perubahan cuaca.

Kata Kunci : *Internet of Things, ESP32, BME280, Jemuran Otomatis, Prototipe, Non-blocking.*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) membawa pengaruh yang sangat signifikan pada berbagai sisi kehidupan, khususnya pada sektor otomasi hunian. Contoh pengaplikasian IoT yang kini tengah populer adalah sistem otomasi bersensor yang mampu beroperasi secara otonom dan seketika (*real-time*). Melalui inovasi ini, berbagai perangkat dapat memantau situasi sekitar, memproses informasi, dan menentukan langkah dengan sendirinya tanpa intervensi manusia secara langsung. Di ranah industri, sistem seperti ini sudah lazim diaplikasikan pada proses produksi, pengemasan, hingga tata kelola logistik. Akan tetapi, seiring berjalannya waktu, keperluan akan otomasi tersebut tidak lagi terpusat di area industri saja. Kebutuhan terhadap teknologi yang mampu meringankan urusan rumah tangga pun turut melonjak, didorong oleh tingginya tingkat mobilitas masyarakat masa kini serta minimnya waktu luang untuk menyelesaikan rutinitas harian [1].

Kegiatan menjemur pakaian merupakan salah satu rutinitas rumah tangga yang sangat bergantung pada kondisi cuaca. Efek pemanasan global belakangan ini membuat pergantian musim menjadi tidak menentu, sehingga cuaca makin sulit untuk ditebak. Situasi tersebut tentu menjadi kendala besar saat harus menjemur cucian, terlebih ketika cuaca sedang memburuk. Sering kali, saat harus bepergian, cucian basah terpaksa dijemur di dalam rumah untuk menghindari hujan. Akibatnya, pakaian menjadi lembap, membutuhkan waktu lebih lama untuk kering, dan rentan menimbulkan bau tidak sedap [2].

Menyikapi kendala tersebut, pesatnya kemajuan

teknologi saat ini dapat dimanfaatkan untuk memantau dan mengendalikan jemuran pakaian. Inovasi ini hadir sebagai solusi yang tepat untuk mengatasi masalah dalam urusan rumah tangga, khususnya yang berkaitan dengan rutinitas menjemur cucian [3].

Penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem jemuran otomatis berbasis IoT menggunakan sensor BME280 dan sensor hujan. Integrasi kedua sensor ini bertujuan agar sistem mampu merespons perubahan suhu, kelembapan, dan cuaca secara cepat dan otomatis. Selain merancang perangkat, penelitian ini juga menguji keandalan dan kecepatan respons sistem guna memberikan solusi otomasi rumah tangga yang praktis, efisien, dan adaptif.

Untuk melengkapi sistem tersebut, rencana penyelesaian masalah dalam penelitian ini juga mencakup pengembangan antarmuka pemantauan jarak jauh melalui papan pemuka (*web dashboard*) yang terintegrasi dengan platform *cloud* ThingSpeak. Sistem pada perangkat lunak dirancang secara khusus menggunakan metode *non-blocking delay* agar perangkat keras dapat merespons perubahan lingkungan secara instan. Melalui pendekatan terintegrasi ini, pengguna tidak hanya mendapatkan solusi otomasi aktuator fisik untuk mengamankan jemuran, tetapi juga kemudahan dalam memantau kondisi cuaca dan status alat secara *real-time* dari mana saja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sejumlah riset terdahulu telah mengkaji pembuatan sistem jemuran otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) guna meringankan pekerjaan rumah,

terutama dalam menghadapi kondisi cuaca yang tidak menentu. Kajian-kajian tersebut mengandalkan beragam sensor lingkungan dan mikrokontroler untuk memantau cuaca sekaligus menggerakkan jemuran dengan sendirinya.

Penelitian [4] berjudul “Sistem Pengendalian Jemuran Otomatis berbasis IoT dengan Logika Fuzzy untuk Pengkondisian Cuaca” mengembangkan sistem jemuran otomatis menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, sensor LDR, sensor hujan, serta motor servo MG996R sebagai penggerak atap jemuran. Sistem ini menerapkan metode logika fuzzy untuk menentukan kondisi cuaca berdasarkan kombinasi beberapa sensor. Selain itu, sistem dapat dimonitor melalui aplikasi Android dan memberikan notifikasi secara real-time kepada pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan cuaca dan mengendalikan atap jemuran secara otomatis dengan baik.

Penelitian [5] dengan judul “Model Jemuran Otomatis yang Termonitor dengan Teknologi IoT”. Penelitian ini merancang sistem jemuran otomatis berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor hujan, sensor DHT11, sensor LDR, kamera OV7670, motor DC, relay, kipas, dan lampu. Sistem menggunakan platform IoT Antares untuk monitoring dan controlling secara real-time melalui internet. Hasil pengujian menunjukkan seluruh sensor dan aktuator dapat bekerja sesuai perancangan dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%. Penelitian ini menekankan kemampuan monitoring kondisi lingkungan secara real-time dan pengendalian otomatis berdasarkan data sensor.

Selanjutnya, penelitian [6] berjudul “Rancang Bangun Jemuran Pintar Otomatis Berbasis *Internet of Things* (IoT)” mengembangkan prototipe jemuran pintar menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor hujan, sensor LDR, dan sensor DHT22. Sistem ini menggunakan motor servo sebagai aktuator dan platform Blynk sebagai media monitoring serta kontrol manual melalui smartphone. Penelitian ini menawarkan integrasi multi-sensor dalam satu sistem terpadu sehingga mampu merespon kondisi hujan, cahaya, dan kelembapan secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dalam berbagai kondisi cuaca dan meningkatkan efisiensi proses penjemuran pakaian.

Penelitian berikutnya [7] dengan judul “Perancangan Jemuran Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dan API”. Penelitian ini memanfaatkan sensor hujan, sensor LDR, serta Open Weather API sebagai input sistem untuk mendeteksi kondisi cuaca dan melakukan prediksi hujan secara dini. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendali dan motor servo sebagai aktuator penggerak atap jemuran. Selain itu, sistem terintegrasi dengan platform Blynk untuk mengirim notifikasi dan monitoring jarak jauh. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi sensor fisik dan data cuaca berbasis API dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam

mengantisipasi perubahan cuaca secara lebih cepat dan akurat.

Selain itu, penelitian [8] berjudul “Perancangan Prototipe Jemuran Pakaian Otomatis Berbasis Arduino dengan Pendekatan *Internet of Thing*” mengembangkan sistem jemuran otomatis menggunakan Arduino Uno, sensor hujan, dan sensor LDR. Sistem bekerja dengan mendeteksi kondisi cahaya dan hujan untuk menarik jemuran ke tempat yang aman secara otomatis. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor lingkungan dapat membantu masyarakat mengurangi kekhawatiran saat meninggalkan jemuran di luar rumah ketika cuaca berubah secara tiba-tiba.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi IoT memiliki potensi besar dalam mendukung otomatisasi sistem jemuran pakaian berbasis kondisi cuaca. Perbedaan penelitian yang dilakukan saat ini terletak pada penggunaan sensor BME280 untuk pengukuran suhu dan kelembapan dengan tingkat akurasi yang lebih baik, serta fokus pada analisis kinerja sistem dalam mendeteksi kondisi lingkungan dan respon aktuator secara real-time. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih efektif, responsif, dan efisien dalam proses penjemuran pakaian otomatis berbasis IoT.

2.1. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan inovasi mutakhir yang diciptakan guna memaksimalkan pemanfaatan koneksi internet yang senantiasa terhubung. Melalui teknologi ini, beragam perangkat dapat saling terintegrasi untuk menyederhanakan rutinitas harian agar lebih praktis dan efisien, sehingga mampu meringankan beban pekerjaan manusia. Saat ini, pengaplikasian IoT makin meluas di berbagai aspek kehidupan. Pada proses komunikasinya, konsep IoT diimplementasikan lewat sistem identifikasi berbasis RFID (*Radio Frequency Identification*). Di samping itu, teknologi tersebut turut melibatkan penggunaan sensor, jaringan tanpa kabel (*wireless*), serta kode QR (*Quick Response*). Terminologi “*Internet of Things*” sendiri terbentuk dari dua unsur pokok, yaitu “*Internet*” yang berkaitan dengan jaringan beserta tata kelolanya, dan “*Things*” yang merepresentasikan objek perantara interaksi antara manusia dengan computer [9].

2.2. ESP32



Gambar 1. ESP 32

ESP32 merupakan chip berteknologi 40nm yang dibekali konektivitas Wi-Fi 2.4 GHz dan Bluetooth.

Komponen ini diciptakan untuk menghasilkan performa radio serta efisiensi daya yang maksimal, dan terbukti tangguh, serbaguna, maupun dapat diandalkan pada berbagai jenis aplikasi dan skenario penggunaan daya. Sebagai modul mikrokontroler dengan fasilitas mode ganda, ESP32 berfungsi untuk memudahkan para penggunanya dalam merancang beraneka ragam aplikasi dan proyek berbasis Internet of Things (IoT). Diluncurkan oleh Espressif System sebagai generasi penerus dari ESP8266, mikrokontroler ESP32 hadir membawa banyak keunggulan dan pembaruan fitur yang melampaui pendahulunya. Perangkat ini didukung oleh inti CPU dan koneksi Wi-Fi yang lebih kencang, jumlah pin GPIO yang lebih melimpah, kompatibilitas terhadap Bluetooth 4.2, serta tingkat konsumsi daya yang hemat. Kombinasi spesifikasi tersebut menjadikannya komponen yang sangat ideal untuk keperluan perancangan berbagai proyek elektronika di bidang IoT [10].

2.3. Sensor BME280



Gambar 2. Sensor BME 280

BME280 merupakan modul sensor digital terintegrasi buatan Bosch Sensortec yang telah terbukti keandalannya dalam mengukur suhu, kelembapan udara, tekanan atmosfer, hingga ketinggian tempat. Kelebihan utama dari komponen ini terletak pada ukuran fisiknya yang sangat kompak serta tingkat konsumsi energi yang amat hemat. Karakteristik tersebut menjadikan BME280 sangat ideal dan praktis untuk disematkan ke berbagai perangkat elektronik bersumber daya baterai, seperti ponsel pintar, jam tangan pintar (*smartwatch*), maupun perangkat pelacak GPS [11].

2.4. Sensor Raindrop

Sensor *raindrop* adalah komponen elektronik yang dibuat secara spesifik guna mengidentifikasi jatuhnya tetesan air hujan. Pada umumnya, alat ini tersusun atas dua elemen pokok, yaitu papan penerima yang berinteraksi langsung dengan air serta modul komparator sebagai pengontrol. Dari segi fisik, papan sensor tersebut dibentuk dari rangkaian berlapis nikel dengan cetakan berpola garis-garis paralel. Pada saat beroperasi, perangkat ini amat bergantung pada konsep hambatan listrik atau resistansi. Apabila rintik air menyentuh permukaan papan, besaran hambatan di dalam sirkuit akan mengalami perubahan dengan sendirinya. Selanjutnya, modul komparator berperan memproses perubahan sinyal analog itu dan mengonversinya menjadi keluaran (output) digital [12].



Gambar 3. Raindrop sensor

2.5. Motor Servo

Motor servo adalah sistem kendali berjenis lingkaran tertutup yang memanfaatkan umpan balik posisi guna mengontrol pergerakan sekaligus posisi akhirnya. Walaupun dibekali dengan bermacam-macam fungsi, keunggulan paling menonjol dari motor servo terletak pada kemampuannya untuk menentukan posisi poros secara sangat presisi [13].



Gambar 4. Motor servo

Motor servo bekerja dengan memanfaatkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dikirimkan oleh mikrokontroler, seperti ESP32, untuk menentukan sudut putaran poros servo. Besarnya lebar pulsa yang diberikan akan menentukan posisi sudut tertentu, sehingga motor servo mampu bergerak secara presisi sesuai perintah sistem. Kemampuan ini menjadikan motor servo banyak digunakan pada sistem otomatisasi, robotika, dan perangkat berbasis IoT yang membutuhkan pengendalian gerakan secara akurat.

2.6. ThingSpeak

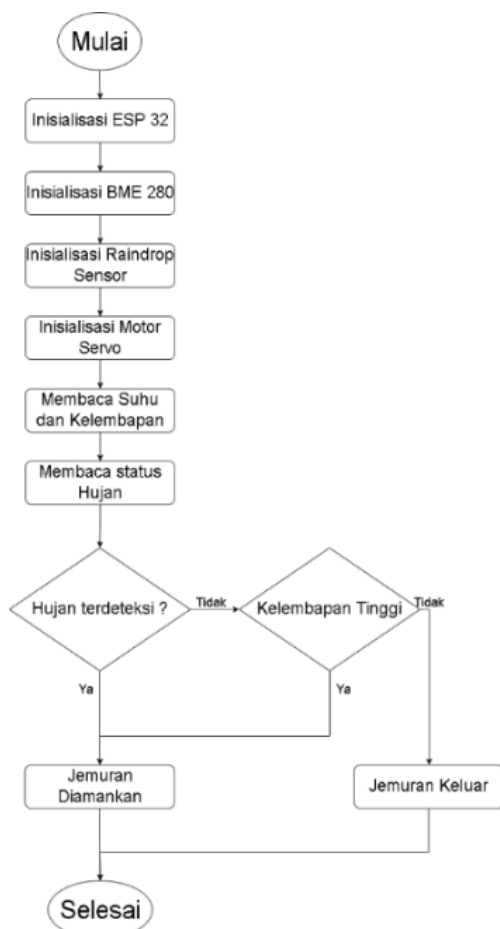
ThingSpeak merupakan sebuah platform *Internet of Things* (IoT) yang memfasilitasi penggunanya untuk menghimpun, menganalisis, sekaligus menampilkan data secara visual dari bermacam-macam sensor maupun perangkat. Sistem ini menawarkan antarmuka berbasis web yang berfungsi sebagai wadah untuk menyimpan dan menarik data dari instrumen IoT, serta mendukung perancangan aplikasi yang memanfaatkan kumpulan informasi tersebut [14].

ThingSpeak mendukung komunikasi data melalui protokol HTTP dan MQTT sehingga memudahkan integrasi dengan berbagai mikrokontroler seperti ESP32 dan Arduino. Platform ini juga menyediakan fitur grafik (*chart*) secara real-time yang memungkinkan pengguna memantau perubahan data sensor secara langsung melalui dashboard online.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode *prototype*, yaitu sebuah pendekatan pengembangan sistem yang diawali dengan pembuatan purwarupa awal untuk diuji serta dievaluasi oleh pengguna sebelum versi finalnya dibangun secara menyeluruh. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya dalam menyajikan gambaran awal dari sistem yang hendak dirancang, sehingga proses pengembangan dan penyempurnaan dapat berjalan lebih mudah sesuai ekspektasi pengguna. Di samping itu, pendekatan *prototype* yang memiliki sifat iteratif (berulang) memungkinkan identifikasi kesalahan maupun kelemahan sistem secara lebih dini sebelum tahap implementasi akhir dieksekusi.

Dalam studi ini, penggunaan metode *prototype* difungsikan guna menyederhanakan alur perancangan, baik pada sisi perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*). Purwarupa tahap pertama dibangun untuk melakukan pengujian terhadap kinerja sensor BME280, sensor *raindrop*, motor penggerak jemuran, sekaligus sistem komunikasi IoT yang terintegrasi di dalamnya. Setelah itu, purwarupa tersebut akan melalui tahap pengujian lanjutan untuk memastikan bahwa sistem secara keseluruhan telah beroperasi secara optimal dan selaras dengan kebutuhan penggunaanya.



Gambar 5. Flowchart sistem jemuran otomatis

3.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Pada tahap analisis kebutuhan sistem dilakukan proses identifikasi terhadap seluruh komponen yang dibutuhkan dalam perancangan sistem jemuran otomatis berbasis IoT. Analisis ini meliputi kebutuhan perangkat keras yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi cuaca, memproses data, serta menggerakkan mekanisme jemuran otomatis, dan kebutuhan perangkat lunak yang digunakan untuk proses pemrograman, pengiriman data, serta monitoring sistem secara real-time. Dalam penelitian ini, sensor BME280 digunakan untuk membaca kondisi lingkungan berupa suhu, kelembaban, dan tekanan udara, sedangkan sensor *raindrop* digunakan untuk mendeteksi adanya hujan. Seluruh data sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang kemudian mengendalikan motor penggerak jemuran secara otomatis sesuai kondisi cuaca. Selain itu, sistem juga memanfaatkan teknologi IoT sehingga pengguna dapat memantau kondisi jemuran melalui perangkat *smartphone* atau media monitoring lainnya yang terhubung ke internet.

a. Perangkat Keras

Dalam penelitian ini perangkat keras yang digunakan meliputi :

- ESP 32
- Sensor BME 280
- Raindrop Sensor
- Motor Servo

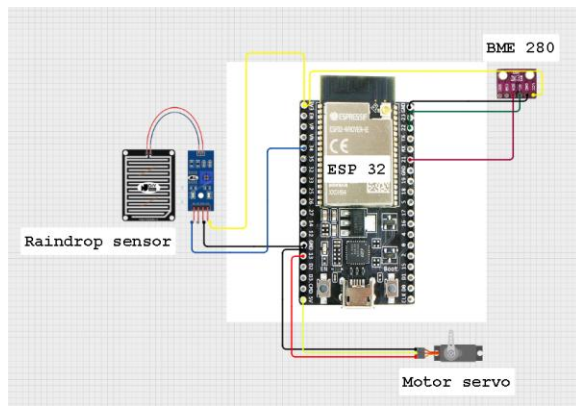
b. Perangkat Lunak

Selain perangkat keras ada juga perangkat lunak yang digunakan penelitian ini yaitu :

- Arduino IDE
- Visual Code Studio
- HTML, CSS, JS
- Thingspeak
- Web Dashboard

3.2. Desain Rangkaian

Perancangan perangkat keras sistem jemuran otomatis ini mengintegrasikan seluruh komponen elektronik dengan ESP32 sebagai pusat kendali utama melalui pembagian jalur daya dan komunikasi data yang tersusun rapi. Dalam pendistribusian catu daya, tegangan dibagi menjadi dua jalur utama berdasarkan karakteristik operasional masing-masing komponen, di mana pin daya 5V pada ESP32 digunakan secara khusus untuk menyuplai motor servo agar mendapatkan pasokan energi yang besar dan stabil saat menggerakkan beban mekanis jemuran. Sementara itu, sensor BME280 dan modul komparator sensor *raindrop* dihubungkan secara paralel pada pin tegangan rendah 3.3V milik ESP32 guna memastikan pembacaan logika digital berada pada level yang aman bagi pin input mikrokontroler. Seluruh terminal negatif atau *ground* dari motor servo, sensor BME280, serta modul *raindrop* kemudian disatukan menuju pin GND mikrokontroler untuk menciptakan kesatuan referensi tegangan yang stabil di dalam rangkaian.



Gambar 6. Desain rangkaian

Pada bagian komunikasi sinyal dan antarmuka, setiap sensor dan aktuator menempati pin GPIO (*General Purpose Input Output*) yang spesifik sesuai dengan karakteristik data yang dikirimkan. Sensor BME280 menggunakan komunikasi serial I2C bus dengan menghubungkan pin SDA ke GPIO 21 dan pin SCL ke GPIO 22 pada ESP32 untuk mentransmisikan data suhu dan kelembapan udara secara berkelanjutan. Di sisi lain, modul komparator sensor *raindrop* yang telah terhubung ke panel detektor air hujan dipasangkan pada pin GPIO 34 untuk menyalurkan sinyal digital berupa logika *HIGH* atau *LOW* saat cuaca berubah. Sebagai penutup dari rangkaian lokal ini, pin data atau sinyal kendali PWM pada motor servo ditambatkan pada pin GPIO 13, sehingga ESP32 dapat mengirimkan perintah perubahan sudut secara presisi untuk menggerakkan mekanisme fisik jemuran berdasarkan masukan kondisi cuaca yang diterima.

3.3. Perancangan Web

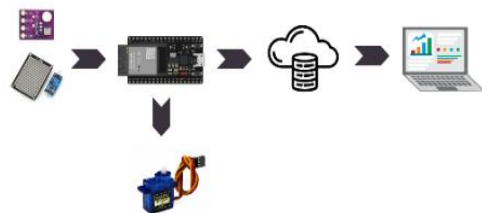
Perancangan pada web dibangun menggunakan seni bina penskripan sebelah klien (*Client-Side Scripting*) yang berasaskan integrasi komponen HTML, CSS, dan JavaScript secara asinkron. Sistem web ini dihubungkan secara masa nyata dengan platform awan *ThingSpeak*. Reka bentuk antaramuka pengguna diimplementasikan pada fail HTML dengan mengaplikasikan konsep Reka Bentuk Web Responsif (*Responsive Web Design*) menggunakan *CSS Grid Layout*. Pendekatan ini membolehkan paparan visual bagi lima kad maklumat berangka—iaitu suhu, kelembapan, tekanan udara, status hujan, dan status servo serta empat bingkai graf sejarah (*iframe*) dapat menyesuaikan diri secara automatik mengikut pelbagai saiz skrin pengguna, sama ada melalui komputer mahupun peranti pintar.

Dari segi logik pemprosesan, mekanisme penarikan data dilaksanakan di dalam fail JavaScript menggunakan kaedah *Fetch API* untuk mengambil data berformat JSON dari pelayan *ThingSpeak* secara automatik setiap 15 saat menerusi fungsi *pemasa setInterval()*. Ini membolehkan data papan pemuka dikemas kini secara dinamik tanpa memerlukan pengguna memuat semula (*reload*) keseluruhan halaman web tersebut. Bagi memastikan keselarasan

penerimaan data yang dihantar oleh mikropengawal ESP32, JavaScript menerapkan fungsi penguraian data (*data parsing*) dengan ciri khas pengendalian nilai kosong (*Null/NaN Handling*) pada pembacaan tekanan udara bagi mengelakkan ralat visual pada antara muka web. Selain itu, papan pemuka ini mentafsir logik binari penerima kepada paparan teks bermaklumat, di mana pemacu jemuran akan dilabelkan sebagai "TERTUTUP (DIAMANKAN)" sekiranya penerima mengesan hujan atau tahap kelembapan udara melangkaui had kritikal 80%, dan "TERBUKA" apabila keadaan cuaca disahkan cerah serta kering.

3.4. Implementasi Sistem

Tahap Tahap implementasi merupakan realisasi dari rancangan sistem yang telah dibuat, baik dari segi perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*). Sistem jemuran otomatis ini diintegrasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang mengolah data dari sensor BME280 dan sensor *raindrop* untuk menggerakkan motor servo.



Gambar 7. Implementasi sistem

ESP32 bertindak sebagai otak dari sistem yang bertugas mengolah data masukan dan mengeksekusi logika program yang telah ditanamkan. Berdasarkan kondisi cuaca yang terbaca, ESP32 membagi instruksinya ke dalam dua jalur output secara bersamaan. Pengendalian lokal berupa pengiriman sinyal PWM ke motor servo untuk menggerakkan mekanik jemuran; servo akan berputar menutup saat mendeteksi hujan atau kelembapan tinggi, dan akan berputar membuka kembali saat cuaca kembali cerah. Sementara itu, memanfaatkan fitur Wi-Fi pada ESP32 untuk mengirimkan data parameter cuaca tersebut ke *cloud database* berbasis internet. Dari server lokal atau awan ini, data diteruskan dan disinkronisasikan ke perangkat laptop pengguna, sehingga kondisi cuaca di sekitar jemuran serta status pergerakan atap dapat dipantau dari jarak jauh melalui visualisasi grafik yang informatif pada *dashboard* monitoring.

3.5. Pengujian Sistem

Pengujian pada sektor masukan (*input*) dilakukan secara spesifik untuk mengetahui sejauh mana kemampuan dan tingkat sensitivitas masing-masing sensor dalam merespons perubahan kondisi lingkungan di sekitar area jemuran. Pada pengujian sensor BME280, pengamatan difokuskan pada stabilitas dan kontinuitas sensor dalam membaca fluktuasi suhu dan persentase kelembapan udara secara

real-time. Proses ini dilakukan dengan menempatkan sistem di luar ruangan dengan kondisi lingkungan yang berbeda, seperti di bawah terik matahari langsung, hingga pada kondisi lingkungan malam hari yang dingin.

Pengujian sensor *raindrop* dilakukan melalui simulasi cuaca dari kondisi kering hingga hujan lebat untuk menentukan nilai ambang batas (*threshold*) yang presisi pada ESP32. Berdasarkan rekaman *log* historis sebanyak 6.242 baris data observasi, sensor ini menunjukkan tingkat keberhasilan respons mencapai 100%. Saat panel dalam kondisi kering, sensor secara konsisten mengirimkan sinyal logika *HIGH* (bernilai 1) ke pin GPIO 27, yang menahan motor servo di sudut 90° pada posisi terbuka. Sebaliknya, tepat saat rintik air menyentuh panel atau kelembapan diatas 75%, modul secara akurat mengubah statusnya menjadi *LOW* (bernilai 0). Perubahan digital ini dieksekusi oleh ESP32 dalam hitungan milidetik, yang langsung memicu motor servo berputar ke posisi 0° guna menutup atap jemuran seketika.

3.6. Evaluasi Sistem

Langkah analisis dan evaluasi ini memegang peranan krusial untuk memastikan bahwa seluruh rangkaian sistem dapat menyatu dan berfungsi demi mencapai target penelitian. Melalui tahapan ini, seluruh catatan dan data dari hasil pengujian lapangan akan dibedah kembali. Peneliti menyoroti beberapa poin utama, mulai dari seberapa peka panel *raindrop* menerima air, konsistensi data suhu dan kelembapan dari BME280, hingga kegesitan motor servo dalam merespons perintah dari ESP32.

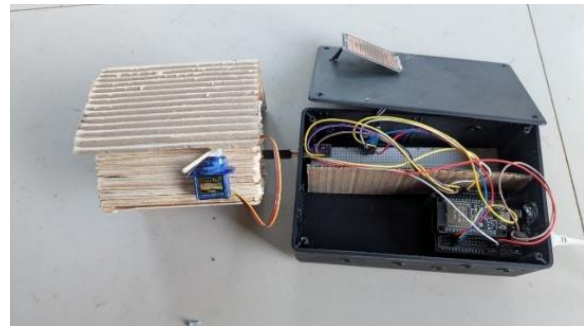
Apabila dalam prosesnya ditemukan kendala seperti pergerakan atap jemuran yang tersendek atau salah baca kondisi cuaca maka tindakan korektif akan langsung diambil. Perbaikan ini mencakup perombakan baris kode instruksi di Arduino IDE, penataan ulang sudut putar servo agar gerakannya lebih mulus, serta penyetelan ulang nilai sensitivitas sensor agar tidak mudah terkecoh oleh kondisi lingkungan yang sekadar berawan. Siklus evaluasi dan penyempurnaan ini terus diputar secara berulang sampai alat benar-benar menunjukkan performa yang tangguh serta minim eror. Hasil akhirnya adalah sebuah sistem jemuran pintar yang tidak hanya tanggap dalam membaca dinamika cuaca lokal, tetapi juga cekatan dalam melindungi pakaian secara otomatis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil pengujian terintegrasi dari sistem pemantauan jemuran pintar berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengujian difokuskan pada keandalan operasional perangkat keras (ESP32 dan penderia) dalam membaca dan merespons kondisi cuaca, serta keakuratan sinkronisasi data yang ditampilkan pada papan pemuka (*dashboard*) berbasis web secara waktu nyata (*real-time*).

4.1. Rangkaian Sistem

Sistem kendali utama menggunakan mikrokontroler ESP32 yang bertugas membaca data dari sensor dan menggerakkan motor servo. Sensor hujan dihubungkan ke pin GPIO 27 pada ESP32, sedangkan motor servo yang berfungsi sebagai penggerak atap pengaman dihubungkan ke pin GPIO 18. Untuk memantau cuaca, sensor BME280 yang mengukur suhu, kelembapan, dan tekanan udara disambungkan melalui jalur antarmuka I2C. Agar sensor BME280 lebih awet dan tidak cepat rusak, kabel dayanya disambungkan secara khusus ke pin 3.3V pada ESP32, bukan ke pin 5V



Gambar 8. Rangkaian sistem

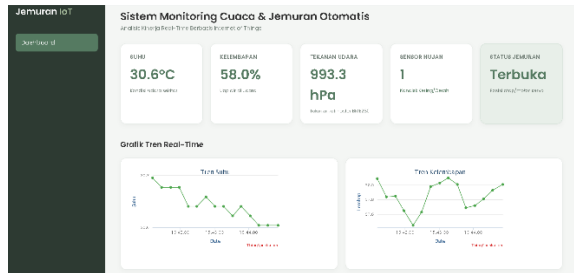
Posisi pemasangan alat-alat ini ternyata sangat memengaruhi keakuratan sistem secara keseluruhan. Sensor BME280 sangat mudah terpengaruh oleh panas yang dihasilkan oleh cip WiFi ESP32 saat alat sedang sibuk mengirim data. Untuk mencegah hal tersebut, fisik sensor dipisahkan dari papan sirkuit utama menggunakan kabel sepanjang 15 hingga 30 cm. Selain itu, karena sensor cuaca ini tidak boleh terkena sinar matahari atau hujan secara langsung, alat tersebut diletakkan di dalam kotak pelindung cuaca bersirip pada ketinggian minimal 1,5 meter dari permukaan tanah.

Sebaliknya, papan sensor hujan justru diletakkan di bagian paling atas jemuran agar langsung terkena air saat hujan turun tanpa ada yang menghalangi. Sensor hujan ini dipasang diluar kota agar sisa hujan bisa langsung mengenai sensor. Terakhir, semua komponen otak elektronik seperti ESP32, kabel penghubung, dan alat penurun tegangan dimasukkan dengan aman ke dalam kotak anti-air. Kotak ini kemudian dipasang dengan memastikan posisinya masih bisa menangkap sinyal WiFi dari rumah dengan lancar.

4.2. Web Monitoring

Berdasarkan hasil pengujian, sistem *dashboard* web telah berhasil menampilkan pemantauan data cuaca dan status jemuran secara langsung (*real-time*). Antarmuka web ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan JavaScript yang terhubung langsung ke server *cloud* ThingSpeak. Pada halaman utama, sistem menampilkan lima kotak informasi yang menunjukkan kondisi terkini, yaitu suhu, kelembapan, tekanan udara, status hujan, dan

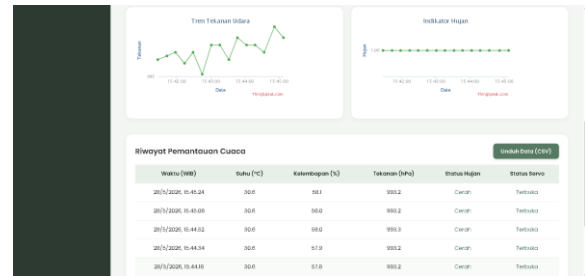
posisi motor servo. Selain itu, web juga dilengkapi dengan empat grafik untuk memantau riwayat perubahan cuaca. Tampilan *dashboard* ini dirancang dengan konsep responsif, sehingga tata letaknya dapat menyesuaikan secara otomatis dan tetap rapi saat diakses melalui layar komputer maupun ponsel cerdas.



Gambar 9. Web monitoring cuaca dan jemuran

Pada proses pengolahan data, pengambilan informasi dari server ThingSpeak berjalan di latar

belakang secara otomatis. Metode ini memungkinkan *dashboard* terus memperbarui data cuaca terbaru tanpa mengharuskan pengguna memuat ulang (*refresh*) halaman web secara manual. Sistem juga menggunakan JavaScript untuk menerjemahkan kode angka dari alat ESP32 menjadi teks yang mudah dibaca oleh pengguna. Sebagai contoh, angka dari sensor diterjemahkan menjadi teks "Hujan" atau "Kering/Cerah".



Gambar 10. Web monitoring cuaca dan jemuran

Tabel 1. Tabel hasil pengujian sistem

Waktu	suhu (°C)	kelmbapan (%)	tekanan udara (hPa)	cuaca	jemuran	keterangan
27/5/2026 09:14:19	27.7	69.8	997.5	Cerah	Tertutup	Kelembapan normal ($\leq 70\%$), jemuran dibuka
27/5/2026 12:13:45	31.2	55.2	995.4	Cerah	Tertutup	Kelembapan normal ($\leq 70\%$), jemuran dibuka
27/5/2026 22:56:18	27.0	75.0	996.9	Cerah	Tertutup	Kelembapan naik ($> 70\%$), jemuran diamankan
27/5/2026 23:06:09	26.9	75.0	997.0	Cerah	Tertutup	Kelembapan naik ($> 70\%$), jemuran diamankan
03/6/2026 17:13:30	29.9	63.3	993.1	Hujan	Tertutup	Hujan jemuran diamankan

Selain itu, sistem menampilkan status "Tertutup (Diamankan)" apabila kelembapan udara terpantau melewati batas 70%, dan kembali "Tertutup" saat cuaca normal. Untuk menjaga kestabilan sistem dari kemungkinan *error*, kode *dashboard* ini telah dilengkapi dengan fitur penyaring data kosong. Dengan demikian, apabila terjadi kegagalan pembacaan pada sensor—seperti data tekanan udara yang sesekali terputus—tampilan *dashboard* tidak akan rusak dan tetap dapat digunakan dengan lancar.

4.3. Hasil Pengujian Sistem

Berdasarkan *log* data historis dari *cloud* ThingSpeak, sistem telah berhasil merekam 6.242 baris data pemantauan secara berkelanjutan. Pengujian ini mencakup rentang waktu pemantauan dari tanggal 27 Mei 2026 (pukul 08:52 WIB) hingga 28 Mei 2026 (pukul 15:51 WIB). Kinerja sensor lingkungan BME280 menunjukkan tingkat pembacaan yang stabil dengan merekam dinamika parameter cuaca yang wajar. Suhu udara lingkungan yang terekam berfluktuasi antara 25,2 °C hingga 32,2 °C, dengan rata-rata keseluruhan berada di angka 28,4 °C. Tingkat kelembapan udara (*humidity*) bervariasi antara 48,4% pada kondisi siang terik hingga mencapai 80,5% pada puncaknya di malam hari. Sementara itu, pengukuran

tekanan atmosfer terpantau konsisten pada kisaran 992,9 hPa hingga 998,2 hPa. Hal ini mengonfirmasi bahwa penanganan nilai galat (*Null/NaN handling*) pada skrip web telah berfungsi dengan baik, sehingga tidak ada gangguan data kosong yang memengaruhi rekam jejak dasbor.

Dari segi evaluasi aktuator, selama rentang pengujian dua hari tersebut kondisi cuaca terpantau cerah dan tidak mendeteksi adanya rintik hujan. Meskipun demikian, keandalan sistem (*system reliability*) tetap teruji melalui implementasi logika perlindungan berlapis terkait batas kelembapan udara. Data historis mencatat secara valid bahwa aktuator secara otomatis mengunci status menjadi "Tertutup" saat persentase kelembapan udara melampaui ambang batas 70% di waktu malam hingga dini hari. Sebaliknya, pada 3.159 titik pantau siang hari di mana sensor membaca cuaca "Cerah" berserta kelembapan yang tergolong kering ($\leq 70\%$), motor servo mempertahankan posisi "Tertutup" dengan sangat presisi. Hasil ini mengukuhkan bahwa sistem sanggup mengamankan jemuran secara mandiri (melalui parameter uap air) meskipun tidak ada hujan yang turun.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pembuatan dan uji coba, purwarupa alat jemuran pintar ini sudah terbukti bisa bekerja dengan sangat baik. Otak alat (ESP32) dan sensor-sensornya berhasil mendeteksi perubahan cuaca dengan tepat. Jemuran akan otomatis tertutup saat alat merasakan rintik hujan, atau saat udara sangat lembap (di atas 70%) pada malam hari agar pakaian tidak basah terkena embun. Selain itu, dengan adanya perbaikan pada kode program, mesin penarik atap jemuran kini bisa bergerak dengan sangat cepat dan langsung merespons cuaca tanpa harus *lag* atau tertunda oleh proses pengiriman data ke internet. Halaman web untuk memantau jemuran juga berjalan lancar; bisa menampilkan kondisi cuaca secara langsung, tidak mudah *error* walau ada data sensor yang terputus, dan riwayat cuacanya bisa diunduh (*download*) ke dalam file Excel.

Meskipun alat ini sudah berfungsi dengan baik, ada beberapa saran agar alat ini bisa lebih sempurna di masa depan. Jika alat ini ingin dipasang pada jemuran asli yang ukurannya besar, sebaiknya mesin penggeraknya diganti dengan motor yang lebih kuat (seperti pendorong *linear actuator*) agar kuat menahan beban atap yang berat dan tiupan angin kencang. Selanjutnya, karena alat ini diletakkan di luar ruangan, sangat disarankan untuk menambahkan panel surya dan baterai agar alat bisa menyala secara mandiri tanpa harus terus-menerus dicolokkan ke colokan listrik rumah. Terakhir, sistem ini akan jauh lebih canggih jika ditambahkan fitur pemberitahuan (notifikasi) pesan yang dikirim langsung ke WhatsApp atau Telegram pengguna setiap kali atap jemuran otomatis ditutup.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Alzahra and F. Damsi, "Analisis komparatif efektivitas sensor pada sistem jemuran otomatis berbasis mikrokontroler," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3, Jul. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.7230.
- [2] K. A. A. Pahlevi, A. I. Pradana, and D. Hartanti, "Rancang bangun sistem jemuran otomatis berbasis Internet of Things (IoT)," *Adopsi Teknologi dan Sistem Informasi (ATASI)*, vol. 4, no. 2, Sep. 2025, doi: 10.30872/atasi.v4i2.3174.
- [3] A. A. M. Syam, "Alat jemuran otomatis menggunakan rain sensor dan Internet of Things (IoT)," *Jurnal MediaTIK: Jurnal Media Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer*, vol. 6, no. 1, Jan. 2023.
- [4] S. Hidayatulloh and J. Aryanto, "Sistem pengendalian jemuran otomatis berbasis IoT dengan logika fuzzy untuk pengkondisian cuaca," *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, vol. 7, no. 2, pp. 287–296, Dec. 2023, doi: 10.29408/edumatic.v7i2.21515.
- [5] Y. N. Handakara and D. Widjaja, "Model jemuran otomatis yang termonitor dengan teknologi IoT," *TECHNOPEX-2025 Institut Teknologi Indonesia*, 2025.
- [6] A. M. F. Dzikrulkhair, R. Satra, and A. W. M. Gafar, "Rancang bangun jemuran pintar otomatis berbasis Internet of Things (IoT)," *LINIER: Literatur Informatika dan Komputer*, vol. 2, no. 3, pp. 438–446, Oct. 2025, doi: 10.33096/linier.v2i3.3153.
- [7] I. F. Amin and D. Laksmiati, "Perancangan jemuran otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 dan API," *Jurnal Ilmiah GIGA*, vol. 27, no. 1, doi: 10.47313/jig.v%vi%i.3710.
- [8] S. Fazira, "Perancangan prototipe jemuran pakaian otomatis berbasis Arduino dengan pendekatan Internet of Thing," *Jurnal Comasie*, vol. 9, no.4, 2023.
- [9] A. Syahfitri, "Internet of Things (IoT), sejarah, teknologi, dan penerapannya," *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 113–120, Jan. 2025, doi: 10.61132/uranus.v3i1.667.
- [10] M. F. Azhar and L. Nurpulaela, "Implementasi penggunaan esp32 sebagai iot pada project smart charger di pt. Pasifik satelit nusantara bekasi," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 8, no. 4, 2024.
- [11] A. Vonie Rachmawati, M. Yantidewi, and A. Penelitian, "Analisis kalibrasi sensor bme280 dengan pendekatan regresi linear pada pengukuran temperatur, kelembaban relatif, dan titik embun bme280 sensor calibration analysis with linear regression approach for temperature, relative humidity and dew point measurements," *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 5, pp. 1589–1597, 2024, doi: 10.56338/jks.v7i5.5272.
- [12] A. Widodo and A. Sumaedi, "Prototipe deteksi hujan berbasis Arduino Uno menggunakan rain drop sensor module," *Jurnal Teknik Informatika STMIK Antar Bangsa*, vol. 9, no. 1, 2023.
- [13] K. Lesmana, "Prototipe penggunaan motor servo untuk dispenser otomatis berbasis Arduino dan sensor HC-SR04," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6063.
- [14] A. Maruf, "Sistem pendeteksi kekosongan air minum di kandang ayam menggunakan Internet of Things (IoT)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5619.