

Implementasi Rangkaian Kendali Sensor Dan Aktuator Pada Etalase Konservasi Keris

Muhammad Reyfan Nur Fadly^{1*}, Haidar Ali Al Majid², Matahari Semesta Raya³, Jordy Raymond Jennia⁴, Rudi Susanto⁵

¹Teknik Informatika/Illmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
¹240103170@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika/Illmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
²haidar.web1ti25a5@gmail.com

³Teknik Informatika/Illmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
³putraksng2@gmail.com

⁴Teknik Informatika/Illmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
⁴jordyjennia60@gmail.com

⁵Teknik Informatika/Illmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
⁵rudi_susanto@udb.ac.id

Abstrak— Keris merupakan warisan budaya berbahan logam yang sangat rentan mengalami kerusakan akibat proses korosi apabila tidak disimpan pada lingkungan yang tepat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem etalase konservasi pintar yang mampu menjaga suhu dan tingkat kelembaban udara pada kondisi ideal secara otomatis. Metode penelitian yang digunakan meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan desain sistem, implementasi sistem, serta pengujian dan evaluasi. Secara perangkat keras, sistem ini diintegrasikan menggunakan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pemroses data, sensor DHT22, modul *relay*, aktuator yang mencakup kipas pendingin maupun pemanas, serta layar LCD I2C sebagai *user-interface* pemantauan. Pengujian sistem dilakukan secara komprehensif melalui validasi akurasi pembacaan sensor, pengujian logika respons aktuator, serta evaluasi stabilitas tegangan daya secara berkelanjutan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil menstabilkan kelembaban ruang penyimpanan agar selalu berada di bawah ambang batas 45%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem etalase pintar ini berhasil diimplementasikan dan mampu menjaga kondisi iklim mikro sesuai standar konservasi. Inovasi ini terbukti dapat diandalkan sebagai solusi preventif yang efektif untuk mengurangi laju korosi, sehingga secara nyata berkontribusi dalam memperpanjang usia simpan benda pusaka peninggalan sejarah.

Kata kunci— Arduino, DHT22, Etalase Pintar, Kelembaban, Konservasi Keris

Abstract— Kris is a metal-based cultural heritage artifact that is highly vulnerable to corrosion-induced damage if not stored in an appropriate environment. Therefore, this research aimed to design and implement a smart conservation display case system capable of automatically maintaining temperature and humidity levels at ideal conditions. The research methods used included the stages of requirements analysis, system design, system implementation, as well as testing and evaluation. In terms of hardware, the system was integrated using an Arduino Uno microcontroller as the central data processor, a DHT22 sensor, a relay module, actuators comprising a cooling fan and a heating element, and an I2C LCD display as the user interface for monitoring. System testing was conducted comprehensively through the validation of sensor reading accuracy, actuator response logic testing, and continuous power voltage stability evaluation. The test results showed that the system successfully stabilized the storage room humidity to consistently remain below the 45% threshold. Based on these results, it can be concluded that this smart display case system was successfully implemented and capable of maintaining microclimate conditions according to conservation standards. This innovation proved to be reliable as an effective preventive conservation solution to reduce the corrosion rate, thereby significantly contributing to extending the preservation lifespan of historical cultural heritage artifacts

Keywords—Arduino, DHT22, Smart Conservation Display Case, Humidity, Kris Conservation

I. PENDAHULUAN

Keris merupakan salah satu pusaka sekaligus warisan budaya Jawa yang dibuat dari campuran berbagai jenis logam atau dikenal dengan istilah *Tosan Aji*. Keris berbahan dasar logam, keris rentan mengalami korosi atau karat apabila disimpan disimpan pada lingkungan dengan tingkat kelembaban

udara yang terlalu tinggi. Korosi sendiri merupakan proses degradasi alamiah pada logam akibat dari reaksi redoks antara logam dengan zat-zat yang berada di lingkungan sekitarnya [1]. Proses korosi ini akan terjadi dengan cepat jika logam bersentuhan langsung dengan air atau udara yang kaya akan oksigen secara terus-menerus [1], [2].

Suhu dan kelembaban udara yang ekstrim memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap pembentukan kerak oksida besi pada logam, terutama jika disimpan pada ruang tertutup [2], [3]. Oleh sebab itu, diperlukan tempat penyimpanan khusus dengan kondisi udara yang tetap terjaga agar pusaka tidak cepat rusak. Proyek perancangan rangkaian listrik pada etalase konservasi Tosan Aji ini bertujuan untuk menjaga tingkat kelembaban di dalam ruang penyimpanan agar selalu berada pada batas aman. Sistem ini menargetkan kondisi ideal yang stabil, yaitu kelembaban udara yang dijaga agar tidak melebihi batas toleransi bagi benda logam bersejarah [4], [5].

Secara metalurgi, Keris Tosan Aji umumnya ditempa menggunakan campuran besi, baja, dan bahan pamor seperti nikel atau batu meteorit. Material-material tersebut memiliki sifat reaktif terhadap perubahan molekul air di udara terbuka, yang mempercepat laju oksidasi. Proses oksidasi inilah yang kemudian memicu munculnya residu karat pada bilah keris jika dibiarkan dalam kelembaban tinggi dalam waktu lama. Oleh karena itu, pendekatan preventif berbasis teknologi menjadi sangat krusial. Beberapa penelitian terdahulu telah mencoba menerapkan sistem pemantauan suhu berbasis *Internet Of Things* (IoT) pada ruang penyimpanan secara umum. Namun, belum banyak yang mengaplikasikan sistem aktuator presisi tinggi yang didesain secara khusus untuk skala etalase kecil seperti kotak konservasi keris. Pendekatan spesifik pada etalase tertutup ini diperlukan agar sirkulasi dan kelembaban udara benar-benar terisolasi dari kondisi cuaca luar ruangan.

Untuk merealisasikan tujuan tersebut, sistem pintar ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang berperan sebagai pusat kendali utama untuk membaca data dari sensor secara *real-time*. Sensor yang digunakan adalah DHT22 yang memanfaatkan perubahan nilai resistansi pada bahan higroskopis akibat pengaruh uap air di sekitarnya. Ketika tingkat kelembaban udara terdeteksi melebihi batas aman yaitu suhu 22°C s.d 24°C dengan

Kelembaban di bawah 45% [2], [3]. Arduino akan secara otomatis mengaktifkan aktuator melalui modul relay untuk membuang udara lembab. Sistem kendali ini diharapkan dapat menjadi solusi aplikatif bagi masyarakat maupun museum dalam merawat koleksi pusaka mereka [6].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Tahap pertama dalam metodologi ini adalah melakukan analisis permasalahan secara langsung pada masyarakat yang memiliki atau merawat benda pusaka. Dari pemetaan masalah tersebut, ditemukan bahwa keris seringkali membutuhkan perawatan ekstra untuk mencegah terjadinya korosi akibat penyimpanan yang kurang memadai. Logam besi yang merupakan material utama Tosan Aji sangat reaktif terhadap kelembaban dan suhu ekstrem, di mana tingkat kelembaban yang tinggi secara signifikan akan mempercepat laju oksidasi pembentuk karat [1], [2], [4]. Sebagai tindak lanjut, peneliti melakukan studi pustaka secara mendalam untuk mengumpulkan literatur yang relevan mengenai batas kelembaban ideal, karakteristik material Tosan Aji, serta dasar-dasar sistem kendali cerdas [5], [7]. Berdasarkan kajian literatur, pendekatan berbasis *smart monitoring* dan aktuasi otomatis terbukti jauh lebih efektif serta terukur dalam mengelola iklim mikro dibandingkan dengan metode konservasi tradisional [6].

Langkah selanjutnya berfokus pada pemilihan komponen dan perancangan desain rangkaian listrik yang akan diimplementasikan pada etalase konservasi. Komponen-komponen utama yang diintegrasikan dalam proyek ini dipilih berdasarkan efisiensi daya, tingkat akurasi, dan kemudahan pemrograman. Adapun rincian komponen perangkat keras yang digunakan adalah sebagai berikut:

A. Analisis Kebutuhan

1. Mikrokontroler Arduino

Arduino Uno dipilih sebagai otak pemroses utama karena memiliki keandalan yang tinggi

dalam membaca sinyal digital maupun analog. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan chip ATmega328P yang sangat mumpuni untuk menjalankan instruksi logika secara terus-menerus tanpa henti. Secara arsitektur, ATmega328P mengadopsi sistem RISC 8-bit yang efisien serta memori flash 32 KB, menjadikannya standar komputasi yang sangat andal untuk pemrosesan sistem tertanam (embedded system) [8]. Selain itu, ketersediaan pin input/output yang memadai membuatnya sangat ideal untuk menghubungkan berbagai modul sensor dan aktuator secara bersamaan [9].



Gambar 1. Arduino Uno R3

2. Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22

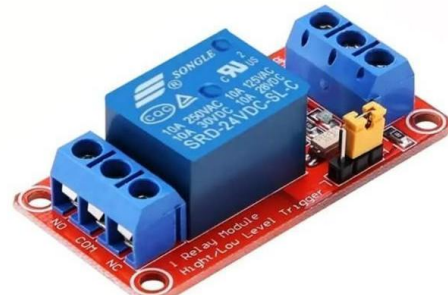
Pemilihan sensor DHT22 didasarkan pada tingkat presisi pembacaannya yang lebih baik dibandingkan seri pendahulunya, yaitu DHT11. Sensor ini mampu membaca tingkat kelembaban udara dari 0% hingga 100% dengan tingkat toleransi kesalahan yang sangat kecil. Secara teknis, DHT22 memiliki tingkat akurasi kelembaban sebesar $\pm 2-5\%$ RH dan suhu sebesar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, yang beroperasi berdasarkan perubahan kapasitansi polimer untuk mendeteksi partikel uap air [7], [10]. Kemampuan pembacaan yang luas dan stabil ini sangat krusial untuk memastikan kondisi ruang penyimpanan keris benar-benar terpantau secara akurat.



Gambar 2. Sensor Kelembaban DHT22

3. Modul Relay dan Aktuator

Modul *relay* berfungsi sebagai saklar elektronik yang memutus dan menyambungkan arus listrik bertegangan lebih tinggi dari kemampuan Arduino. Penggunaan *relay* memungkinkan adanya isolasi galvanik, sehingga mikrokontroler dengan tegangan logika 5V dapat mengendalikan beban mekanik berdaya tinggi secara aman tanpa resiko kelebihan beban (*overload*) [11], [12]. Sistem ini menggunakan dua buah modul *relay* 1-channel secara independen untuk mengontrol aktuator utama yang berupa kipas sirkulasi (*cooling fan*) DC 5V dan elemen pemanas (PTC *heater*) DC 12V. Secara pemrograman, modul *relay* ini beroperasi menggunakan logika *High-Level Trigger*, di mana mikrokontroler akan mengirimkan sinyal logika HIGH untuk mengaktifkan *relay* (ON) dan sinyal LOW untuk memutus arus (OFF). Kombinasi kedua aktuator ini bertugas secara langsung untuk memodifikasi suhu dan mengusir udara lembab keluar dari dalam etalase konservasi [6].



Gambar 3. Buah Modul Relay 1 Channel



Gambar 4. Aktuator PTC Heater 12V 70°C



Gambar 5. Aktuator Fan 5V DC

4. Layar Penampil LCD I2C

Layar LCD (*Liquid Crystal Display*) yang dilengkapi dengan modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*) digunakan sebagai antarmuka visual utama antara sistem kendali dengan pengguna. Integrasi layar ini berfungsi sebagai *Human Machine Interface* (HMI) yang memudahkan interaksi pengguna dalam memantau parameter fisik tanpa perantara perangkat tambahan [13]. Modul I2C dipilih karena mampu menyederhanakan sistem pengkabelan secara efisien, sehingga hanya membutuhkan empat pin koneksi (VCC, GND, SDA, dan SCL) untuk terhubung secara langsung dengan mikrokontroller Arduino [14]. Melalui komponen layar ini, data pemantauan suhu dan persentase kelembaban secara aktual (*real-time*) beserta status aktif aktuator dapat ditampilkan dengan jelas dari luar etalase.



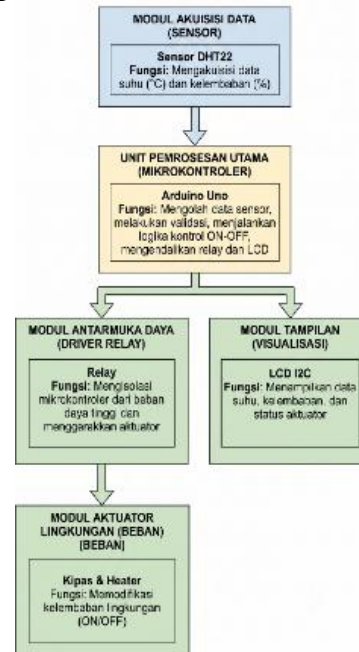
Gambar 6. LCD 16x2 I2C

B. Desain Sistem

1. Diagram Blok

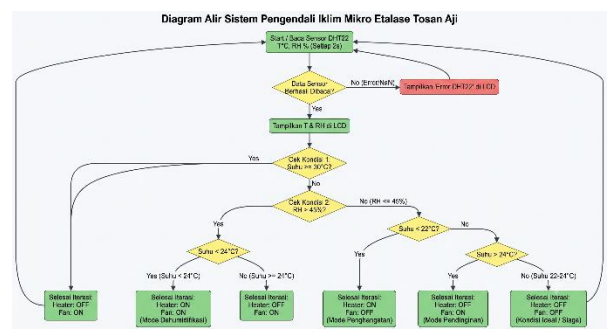
Gambar 7 tersebut menunjukkan alur kerja sistem kendali otomatis berbasis Arduino Uno yang terdiri dari lima modul utama. Proses dimulai dengan sensor DHT22 yang mengukur suhu dan kelembaban lingkungan, kemudian data dikirim ke Arduino Uno untuk dianalisis dan diproses sesuai logika kontrol yang telah diprogram. Selanjutnya, Arduino mengendalikan relay untuk mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator berupa kipas dan heater, serta menampilkan informasi suhu, kelembaban, dan status aktuator pada LCD

I2C. Dengan mekanisme ini, sistem mampu memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara otomatis dan real-time



Gambar 7. Diagram blok sistem kendali etalase konservasi keris menggunakan Arduino Uno.

2. Flowchart



Gambar 8. Flowchart sistem kendali etalase konservasi keris menggunakan Arduino Uno.

Berdasarkan Gambar 8, perancangan perangkat lunak untuk pengendalian iklim mikro diimplementasikan melalui struktur algoritma kondisional bersarang (*nested if-else*). Alur eksekusi logika dimulai dengan membaca data dari sensor DHT22. Sistem menetapkan prioritas tertinggi pada proteksi *Safety Override*; jika suhu terpantau $\geq 30^{\circ}\text{C}$, maka sistem akan memaksa kipas menyala (*Fan ON*) dan mematikan pemanas untuk mencegah kerusakan material pusaka. Jika suhu aman, sistem mengevaluasi

parameter kelembaban. Apabila kondisi lembab ($RH > 45\%$), sistem melakukan dehumidifikasi aktif dengan mempertimbangkan suhu lingkungan (suhu $< 24^\circ\text{C}$ mengaktifkan *heater* dan kipas; suhu $\geq 24^\circ\text{C}$ hanya mengaktifkan kipas). Sebaliknya, apabila kelembaban telah aman ($RH \leq 45\%$), sistem berfokus pada stabilisasi ruang (suhu $< 22^\circ\text{C}$ memicu *heater*; suhu $> 24^\circ\text{C}$ memicu kipas; dan rentang 22°C – 24°C menonaktifkan seluruh aktuator menuju mode siaga) [2],[3].

3. Aturan Logika Relay

Untuk mengakomodasi berbagai dinamika perubahan cuaca, sistem mikrokontroler diprogram menggunakan logika kendali bersyarat (*Conditional Logic*) yang membagi operasional aktuator ke dalam 6 kondisi skenario. Rincian aturan logika untuk mengendalikan *relay* kipas dan pemanas dapat dilihat pada Tabel 1.

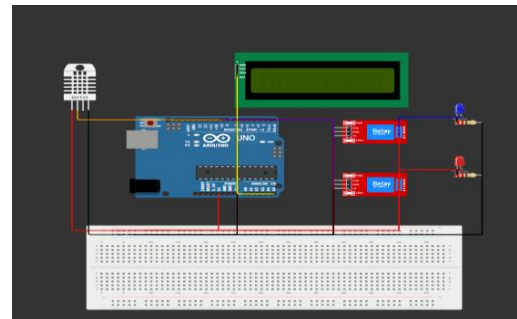
Tabel 1. Aturan Logika Pengendalian Aktuator pada Sistem Konservasi

No	Pengujian				
	Kelembaban	Suhu	Status	Heater	Fan
1	Bebas	$\geq 30^\circ\text{C}$	Safety Override (<i>Overheat</i>)	OFF	ON
2	$> 45\%$	$< 24^\circ\text{C}$	Dehumidifikasi aktif	ON	ON
3	$> 45\%$	24°C – $< 30^\circ\text{C}$	Sirkulasi udara pembuangan	OFF	ON
4	$\leq 45\%$	$< 22^\circ\text{C}$	Pemanasan ruang	ON	OFF
5	$\leq 45\%$	22°C – 24°C	Kondisi ideal (<i>Standby</i>)	OFF	OFF
6	$\leq 45\%$	$> 24^\circ\text{C}$ – $< 30^\circ\text{C}$	Pendinginan ringan	OFF	ON

Berdasarkan Tabel 1, sistem memiliki fitur *Safety Override* (Kondisi 1) di mana kipas akan secara otomatis menyala untuk membuang panas ekstrem tanpa mepedulikan tingkat kelembaban. Hal ini dirancang untuk mencegah kerusakan material non-logam pada keris akibat suhu yang terlalu tinggi. Selain itu, proses dehumidifikasi paling

aktif (Kondisi 2) terjadi ketika lingkungan terdeteksi lembab dan bersuhu dingin, di mana *heater* dan *fan* bekerja secara bersamaan untuk mengeringkan dan membuang udara lembab tersebut [4].

4. Desain Pengkabelan



Gambar 9. Mengilustrasikan desain pengkabelan fisik antara mikrokontroler, sensor DHT22, dan dua modul *relay*.

Sistem ini dirancang menggunakan arsitektur catu daya terpisah (*dual power supply*) guna menjaga kestabilan dan mencegah *overload* mikrokontroler. Modul Arduino Uno, layar LCD I2C, sensor DHT22, dan aktuator kipas memperoleh suplai tegangan logika kelistrikan 5V yang bersumber dari pin Arduino. Sementara itu, elemen pemanas (PTC *heater*) mendapatkan suplai daya khusus secara langsung dari adaptor eksternal 12V melalui jalur saklar *relay*, sehingga beban arus tinggi dapat terisolasi secara aman dari sirkuit logika utama.

Setelah perangkat keras selesai dirangkai, penelitian dilanjutkan dengan tahapan uji coba untuk memastikan fungsionalitas dan keandalan sistem secara keseluruhan. Evaluasi sistem *embedded* pada tahap ini mengadopsi pendekatan *black-box testing* untuk memvalidasi presisi sensor dan fungsionalitas keluaran perangkat keras (*hardware testing*) agar sesuai dengan spesifikasi perancangan awal [15]. Skenario pengujian yang dilakukan meliputi uji nilai sensor, pengujian logika respons *relay*, pengujian pemutusan arus otomatis (*cut-off*), serta pengujian ketahanan adaptor daya. Setiap permasalahan yang ditemukan selama proses pengujian dievaluasi dan dikoreksi secara langsung agar instrumen

dapat beroperasi tanpa kendala [11], [13]. Hasil dari perbaikan tersebut kemudian dipantau dalam jangka panjang untuk memastikan bahwa iklim mikro etalase cerdas ini stabil dan aman digunakan untuk mitigasi laju korosi Tosan Aji [3], [4].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Implementasi rangkaian elektronika pada etalase konservasi keris telah berhasil dilakukan sesuai dengan diagram blok dan desain pengkabelan yang direncanakan. Keberhasilan integrasi antara mikrokontroler, sensor, dan aktuator ini membuktikan bahwa Arduino Uno sangat andal dalam memproses data berbasis sistem tertanam (*embedded system*) secara waktu nyata (*real-time*) [8], [9]. Arduino Uno berfungsi dengan baik dalam memproses data input dari pin data sensor DHT22, serta mampu mengirimkan informasi keluaran menuju layar LCD I2C. Layar LCD tersebut secara aktual menampilkan dua baris informasi utama, yaitu suhu lingkungan (Temp) dan persentase kelembaban (Hum), lengkap dengan status aktif atau matinya aktuator. Penggunaan modul I2C pada LCD memungkinkan pemantauan data secara langsung dengan tingkat efisiensi pengkabelan yang tinggi, sesuai dengan prinsip antarmuka manusia-mesin (HMI) yang ideal pada instrumen pengukuran [14]. Implementasi fisik dari alat ini dapat dilihat secara lebih detail pada Gambar berikut ini.



Gambar 10. Tampilan Fisik Etalase Konservasi Keris



Gambar 11. Implementasi Desain Pengkabelan



Gambar 12. Tampilan LCD I2C

B. Pengujian

Untuk mengetahui tingkat keandalan dan fungsionalitas alat, telah dilakukan serangkaian skenario pengujian pada perangkat keras. Pengujian ini mencakup validasi pembacaan sensor, response logika mikrokontroler terhadap aktuator, hingga stabilitas catu daya saat sistem beroperasi penuh. Rincian skenario pengujian beserta hasil yang diperoleh dari implementasi sistem etalase konservasi keris dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Kendali pada Etalase Konservasi Keris

Skenario	Pengujian	
	Langkah	Hasil
Uji Logika Relay & Aktuator	Memberikan embusan napas atau uap air hangat ke dekat sensor DHT22 untuk menaikkan kelembaban secara artifisial.	Arduino mendeteksi kenaikan kelembaban di atas ambang batas 45%. Sistem kemudian merespons secara spesifik berdasarkan parameter suhu saat itu (Kondisi 2 atau Kondisi 3) dengan menyalakan kipas dan/atau heater secara presisi.
Uji Pemutusan Arus	Memberikan kipas/pemanas menyala hingga kelembaban ruang turun kembali di bawah batas aman.	Relay memutus arus secara otomatis, status LCD menjadi "OFF", dan aktuator berhenti beroperasi.

Skenario	Pengujian	
	Langkah	Hasil
Uji Daya Adaptor	Menyalakan sistem selama 2 jam non-stop saat aktuator dalam kondisi aktif secara terus-menerus	Adaptor eksternal 12V dan pasokan daya logika 5V pada Arduino mampu beroperasi secara stabil, sehingga mikrokontroler tidak mengalami <i>restart</i> mendadak akibat indikasi kelebihan beban.

Berdasarkan Tabel 2 di atas, seluruh skenario pengujian menunjukkan hasil yang positif dan membuktikan bahwa sistem dapat beroperasi sesuai dengan rancangan awal. Untuk memberikan analisis yang lebih mendalam, hasil dari masing-masing skenario pengujian dapat dijabarkan sebagai berikut:

C. Evaluasi

1. Analisis Logika Aktuator

Pengujian kedua dilakukan dengan memanipulasi kondisi lingkungan di sekitar sensor menggunakan hembusan uap air secara artifisial. Mikrokontroler berhasil mengeksekusi logika pemrograman dengan merespons lonjakan kelembaban saat melewati parameter maksimal, yaitu 45%. Sesuai dengan aturan pada Tabel I, sistem tidak sekadar menyalakan aktuator secara acak, melainkan langsung mengevaluasi kombinasi suhu dan kelembaban pada saat itu. Sebagai contoh, ketika hembusan uap air membuat kelembaban naik menjadi $> 45\%$ dengan suhu lingkungan normal (rentang 24°C – $< 30^{\circ}\text{C}$), sistem secara presisi mengeksekusi Kondisi 3. Sinyal *HIGH* langsung dikirimkan ke modul *relay* untuk menyalakan kipas (*Fan ON*) dan memastikan pemanas tetap mati (*Heater OFF*) guna membuang udara lembab tersebut. Respons *relay* yang sangat cepat ini merupakan bentuk keberhasilan implementasi dari sistem kendali berbasis ambang batas (*threshold-based control*), di mana aktuator hanya akan melakukan proses *switching* (ON/OFF) ketika parameter lingkungan melewati titik kritis yang telah dikalibrasi [6], [11].

2. Analisis Pemutusan Arus (*Cut-Off*)

Fitur *cut-off* diuji untuk memastikan aktuator tidak menyala secara terus-menerus yang dapat menyebabkan pemborosan daya atau penurunan suhu secara ekstrem. Selain mengoptimalkan efisiensi energi kelistrikan, mekanisme pemutusan arus secara otomatis ini memegang peranan penting untuk meminimalisasi beban kerja mekanis perangkat, sehingga mampu memperpanjang umur pakai (*lifespan*) aktuator dan *relay* secara signifikan [11], [13]. Sesuai dengan aturan logika pada Tabel I, fitur *cut-off* ini dieksekusi secara otomatis ketika parameter iklim mikro etalase telah mencapai kondisi ideal (Kondisi 5), yaitu saat kelembaban stabil di angka $\leq 45\%$ dan suhu ruang berada pada rentang 22°C – 24°C . Pada kondisi *standby* tersebut, *relay* langsung memutuskan arus menuju kipas maupun *heater* dengan sangat responsif. Status pada layar LCD juga langsung memperbarui informasinya menjadi indikator "OFF" tanpa adanya *delay* yang mengganggu.

3. Analisis Ketahanan Daya Operasional

Skenario pengujian terakhir berfokus pada ketahanan sistem dalam menjalankan operasi berat selama 2 jam berturut-turut tanpa henti.

Penerapan arsitektur catu daya terpisah (*dual power supply*) terbukti mampu menjaga performa sistem dalam menjalankan operasi berat selama 2 jam berturut-turut tanpa henti. Adaptor eksternal 12V menyuplai daya khusus secara stabil untuk elemen pemanas (beban berat) melalui *relay*, sementara unit Arduino menangani pasokan tegangan logika 5V secara terpisah untuk sensor, LCD, dan kipas sirkulasi. Kestabilan isolasi daya kelistrikan ini sangat krusial pada sistem *embedded* guna meminimalisasi fluktuasi arus listrik (*voltage ripple*) akibat lonjakan kerja aktuator mekanis [9], [12]. Hasil pengujian menegaskan bahwa, tidak ditemukan indikasi tegangan anjlok (*drop voltage*) maupun gejala *brown-out reset*

mendadak pada *board* Arduino selama masa operasional berlangsung.

4. Implementasi Perangkat Keras dan Prototipe

Secara fisik, seluruh komponen elektronika telah dirakit secara rapi dan ditempatkan pada sebuah kotak kontrol yang terhubung dengan etalase berbahan akrilik. Layar LCD diposisikan pada bagian luar agar pengguna dapat dengan mudah memantau kondisi pusaka tanpa harus membuka penutup etalase. Penempatan instrumen pemantauan di luar ruang penyimpanan ini memiliki fungsi preventif untuk mencegah interaksi antara udara luar dengan udara di dalam etalase. Dengan demikian, iklim mikro di dalam ruang konservasi tetap terjaga stabil, serta risiko masuknya udara kaya oksigen maupun partikel uap air liar yang menjadi katalis utama korosi pada logam besi dapat diisolasi secara optimal [1], [2], [5].

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan sistem kendali sensor dan aktuator yang diaplikasikan secara langsung pada etalase konservasi benda pusaka Tosan Aji. Penggunaan mikrokontroler Arduino Uno yang dikombinasikan dengan sensor DHT22 terbukti sangat efektif dalam memantau parameter suhu dan kelembaban udara secara *real-time*. Berdasarkan serangkaian uji coba, sistem *relay* dan aktuator mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan presisi, sehingga kelembaban di dalam etalase dapat terus ditekan agar selalu dibawah persentase 45%. Keandalan perangkat keras ini memberikan solusi preventif yang modern dan terukur untuk meminimalisasi laju korosi pada logam keris.

REFERENSI

- [1] Sumanto dan R. E. Maghfiroh., "Efek Temperatur Terhadap Laju Korosi," *Jurnal Flywheel*, vol. 10, no. 1, hlm. 26-31, Feb. 2019.
- [2] H. Setyawan and B. Prasetyo, "Pengaruh temperatur dan kelembapan udara terhadap laju korosi logam besi pada lingkungan tertutup," *Jurnal Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, vol. 8, no. 1, pp. 24–30, Apr. 2020.
- [3] R. Hidayat, "Analisis kinetika korosi dan pengaruh perubahan suhu ekstrim terhadap pembentukan kerak oksida besi," *Motivection: Journal of Mechanical Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 86–95, Agu. 2022.
- [4] A. Swastikawati, R. K. Suryanto, & A. W. Purwoko, "Metode konservasi tradisional (penjamasan) cagar budaya berbahan logam besi," Magelang: Balai Konservasi Borobudur, 2012.
- [5] A. Husbani, Novrianti, N. Purnamawati, R. Melysa, dan R. Arfianti, "ANALISIS PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP LAJU KOROSI MENGGUNAKAN RIMPANG JAHE MERAH SEBAGAI PENGHAMBAT LAJU KOROSI," *Journal of Research and Education Chemistry (JREC)*, vol. 4, no. 2, hlm. 105-117, Oktober 2022.
- [6] M. R. Pratama and D. A. Prasetya, "Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Berbasis Ambang Batas (*Threshold*) Menggunakan Mikrokontroler," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 7, no. 2, hlm. 210-218, 2023.
- [7] Y. K. Yonatan, A. T. Mukti, R. N. Firmansyah, dan Paduloh, "Analisa Penerapan Sensor Suhu Menggunakan Arduino Uno di dalam Sistem Pertanian GreenHouse: Sensor DHT22," *Journal of Engineering Environment Energy and Science*, vol. 4, no. 1, hlm. 39-46, Januari 2025.
- [8] S. A. Wibowo and H. Sudibyo, "Evaluasi Kinerja Arsitektur ATmega328P pada Implementasi Sistem Tertanam Berbasis Internet of Things," *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, vol. 9, no. 1, hlm. 55-62, 2023.
- [9] Zulkarnaen, Y. Sutaryana, dan Suryati, "PROTOTYPE KOTAK PENYIMPANAN UANG MENGGUNAKAN SENSOR WARNA BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO," *TEKNIMEDIA*, vol. 6, no. 1, hlm. 148-154, Juni 2025.
- [10] F. N. Hasanah dan A. R. Hakim, "Analisis Akurasi dan Presisi Sensor DHT22 pada Sistem Pemantauan Iklim Mikro Ruang Tertutup," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 12, no. 1, hlm. 33-40, 2024.
- [11] A. Kurniawan, "Implementasi Isolasi Galvanik Menggunakan Modul Relay pada Sistem Kendali Beban Daya Berbasis Arduino," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, vol. 9, no. 3, hlm. 712-720, 2023.
- [12] D. W. Putra dan B. Santoso, "Analisis Kestabilan Daya dan Isolasi Galvanik Menggunakan Relay pada Sistem Tertanam Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 12, no. 1, hlm. 45-52, 2023.
- [13] F. M. M. Ibrahim, J. D. Irawan, dan R. P. Prasetya, "RANCANG BANGUN RUMAH PINTAR DENGAN KONSEP INTERNET OF THINGS (IOT) BERBASIS WEB," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 1, hlm. 812-816, Februari 2023.
- [14] H. Wijaya dan M. F. Amin, "Efisiensi Pin Mikrokontroler Melalui Komunikasi Inter-Integrated Circuit (I2C) pada Antarmuka HMI Perangkat IoT," *Jurnal Teknologi Cerdas dan Instrumentasi*, vol. 4, no. 2, hlm. 88-95, 2023.
- [15] R. Setiawan dan T. Haryanti, "Pendekatan Black-Box Testing pada Pengujian Fungsionalitas Perangkat Keras Sistem Embedded Cerdas," *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 23, no. 1, hlm. 14-22, 2024