



Sistem Jemuran Otomatis Berbasis Deteksi Visual dan Sensor Hujan dengan ESP32

Muhammad Rizki Andrian Fitra¹, Neysa Talitha Jehian^{2*}, Sybil Auzi³, Thania Dealva Arsyad⁴, dan Hermawan Syahputra⁵

¹ Universitas Negeri Medan; Medan, Sumatera Utara; e-mail : andrian25544@gmail.com

² Universitas Negeri Medan; Medan, Sumatera Utara; e-mail : ixia05@gmail.com

³ Universitas Negeri Medan; Medan, Sumatera Utara; e-mail : saibil1492@gmail.com

⁴ Universitas Negeri Medan; Medan, Sumatera Utara; e-mail : thaniadealva.4233250002@mhs.unimed.ac.id

⁵ Universitas Negeri Medan; Medan, Sumatera Utara; e-mail : hsyahputra@unimed.ac.id

* Corresponding Author : Neysa Talitha Jehian

Abstract: Unpredictable weather in tropical regions often disrupts clothes drying activities, as sudden rain can cause clothes to become wet again. To address this issue, this study developed an automatic clothes drying system based on ESP32-CAM that can detect weather conditions using two main methods: sky image analysis and rain sensors. The system periodically captures sky images using the ESP32-CAM camera, then analyzes the brightness and contrast of the images to determine weather conditions, with brightness thresholds < 100 and contrast > 30 indicating cloudy weather. Data from the rain sensor is used as additional verification to enhance system accuracy. The decision-making logic combines both data sources to determine whether the clothesline should be retracted or left open. Offline image classification results show an accuracy of 93.67%, while direct testing against 10 weather scenarios yields a system accuracy of 100%. With its high performance and adaptive response to weather changes, this system demonstrates significant potential for implementation as an Internet of Things (IoT)-based home automation solution.

Keywords: Automatic Clothes Dryer; ESP32-CAM; Image Processing; Internet of Things; Rain Sensor

Abstrak: Cuaca yang tidak menentu di wilayah tropis seringkali mengganggu aktivitas menjemur pakaian, karena hujan yang datang tiba-tiba dapat membuat pakaian kembali basah. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini mengembangkan sistem jemuran otomatis berbasis *ESP32-CAM* yang mampu mendeteksi cuaca melalui dua metode utama: analisis citra langit dan sensor hujan. Sistem ini secara berkala mengambil gambar langit menggunakan kamera *ESP32-CAM*, lalu menganalisis kecerahan (*brightness*) dan kontras (*contrast*) gambar untuk menentukan kondisi cuaca, dengan ambang batas *brightness* < 100 dan *contrast* > 30 sebagai indikasi cuaca mendung. Data dari sensor hujan digunakan sebagai verifikasi tambahan untuk meningkatkan akurasi sistem. Logika pengambilan keputusan mengombinasikan kedua sumber data untuk menentukan apakah jemuran perlu ditarik atau tetap terbuka. Hasil klasifikasi citra secara *offline* menunjukkan akurasi sebesar 93,67%, sementara pengujian langsung terhadap 10 skenario cuaca menghasilkan akurasi sistem sebesar 100%. Dengan performa yang tinggi dan respons adaptif terhadap perubahan cuaca, sistem ini menunjukkan potensi besar untuk diimplementasikan sebagai solusi otomasi rumah tangga berbasis *Internet of Things (IoT)*.

Kata kunci: ESP32-CAM; Internet of Things; Jemuran Otomatis; Pengolahan Citra; Sensor Hujan

Received: May 17, 2025

Revised: May 29, 2025

Accepted: July 6, 2025

Published: July 10, 2025

Curr. Ver.: July 10, 2025



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Di era perkembangan teknologi yang semakin pesat, berbagai inovasi perangkat cerdas seperti robot dan sistem otomasi dirancang untuk mendukung aktivitas manusia menjadi lebih efisien dan adaptif terhadap kondisi lingkungan [1] [2]. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah Internet of Things (IoT), yang telah menjadi solusi menjanjikan dalam mengotomatisasi berbagai sistem untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan [3]. Salah satu tantangan yang masih sering dihadapi dalam kehidupan sehari-hari, khususnya di daerah tropis seperti Indonesia, adalah cuaca yang tidak menentu. Hujan yang turun secara tiba-tiba dapat membuat pakaian yang sedang dijemur menjadi basah kuyup, sehingga harus dicuci kembali [4]. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sistem jemuran otomatis yang dapat merespons kondisi cuaca secara real-time tanpa intervensi pengguna.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknologi ini. Penelitian [5] merancang purwarupa sistem penarik tali jemuran berbasis motor listrik, yang berfungsi untuk menarik jemuran secara otomatis saat terdeteksi hujan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan sistem berbasis mikrokontroler dapat meningkatkan kenyamanan pengguna di lingkungan perumahan. Penelitian lain oleh [6] mengintegrasikan sensor hujan dan sensor cahaya dalam sistem jemuran otomatis, sehingga mampu mendeteksi intensitas cahaya matahari dan tetesan air secara bersamaan. Meskipun efektif, pendekatan ini masih memiliki keterbatasan dalam memprediksi hujan yang datang secara tiba-tiba, karena hanya bergantung pada sensor lokal tanpa memperhitungkan kondisi awan. Penelitian [7] kemudian mencoba pendekatan berbasis IoT dengan memanfaatkan ESP32 dan API cuaca eksternal untuk monitoring secara daring. Meskipun memiliki kemampuan integrasi real-time, pendekatan ini masih belum mengakomodasi deteksi lokal yang lebih akurat.

Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem deteksi cuaca yang menggabungkan dua pendekatan, yaitu analisis citra langit menggunakan kamera ESP32-CAM dan sensor hujan berbasis deteksi tetesan air. Pengolahan citra digunakan untuk mengenali pola visual awan, seperti gelapnya langit yang mengindikasikan potensi hujan. Sistem ini menerapkan metode thresholding terhadap nilai brightness dan contrast pada citra grayscale, guna membedakan kondisi cerah dan mendung secara komputasi ringan. Thresholding sendiri digunakan untuk menyederhanakan representasi tingkat keabuan dalam citra, sehingga memudahkan proses klasifikasi.

Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya bereaksi terhadap tetesan hujan, tetapi juga mampu melakukan prediksi awal berdasarkan karakteristik visual awan. Hal ini memperkaya konsep otomasi jemuran seperti yang dikembangkan oleh penelitian sebelumnya [8], yang menekankan pentingnya monitoring berbasis aplikasi. Kombinasi antara deteksi visual dan sensor fisik ini diharapkan dapat mengurangi risiko kesalahan deteksi serta meningkatkan keandalan sistem terhadap perubahan cuaca yang cepat dan tidak terduga. Oleh karena itu, Smart Drying System hadir sebagai solusi otomasi yang lebih adaptif, prediktif, dan responsif terhadap kondisi lingkungan, sekaligus memberikan kontribusi inovatif dalam pengembangan teknologi smart home berbasis IoT.

2. Kajian Pustaka atau Penelitian Terkait

Pengolahan citra digital merupakan cabang dari ilmu komputer yang berfokus pada berbagai teknik untuk memanipulasi dan menganalisis gambar dalam bentuk digital. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan kualitas visual atau mengekstraksi informasi penting dari gambar tersebut. Tahapan umum dalam pengolahan citra meliputi akuisisi citra sebagai input awal, tahap pra-proses untuk mengurangi noise atau ketidaksempurnaan, peningkatan kualitas citra agar lebih jelas dan informatif, segmentasi untuk memisahkan objek-objek tertentu dalam gambar, serta analisis fitur yang digunakan untuk pengenalan pola atau pengambilan keputusan dalam aplikasi seperti deteksi objek, pengenalan wajah, dan klasifikasi citra [9].

Beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa analisis visual berbasis brightness dapat digunakan dalam sistem klasifikasi awan yang lebih kompleks. Penelitian [10] menggunakan metode Random Forest pada citra RGB dan NIR untuk mendeteksi awan tanpa sensor

tambahan, dengan akurasi mencapai 93,46%. Selain itu, metode deteksi awan dua lapis berbasis brightness dan tinggi dasar awan (CBH) dilaporkan mampu mencapai akurasi 89,4%, menunjukkan bahwa brightness efektif sebagai indikator kondisi atmosfer [11]. Temuan ini mendukung pemilihan brightness dan contrast sebagai parameter utama dalam sistem deteksi cuaca yang efisien dan cocok untuk perangkat seperti ESP32-CAM.

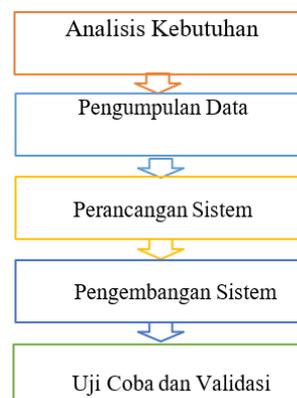
ESP32-CAM adalah board pengembangan dengan chip ESP32-S, kamera OV2640, beberapa GPIO, dan slot kartu microSD yang berguna untuk menyimpan foto hasil tangkapan kamera maupun file untuk ditampilkan kepada klien [12]. ESP32-CAM dapat digunakan secara luas di berbagai aplikasi IoT sangat cocok untuk home smart devices, industrial wireless control, wireless monitoring, QR wireless identification, wireless positioning system signals dan aplikasi IoT lainnya [13].

Module kedua yaitu Water Detection Sensor merupakan alat yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan air, terutama hujan. Cara kerjanya ketika sensor terkena air, jalur port dan jalur ground akan terhubung, sehingga tegangan hilang karena port terhubung langsung dengan ground [14]. Dengan menggunakan water detection sensor, servo akan menutup jemuran secara otomatis. Motor Servo merupakan perangkat atau actuator putar (motor) yang mampu bekerja dua arah (Clockwise dan Counter Clockwise) dan dilengkapi rangkaian kendali dengan sistem closed feedback yang terintegrasi pada motor tersebut [15].

Berbagai penelitian telah berhasil mengimplementasikan sistem jemuran otomatis berbasis IoT dengan berbagai konfigurasi. Pada penelitian [16] mengembangkan sistem menggunakan *NodeMCU ESP8266*, sensor hujan, dan motor DC yang dapat dimonitoring dan dikontrol melalui aplikasi Blynk, di mana sistem secara otomatis menarik jemuran saat hujan dan mengirimkan notifikasi. Penelitian lain [17] juga menggabungkan sensor hujan dan sensor LDR, namun menambahkan buzzer sebagai penanda alarm untuk kondisi cuaca tertentu. Sementara itu, penelitian [18] yang juga menggunakan *ESP32*, sensor air, dan sensor LDR melaporkan hasil uji kuantitatif dengan akurasi deteksi cuaca mencapai 90% dan waktu respon sistem selama 5 detik. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa sistem jemuran otomatis berbasis sensor merupakan solusi yang reliabel dan memberikan landasan performa untuk pengembangan sistem lebih lanjut.

3. Metode yang Diusulkan

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan pendekatan eksperimen prototipe. Fokusnya adalah pada pengembangan sistem otomasi jemuran berbasis ESP32-CAM dan sensor air, dengan tujuan meningkatkan respons terhadap perubahan cuaca melalui deteksi visual dan fisik secara bersamaan. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart penelitian

3.1. Analisis Kebutuhan

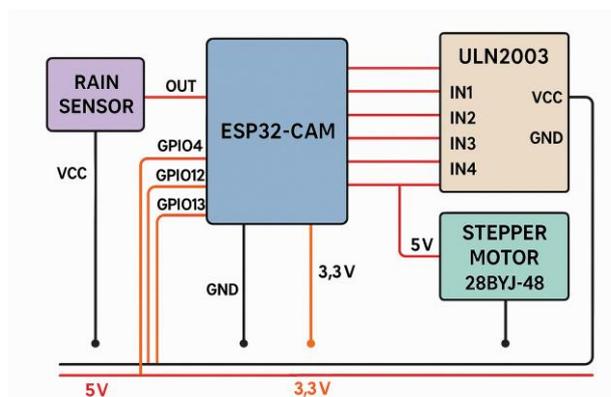
Tahap ini mencakup studi literatur dari beberapa penelitian sebelumnya untuk menentukan spesifikasi teknis sistem serta mengidentifikasi kekurangan dari sistem jemuran otomatis yang sudah ada. Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan referensi dan teori-teori yang relevan sebagai dasar penelitian dalam menemukan solusi terhadap permasalahan yang dihadapi[19].

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data citra dilakukan melalui dua sumber utama. Pertama, dalam tahap pengembangan dan validasi metode klasifikasi cuaca, digunakan dataset citra langit yang diunduh dari platform Kaggle, yang terdiri atas 521 gambar langit dengan kondisi cerah dan mendung. Kedua, untuk implementasi sistem secara real-time, digunakan modul ESP32-CAM yang diprogram untuk mengambil gambar langit secara berkala.

3.3. Perancangan Sistem

Desain sistem mencakup integrasi antara beberapa komponen utama, yaitu *ESP32-CAM* yang berfungsi untuk menangkap citra awan secara berkala, sensor air yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan tetesan hujan, motor dinamo sebagai aktuator untuk menarik jemuran secara otomatis, serta papan *ESP32* yang berperan sebagai mikrokontroler pusat untuk mengendalikan keseluruhan proses sistem. *ESP32* dipilih sebagai mikrokontroler utama karena memiliki kemampuan *WiFi*, *prosesor dual-core*, serta port digital yang cukup untuk menangani banyak input/output. Keunggulan *ESP32* memungkinkan integrasi antara sensor hujan dan hasil deteksi visual dari kamera secara efisien, serta mendukung komunikasi data secara real-time. Selain itu, *ESP32* juga dapat dikembangkan untuk fitur lanjutan seperti pengendalian sistem melalui aplikasi mobile ataupun pengiriman data ke cloud.



Gambar 2. Wiring Sistem dengan koneksi antar komponen

Gambar wiring menunjukkan koneksi antar komponen utama, yaitu *ESP32-CAM*, sensor hujan, *ULN2003* sebagai *driver motor*, dan *motor stepper 28BYJ-48*. Sensor hujan dihubungkan ke salah satu pin *GPIO* (*GPIO4*) *ESP32-CAM* sebagai *input digital* untuk mendeteksi keberadaan air. *Motor stepper* dikendalikan melalui *driver ULN2003*, yang menerima sinyal kontrol dari empat pin *GPIO* lainnya pada *ESP32-CAM* (*GPIO12*, *GPIO13*, dan dua pin lainnya sesuai konfigurasi sistem).

Catu daya sistem terdiri atas dua tegangan: 5V untuk sensor hujan, *ULN2003*, dan *motor stepper*; serta 3.3V untuk *ESP32-CAM*. *Ground* dari seluruh komponen dihubungkan bersama untuk memastikan kesamaan referensi tegangan. Konfigurasi ini memungkinkan *ESP32-CAM* menerima input dari sensor hujan serta mengontrol aktuator secara langsung tanpa perlu mikrokontroler tambahan. Desain wiring yang sederhana dan efisien ini sesuai dengan prinsip pengembangan perangkat IoT yang hemat daya dan mudah diintegrasikan.

Secara fungsional, sistem bekerja dengan alur sebagai berikut. Setelah proses inisialisasi kamera, sensor hujan, motor, dan *WiFi*, *ESP32-CAM* secara berkala mengambil gambar

langit. Setiap gambar diproses untuk menghitung nilai *brightness* dan *contrast* guna menganalisis kondisi cuaca. Jika nilai *brightness* kurang dari 100 dan *contrast* lebih dari 30, maka sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai mendung; jika tidak, dianggap cerah. Secara bersamaan, sensor hujan membaca keberadaan tetesan air sebagai data tambahan. Berdasarkan kombinasi informasi dari kedua sumber tersebut, sistem menentukan tindakan terhadap jemuran. Jika cuaca mendung dan hujan terdeteksi, jemuran akan ditutup. Jika cuaca mendung namun tidak hujan, jemuran tetap terbuka. Dalam kondisi cerah namun hujan, sistem menunda keputusan selama 30 detik untuk mengonfirmasi hujan masih berlangsung atau tidak. Sementara jika cuaca cerah dan tidak hujan, jemuran tetap dalam posisi terbuka. Sistem juga memperbarui antarmuka web setiap 10 detik agar pengguna dapat memantau status secara *real-time*.

3.4. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem dilakukan melalui dua aspek utama, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Pada sisi perangkat keras, dilakukan pemasangan dan perakitan modul ESP32-CAM, sensor air, dan motor dinamo kecil yang dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32. Seluruh komponen ini dirangkai pada breadboard dan dikonfigurasi agar dapat beroperasi secara sinkron dalam merespons perubahan kondisi cuaca.

Dari sisi perangkat lunak, pengembangan dilakukan menggunakan platform Arduino IDE. Program dirancang untuk memungkinkan ESP32-CAM mengambil gambar langit secara otomatis setiap 10 detik, sehingga sistem dapat memantau kondisi cuaca secara berkala dan *real-time*. Setiap citra yang diambil diproses untuk menganalisis warna dominan langit menggunakan pendekatan *thresholding* berdasarkan nilai *brightness* dan *contrast* guna mengidentifikasi kondisi cerah atau mendung. *Thresholding* sendiri digunakan untuk mengatur jumlah derajat keabuan yang ada pada citra, sehingga membantu menyederhanakan proses klasifikasi cuaca [20]. Selain itu, pembacaan nilai dari sensor air dilakukan untuk mendeteksi adanya presipitasi secara langsung, yang kemudian digunakan sebagai konfirmasi tambahan terhadap hasil klasifikasi citra. Berdasarkan kedua input tersebut, sistem menjalankan logika pengambilan keputusan untuk menentukan apakah jemuran perlu ditarik atau tetap terbuka, dan mengaktifkan motor dinamo sesuai dengan hasil keputusan tersebut.

3.5. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan mensimulasikan berbagai kondisi cuaca menggunakan lampu remang-remang untuk menciptakan efek mendung dan semprotan air untuk mensimulasikan hujan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam merespons perubahan cuaca secara otomatis sesuai dengan logika yang telah dirancang.

3.6 Validasi dan Evaluasi

Evaluasi sistem dilakukan dengan mengukur tingkat keberhasilan sistem dalam menarik jemuran saat terdeteksi kondisi mendung dan hujan. Selain itu, diamati juga kemungkinan terjadinya *false detection* guna menilai akurasi kombinasi antara sensor hujan dan analisis citra.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengumpulan Dataset

Sistem ini menggunakan modul *ESP32-CAM* untuk akuisisi dan pemrosesan citra, serta Sensor Hujan untuk deteksi presipitasi. Dataset validasi terdiri dari 521 gambar langit yang diambil langsung menggunakan *ESP32-CAM*, diklasifikasikan secara manual menjadi 347 gambar cerah dan 174 gambar mendung. Sebelum klasifikasi, seluruh gambar dikonversi ke format *grayscale* untuk menyederhanakan ekstraksi fitur dan mengurangi beban komputasi pada *mikrokontroler*. Klasifikasi cuaca didasarkan pada dua parameter statistik citra: *brightness* (rata-rata intensitas piksel) dan *contrast* (simpangan baku intensitas piksel).

4.2 Evaluasi Treshold

Penentuan *threshold* untuk klasifikasi cuaca berbasis fitur *brightness* dan *contrast* dilakukan dengan pendekatan statistik sederhana, yakni menetapkan batasan $brightness < 100$ dan $contrast$

> 30 untuk mengindikasikan cuaca mendung, sedangkan kondisi lain diklasifikasikan sebagai cerah. Evaluasi dilakukan terhadap seluruh dataset yang terdiri dari 521 gambar, dan hasilnya menunjukkan bahwa terdapat 347 gambar berlabel cerah (66.60%) dan 174 gambar berlabel mendung (33.40%). Hal ini menunjukkan distribusi yang cukup seimbang untuk proses pengujian klasifikasi.

Klasifikasi cuaca dilakukan secara offline menggunakan *Google Colab* dengan metode threshold sederhana terhadap fitur *brightness* dan *contrast* dari citra grayscale. Hasil klasifikasi menunjukkan performa yang cukup baik dengan akurasi mencapai 93.67%. Distribusi hasil klasifikasi dibandingkan label asli dapat dilihat pada Tabel 1, yang menunjukkan jumlah data berlabel cerah sebanyak 347 dan mendung sebanyak 174.

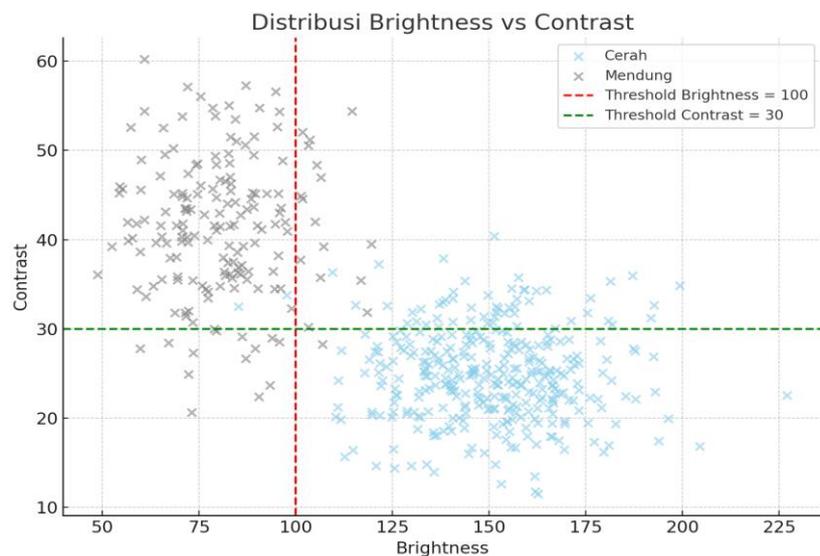
Tabel 1. Distribusi data label asli

Label	Jumlah
Cerah	347
Mendung	174

Tabel 2 menunjukkan confusion matrix dari hasil klasifikasi tersebut. Dari 347 gambar cerah, sebanyak 345 diklasifikasikan dengan benar (*True Negative*), dan 2 salah diklasifikasikan sebagai mendung (*False Positive*). Sementara dari 174 gambar mendung, 143 berhasil dikenali dengan benar (*True Positive*), sedangkan 31 sisanya diklasifikasikan salah sebagai cerah (*False Negative*).

Tabel 2. Confusion matrix

	Prediksi Cerah	Prediksi Mendung
Cerah	345	2
Mendung	31	143



Gambar 3. Distribusi brightness vs contrast untuk gambar cerah dan mendung

Keterangan:

Garis merah vertikal menunjukkan threshold brightness = 100.

Garis hijau horizontal menunjukkan threshold contrast = 30.

Titik abu-abu merupakan gambar berlabel “mendung”

Titik biru muda merupakan gambar berlabel “cerah”

Visualisasi scatter plot antara brightness dan contrast yang sebelumnya ditampilkan menunjukkan pemisahan yang cukup jelas antara dua kelas dengan *threshold* yang ditetapkan.

Garis batas *threshold* divisualisasikan dalam grafik tersebut untuk menunjukkan area klasifikasi masing-masing.

Analisis *confusion matrix* menunjukkan bahwa jumlah *True Positive* (TP) sebesar 143 dan *True Negative* (TN) sebesar 345. Kesalahan klasifikasi terdiri dari *False Positive* (FP) sebanyak 2 dan *False Negative* (FN) sebanyak 31. Hal ini berarti sistem memiliki kemampuan sangat baik dalam mengenali cuaca cerah dengan akurasi sekitar 99.4%, namun masih terdapat kelemahan dalam mendeteksi kondisi mendung, dengan tingkat kesalahan klasifikasi mendung sebesar sekitar 17.8%. Kelemahan ini kemungkinan besar disebabkan oleh variasi cahaya atau elemen non-langkitan yang mengganggu citra.

4.3 Logika Pengambilan Keputusan

Reliabilitas sistem ditingkatkan dengan mengintegrasikan hasil klasifikasi citra langit dengan data dari sensor hujan, dimana pengambilan keputusan tidak hanya berdasarkan hasil klasifikasi citra langit, tetapi juga mengacu pada data sensor hujan. Logika ini memastikan bahwa sistem dapat merespons dengan tepat terhadap fenomena cuaca yang kompleks seperti hujan panas (ketika matahari tetap bersinar meskipun terjadi hujan).

Tabel 3. Logika system jemuran otomatis

Deteksi Kamera	Sensor Hujan	Keputusan Sistem
Mendung	Hujan	Tertutup
Cerah	Tidak hujan	Terbuka
Cerah	Hujan \geq 30 detik	Tertutup
Mendung	Tidak hujan	Tertutup (preventif)

Tabel 3 merangkum logika pengambilan keputusan sistem berdasarkan kombinasi input dari kamera dan sensor hujan. Penerapan waktu penundaan selama 30 detik pada kasus hujan ringan dengan cuaca cerah diterapkan untuk mencegah kesalahan keputusan akibat percikan hujan sesaat atau embun ringan.

Untuk menghindari potensi keterlambatan dalam penutupan jemuran, sistem dirancang untuk melakukan tindakan *preventif* ketika kamera mendeteksi kondisi langit mendung, meskipun sensor hujan belum mendeteksi hujan. Langkah ini diambil sebagai bentuk respons antisipatif berbasis visual, dengan tujuan melindungi pakaian dari potensi hujan yang datang secara tiba-tiba. Dengan demikian, kamera memiliki peran aktif dalam pengambilan keputusan sistem, tidak hanya sebagai pemantau pasif.

Sistem ini tidak hanya bergantung pada sensor hujan, tetapi juga pada hasil deteksi citra langit yang diperoleh melalui kamera. Deteksi kondisi mendung digunakan sebagai indikasi awal adanya potensi hujan, sehingga sistem hanya akan membuka jemuran apabila langit benar-benar cerah dan tidak terdeteksi hujan oleh sensor. Artinya, kamera berperan sebagai lapisan verifikasi visual, yang mencegah sistem membuka jemuran pada kondisi cuaca yang kurang ideal meskipun sensor hujan belum memberikan sinyal.

4.4 Evaluasi Pengambilan Keputusan

Performa sistem dievaluasi melalui 10 pengujian terpisah dalam berbagai kondisi cuaca, meliputi cuaca cerah tanpa hujan, hujan ringan dengan matahari, cuaca mendung tanpa hujan, hingga hujan dalam kondisi langit gelap. Pengujian ini dimaksudkan untuk memverifikasi kesesuaian antara keputusan sistem dan keputusan ideal sesuai logika yang telah dirancang.



Gambar 4. Miniatur implementasi system smart drying

Tabel 4. Hasil pengujian system jemuran otomatis

No	Deteksi Kamera	Sensor Hujan	Keputusan Sistem	Keputusan Ideal	Sesuai Harapan
1	Cerah	Tidak hujan	Terbuka	Terbuka	Ya
2	Cerah	Hujan < 30 detik	Terbuka	Terbuka	Ya
3	Cerah	Hujan ≥ 30 detik	Tertutup	Tertutup	Ya
4	Mendung	Tidak hujan	Tertutup	Tertutup	Ya
5	Mendung	Hujan	Tertutup	Tertutup	Ya
6	Mendung	Tidak hujan	Tertutup	Tertutup	Ya
7	Mendung	Hujan	Tertutup	Tertutup	Ya
8	Cerah	Tidak hujan	Terbuka	Terbuka	Ya
9	Cerah	Hujan ≥ 30 detik	Tertutup	Tertutup	Ya
10	Mendung	Hujan	Tertutup	Tertutup	Ya

Pada Tabel 4 Performa sistem diuji melalui 10 skenario cuaca berbeda untuk membandingkan keputusan sistem dengan keputusan ideal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh prediksi sistem sesuai dengan kondisi sebenarnya, dengan tingkat akurasi mencapai 100% dan tidak ditemukan kesalahan dalam pengambilan keputusan.

Dari Hasil Pengujian tersebut , dapat dilakukan perhitungan Akurasi sistem dan juga Persentase Error nya dengan rumus:

Akurasi Sistem :

$$Akurasi = \frac{Akurasi \text{ Jumlah Prediksi Benar}}{Jumlah \text{ Total Pengujian}} \times 100\% = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\% \tag{1}$$

Tingkat Kesalahan (Error Rate):

$$Error \text{ Rate} = \frac{Jumlah \text{ Prediksi Salah}}{Jumlah \text{ Total Pengujian}} \times 100\% = \frac{0}{10} \times 100\% = 0\% \tag{2}$$

Hasil akurasi 100% dan tingkat kesalahan 0% dari 10 skenario pengujian ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang tinggi, khususnya dalam pengambilan keputusan pada berbagai skenario cuaca.

5. Perbandingan

Untuk mengontekstualisasikan kontribusi penelitian ini, penting untuk membandingkan sistem yang diusulkan dengan pendekatan-pendekatan yang telah ada. Berbeda secara fundamental dengan penelitian oleh [6] yang sistemnya bersifat murni reaktif hanya bertindak setelah tetesan hujan terdeteksi oleh sensor sistem yang dikembangkan ini mengintegrasikan kemampuan prediktif. Dengan menganalisis citra langit secara real-time, sistem dapat mengantisipasi potensi hujan dari kondisi awan mendung dan mengambil tindakan preventif. Kemampuan antisipatif ini merupakan sebuah kemajuan signifikan untuk mengurangi risiko pakaian basah kuyup akibat hujan yang datang tiba-tiba.

Sementara itu, jika dibandingkan dengan penelitian [7] yang memanfaatkan API cuaca eksternal untuk prediksi, sistem kami menawarkan keunggulan dalam hal akurasi dan responsivitas pada skala lokal. Ketergantungan pada API eksternal dapat menimbulkan masalah latensi dan ketidaksesuaian data pada skala mikro, di mana kondisi cuaca dapat berubah dengan cepat di satu lokasi tanpa terdeteksi oleh stasiun cuaca terdekat. Sebaliknya, pendekatan kami yang berbasis deteksi visual dan sensor fisik lokal memastikan data yang diolah adalah representasi kondisi aktual di lokasi pemasangan. Hal ini terbukti efektif melalui pencapaian akurasi keputusan fungsional sebesar 100% pada seluruh skenario pengujian.

Dengan demikian, inovasi utama penelitian ini terletak pada sintesis cerdas antara metode deteksi prediktif-visual dan reaktif-fisik. Kombinasi ini menghasilkan sebuah sistem otomatis yang lebih adaptif, andal, dan responsif dibandingkan solusi-solusi yang berfokus pada satu jenis deteksi saja.

6. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem jemuran otomatis berbasis *ESP32-CAM* dan sensor air yang mampu merespons kondisi cuaca secara *real-time*. Sistem memanfaatkan pengambilan gambar setiap 10 detik untuk mendeteksi cuaca melalui analisis *brightness* dan *contrast* dari citra langit, serta dikombinasikan dengan data dari sensor hujan untuk meningkatkan akurasi pengambilan keputusan. Hasil klasifikasi cuaca menunjukkan akurasi sebesar 93.67% pada *dataset offline*, sementara pengujian langsung pada sistem menunjukkan tingkat akurasi pengambilan keputusan mencapai 100% dalam 10 skenario uji. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang sangat baik dan keandalan tinggi dalam menghadapi variasi kondisi cuaca.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan teknologi *machine learning* guna membuat proses klasifikasi citra menjadi lebih adaptif terhadap variasi cuaca dan pencahayaan yang kompleks. Selain itu, penambahan sensor suhu dan kelembaban dapat menjadi alternatif untuk memperkaya data lingkungan, sehingga mendukung proses pengambilan keputusan secara lebih menyeluruh. Pengujian sistem dalam jangka waktu yang lebih panjang serta pada kondisi cuaca yang lebih ekstrem juga disarankan, guna mengevaluasi ketahanan dan keandalan sistem secara berkelanjutan di lingkungan nyata.

Daftar Pustaka

- [1] T. N. Irawan and N. W. Karyanto, "Rancang bangun jemuran kerupuk otomatis berbasis IoT untuk produsen kerupuk ikan di Sidayu Gresik," *Melek IT: Inf. Technol. J.*, vol. 9, no. 2, 2023.
- [2] I. P. G. W. Adiputra, I. N. Purnama, and P. T. H. Permana S, "Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Pelanggan Potensial Berbasis Web (Studi Kasus Pt. Indonesia Comnets Plus)," *JUTIK: Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 9, no. 1, Jan. 2023.
- [3] A. B. Agustina, T. Ridho, and Pramono, "Simulasi Rancang Bangun Kontrol Jemuran dan Monitoring Suhu dengan ESP32 pada Wokwi dan Blynk," *J. Inf. & Komp.*, vol. 2, no. 2, pp. 164–171, Jul. 2024.
- [4] Hidayat, T., Akbar, M., & Mursalim, M. (2024). Perancangan Prototype Alat Penjemur Pakaian Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega 328. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(3), 372-377.
- [5] D. Nusyirwan, R. Siagian, and P. P. P. Perdana, "Perancangan inovasi dari purwarupa penarik tali jemuran otomatis di Perum Kijang Kencana 4," *J. Sistem dan Teknologi Inform.*, vol. 7, no. 1, 2025.
- [6] A. F. Mrp, Nurdiani, and Rahmat, "Pengembangan jemuran otomatis berbasis mikrokontroler dengan deteksi hujan dan cahaya," *J. Ilmiah GIGA*, vol. 27, no. 1, pp. 23–32, 2024.

- [7] I. F. Amin and D. Laksmiati, "Perancangan jemuran otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 dan API," *J. TICOM*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [8] S. Wijaya and Windarto, "Prototipe sistem otomasi jemuran pintar menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan modul ESP32 dengan monitoring berbasis aplikasi Android," *J. Ticom: Technol. Inf. & Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 55–61, 2022.
- [9] N. Bagus, "Perancangan sistem deteksi tingkat kemiringan jalan sederhana dengan metode Otsu thresholding menggunakan Colab," *Router*, vol. 2, no. 3, pp. 137–146, Jul. 2024.
- [10] X. Yao, Q. Guo, A. Li, and L. Shi, "Optical remote sensing cloud detection based on random forest only using the visible light and near-infrared image bands," *Eur. J. Remote Sens.*, vol. 55, no. 1, pp. 150–167, 2022.
- [11] Y. Niu, X. Lin, L. Zou, J. Song, Z. Yan, P. Tang, et al., "A note of double-layer cloud detection method based on cloud base height and brightness," *Solar Energy*, vol. 279, p. 112845, 2024.
- [12] M. K. Difa and J. Endri, "Implementasi sistem pengenalan wajah sebagai automatic door lock menggunakan modul ESP32 CAM," *Patria Artha Technol. J.*, vol. 5, 2021.
- [13] A. Ipanhar, T. K. Wijaya, and P. Gunoto, "Perancangan sistem monitoring pintu otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32-CAM," *Sigma Teknik*, vol. 5, no. 2, pp. 333–350, 2022.
- [14] K. M. Putra and S. Raharjo, "Sistem otomatis jemuran pada musim hujan menggunakan sensor air dan cahaya," *JUPITER*, vol. 6, no. 1, pp. 54–65, 2025.
- [15] M. Syarmuji, S. Sumpena, and R. Sultoni, "Sistem jemuran otomatis berbasis Arduino," *J. Teknol. Industri*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [16] A. M. Asmidin, La Atina, and W. A. Anjani, "Rancang Bangun Jemuran Pakaian Otomatis Berbasis Internet of Things," *Jurnal Informatika*, vol. 12, no. 1, pp. 50-59, 2023.
- [17] A. Zakharia, A. Dia U., R. Maulana S., and Pramono, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Jemuran Pakaian Berbasis IoT," *LOGIC: Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan*, vol. 2, no. 3, pp. 615-623, 2024.
- [18] H. J. Prasetyo and E. Kuniawati, "Prototype Alat Jemuran Otomatis Berbasis Internet of Things dengan Deteksi Cuaca Menggunakan Sensor Air dan Sensor Light Dependent Resistor," *Jurnal INTEK (Informatika dan Teknologi Informasi)*, vol. 8, no. 1, pp. 98-110, 2025.
- [19] M. P. P. Pratama, M. Martias, and H. Adianto, "Alat keamanan menggunakan sensor gerak dengan ESP32 cam berbasis IoT," *INSANtek*, vol. 4, no. 2, pp. 69–76, 2023.
- [20] D. L. Simangunsong and W. Wanayumini, "Segmentasi citra pada citra asli buah jeruk berdasarkan nilai thresholding," *J. Sains dan Sosial R.*, vol. 8, no. 1, pp. 751–756, 2025.