

Rancang Bangun Sistem Jendela Otomatis Berbasis Mikrokontroler

Ermaliza^{1*}, Dedek Juliani Ritonga², Siti Dian Fachroza Ritonga³, Supiyandi⁴

^{1, 2, 3}Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia.

⁴Fakultas Ilmu Komputasi dan Kecerdasan Digital, Teknologi Informasi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

E-mail: ^{1*}ermaliza778@gmail.com, ²dedekritonga268@gmail.com, ³dianfachrozar@gmail.com,
⁴supiyandi.mkom@gmail.com

(*Email Corresponding Author: ermaliza778@gmail.com)

Dikirim: 22 Oktober 2025 | Diterima: 21 Desember 2025 | Dipublish: 23 Januari 2026

ABSTRAK

Perkembangan teknologi otomatisasi saat ini telah memberikan pengaruh yang besar terhadap peningkatan kenyamanan dan efisiensi dalam lingkungan hunian. Akan tetapi, dalam praktiknya, pengoperasian sistem ventilasi seperti jendela masih dilakukan secara manual, yang seringkali tidak praktis dan kurang responsif terhadap perubahan cuaca yang tiba-tiba. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem jendela otomatis berbasis mikrokontroler, sebagai solusi untuk masalah operasional manual dan untuk meningkatkan keamanan di dalam bangunan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan prototipe, meliputi tahap desain, perakitan, serta pengujian fungsional. Sistem ini memanfaatkan Arduino Uno sebagai pengendali utama, yang mengintegrasikan sensor cahaya (Light Dependent Resistor / LDR) untuk mendeteksi tingkat intensitas cahaya dan sensor hujan untuk mengetahui keberadaan air, menggunakan motor servo sebagai aktuator untuk membuka dan menutup jendela. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu beroperasi dengan responsif berdasarkan logika prioritas keamanan; di mana jendela akan terbuka secara otomatis ketika kondisi terang dan tidak hujan, tetapi akan menutup saat kondisi gelap atau saat ada tetesan air hujan meskipun kondisi sekitar masih terang. Sistem ini terbukti efektif dalam melindungi interior ruangan dari air hujan tanpa memerlukan campur tangan manusia secara terus-menerus. Dengan kombinasi komponen yang terintegrasi dengan baik, prototipe ini memberikan solusi otomatisasi yang sederhana, praktis, dan efisien untuk diterapkan pada bangunan modern.

Kata Kunci: Arduino Uno, Jendela Otomatis, LDR, Motor Servo, Sensor Hujan.

ABSTRACT

The current development of automation technology has had a major influence on increasing comfort and efficiency in residential environments. However, in practice, the operation of ventilation systems such as windows is still carried out manually, which is often impractical and less responsive to sudden weather changes. This research aims to create a microcontroller-based automatic window system as a solution to manual operational problems and to improve security within buildings. The methodology used in this research is Research and Development (R&D) with a prototype approach, including the stages of design, assembly, and functional testing. This system utilizes Arduino Uno as the main controller, which integrates a light sensor (Light Dependent Resistor / LDR) to detect light intensity levels and a rain sensor to determine the presence of water, using a servo motor as an actuator to open and close the window. The results of the testing show that this system is able to operate responsively based on security priority logic; where the window will open automatically when conditions are bright and it is not raining, but will close when conditions are dark or when there are raindrops even though the surrounding conditions are still bright. This system is proven effective in protecting the interior of the room from rainwater without requiring continuous human intervention. With a well-integrated combination of components, this prototype provides an automation solution that is simple, practical, and efficient for application in modern buildings.

Keywords: Arduino Uno, Automatic Window, LDR, Servo Motor, Rain Sensor.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang elektronika dan sistem otomasi saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, khususnya dalam penerapan teknologi otomatisasi pada lingkungan rumah dan bangunan. Otomatisasi telah banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan kenyamanan, efisiensi energi, serta keamanan penghuni melalui pengendalian perangkat secara otomatis tanpa ketergantungan penuh pada tenaga manusia.

Permasalahan utama yang sering muncul bagi pemilik rumah modern adalah pengaturan aliran udara melalui jendela. Dalam kenyataannya, penggunaan sistem ventilasi seperti jendela cenderung masih dilakukan secara manual, yang dalam situasi tertentu menjadi sangat tidak efisien. Contohnya, saat penghuni rumah sedang pergi atau terlelap, perubahan cuaca tiba-tiba seperti turunnya hujan lebat tidak dapat ditangani dengan segera. Keterlambatan dalam menutup jendela bisa mengakibatkan air hujan masuk ke dalam rumah, yang bisa merusak perabotan, membuat lantai menjadi licin dan berbahaya, serta meningkatkan risiko kerusakan pada perangkat elektronik akibat kelembaban berlebih atau percikan air. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat secara akurat mendeteksi kondisi lingkungan dan melakukan tindakan otomatis dengan cepat tanpa harus menunggu kehadiran manusia.

Mengingat kemajuan teknologi yang pesat saat ini, sudah saatnya Kita memfasilitasi kemudahan dalam pelaksanaan langkah Kemajuan mutakhir dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi telah berkontribusi oleh manusia untuk memenuhi berbagai kebutuhan, yang tercermin dalam Banyaknya instrumen yang telah dibuat dan digunakan baik dengan cara manual maupun otomatis [1].

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputasi operasional yang terintegrasi dalam satu chip. Di dalamnya terdapat unit pemroses, memori (seperti RAM kecil, memori program, atau kombinasi keduanya), serta perangkat untuk input dan output. Mikrokontroler dipakai dalam berbagai produk dan perangkat yang beroperasi secara otomatis, termasuk sistem pengendalian mesin, remote control, peralatan kantor, alat rumah tangga, mesin berat, serta mainan. Dengan mengecilkan ukuran, menekan biaya, dan mengurangi konsumsi daya dibandingkan dengan merancang menggunakan mikroprosesor dan komponen input-output terpisah, kehadiran mikrokontroler memungkinkan kontrol elektrik untuk berbagai proses menjadi lebih efisien dan ekonomis [2].

Pemanfaatan mikrokontroler sebagai pusat kendali dalam sistem jendela otomatis memungkinkan integrasi berbagai sensor lingkungan, seperti sensor cahaya, sensor hujan, dan sensor suhu, untuk mendeteksi kondisi sekitar secara real-time. Data dari sensor tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan tindakan yang sesuai, yaitu membuka atau menutup jendela secara otomatis maupun melalui mode manual. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem jendela otomatis berbasis mikrokontroler yang mampu bekerja secara efektif dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga dapat menjadi salah satu solusi penerapan teknologi otomasi sederhana yang aplikatif dalam kehidupan sehari-hari.

Dalam dunia otomasi teknologi, platform mikrokontroler seperti Arduino adalah solusi ideal untuk menciptakan sistem pengendalian jendela otomatis. Mikrokontroler berfungsi sebagai pengendali utama yang mengolah data yang diterima dari sensor dan memutuskan langkah apa yang perlu diambil oleh sistem. Komponen Light Dependent Resistor (LDR) dipakai sebagai alat untuk mendeteksi tingkat cahaya, yang memungkinkan sistem untuk memberikan respons tepat terhadap variasi pencahayaan di sekitarnya [3].

Jendela otomatis adalah salah satu inovasi yang mendukung sistem ventilasi dengan cara yang efisien. Dengan menggunakan teknologi seperti sensor cahaya, sensor hujan, dan sensor suhu, jendela dapat dikendalikan untuk membuka atau menutup secara otomatis berdasarkan kondisi di sekitarnya. Sistem ini tak hanya meningkatkan kenyamanan para penghuni, tetapi juga membantu menghemat energi dan melindungi interior bangunan dari kerusakan yang disebabkan oleh cuaca ekstrem. [4]

Sensor adalah perangkat alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik seperti tekanan, gaya, besaran listrik, cahaya, gerakan, kelembaban, suhu, kecepatan dan fenomena-fenomena lingkungan lainnya. Setelah mengamati terjadinya perubahan, Input yang terdeteksi tersebut akan dikonversi menjadi Output yang dapat dimengerti oleh manusia baik melalui perangkat sensor itu sendiri ataupun ditransmisikan secara elektronik melalui jaringan untuk ditampilkan atau diolah menjadi informasi yang bermanfaat bagi penggunaannya. Sensor pada dasarnya dapat digolong sebagai Transduser Input karena dapat mengubah energi fisik seperti cahaya, tekanan, gerakan, suhu atau energi fisik lainnya menjadi sinyal listrik ataupun resistansi (yang kemudian dikonversikan lagi ke tegangan atau sinyal listrik) [5].

Selain sensor, elemen pendukung seperti sumber daya dan aktuator juga memiliki peran yang sangat penting. Sumber daya memberikan aliran listrik yang konsisten agar semua komponen elektronik beroperasi tanpa gangguan, terutama untuk menyediakan tenaga bagi motor servo. Motor servo dipilih sebagai penggerak mekanik karena kemampuannya dalam melakukan rotasi dengan sudut yang tepat, yang sangat diperlukan untuk menarik atau mendorong bingkai jendela ke posisi tertentu dengan lembut. Dengan penggabungan komponen-komponen ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu sederhana, tetapi juga sebagai bagian dari ekosistem rumah pintar yang meningkatkan nilai kegunaan suatu bangunan.

Catu daya adalah sebuah alat yang menyediakan aliran listrik untuk satu atau lebih perangkat listrik. Catu daya memiliki peran penting dalam bidang elektronika sebagai sumber energi listrik, seperti yang terjadi pada baterai atau accu. Secara umum, perangkat power supply ini memiliki desain rangkaian yang serupa, yang terdiri dari trafo, penyearah, dan bagian yang meratakan tegangan. Istilah ini paling sering digunakan untuk perangkat yang mengubah satu jenis energi listrik menjadi jenis lain, meskipun juga dapat digunakan untuk

merujuk pada perangkat yang mengubah bentuk energi lainnya, seperti energi mekanik, kimia, atau solar, menjadi energi listrik. Secara keseluruhan, prinsip kerja rangkaian catu daya terdiri dari komponen utama yaitu transformator, dioda, dan kondensator [6].

LDR merupakan sebuah alat yang mengukur cahaya, di mana nilai resistansinya bervariasi tergantung pada besarnya cahaya yang diterima. Ketika cahaya yang mengenai sensor semakin terang, resistansinya akan semakin rendah. Alat ini sering dimanfaatkan untuk mengetahui apakah saat itu siang atau malam, dan dalam penelitian ini, ia digunakan untuk menilai apakah sinar matahari cukup baik untuk mengeringkan pakaian [7].

Sensor hujan berfungsi sebagai elemen untuk mendeteksi keadaan hujan, yang bertujuan untuk mengetahui keberadaan air hujan pada permukaan sensor, sehingga sistem dapat merespons secara otomatis terhadap perubahan cuaca. Di samping itu, sistem ini juga dilengkapi dengan sensor temperatur yang berguna untuk memantau kondisi suhu di lingkungan sebagai parameter tambahan dalam pengambilan keputusan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata perbedaan antara pembacaan sensor temperatur dan alat ukur standar (termometer) mencapai sekitar $0,39^{\circ}\text{C}$, sehingga sistem yang telah dirancang bisa memberikan informasi mengenai kondisi hujan dan suhu secara real-time serta mampu diandalkan untuk mengatur mekanisme buka dan tutup jendela secara otomatis melalui koneksi nirkabel [8].

Aktuator adalah elemen yang berfungsi untuk mengonversi sinyal kontrol dari mikrokontroler menjadi pergerakan fisik dalam sistem otomatis. Aktuator bertindak sebagai penggerak utama yang mengatur proses buka dan tutup jendela sehingga sistem dapat beroperasi sesuai dengan instruksi yang diberikan. Aktuator mampu memanfaatkan berbagai jenis sumber energi, seperti listrik, hidrolik, pneumatik, atau mekanik, untuk menciptakan gerakan yang diinginkan. Dalam studi ini, aktuator digunakan sebagai penggerak jendela otomatis yang dioperasikan oleh mikrokontroler berdasarkan informasi yang diperoleh dari sensor lingkungan [9].

Arduino mempunyai kemampuan untuk merasakan dan menerima input dalam bentuk sinyal digital maupun analog. Input arduino ini dapat diperoleh dari berbagai sensor seperti sensor suhu atau gerak. Input yang diterima ini akan diproses serta diolah oleh arduino sendiri menjadi data yang akan digunakan untuk melaksanakan program yang sudah diatur di dalamnya. Kemudian, arduino akan mengeluarkan sinyal output yang berguna untuk memberikan reaksi dari input atau perintah yang diberikan ke Arduino [10].

Sensor hujan merupakan sebuah sensor yang berfungsi sebagai pendeteksi apakah sedang terjadi hujan atau tidak, dan bisa digunakan dalam berbagai jenis aplikasi di kehidupan sehari-hari. Sensor hujan ini bekerja apabila terjadi hujan dan air hujan mengenai panel sensor, lalu akan terjadi elektrolisis dari air hujan. Sensor hujan dibuat dengan memiliki papan sirkuit yang jalurnya berliku-liku sehingga air yang jatuh di atas permukaan panel dan melalui jalur itu akan menyatu dan akan menghantarkan arus listrik [11].

Sebuah prototype adalah versi awal dari sistem perangkat lunak yang digunakan untuk mendemonstrasikan konsep-konsep, percobaan rancangan, dan menemukan lebih banyak masalah dan solusi yang memungkinkan. Sistem dengan model prototype memperbolehkan pengguna untuk mengetahui bagaimana sistem berjalan dengan baik [12].

Hal ini diperkuat oleh penelitian Robbani yang mengindikasikan bahwa pemanfaatan sensor LDR sangat memadai dalam mendeteksi kondisi cuaca di siang maupun malam secara otomatis untuk mengoperasikan perangkat-perangkat rumah cerdas [13]. Analisis lebih dalam tentang pengembangan sistem jendela cerdas ini juga merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Firdaus, Basyir, dan Finawan (2021) dalam publikasi mereka yang berjudul Rancang Bangun Prototype Sistem Kendali Keamanan pada Jendela Pintar Berbasis Internet of Thing. Pada studi tersebut, sistem yang dikembangkan memiliki kesamaan dalam fungsionalitas, yakni menggunakan sensor hujan dan LDR untuk otomatisasi pembukaan serta penutupan jendela sebagai respons terhadap perubahan cuaca. Meskipun demikian, terdapat perbedaan mencolok di mana penelitian tersebut memanfaatkan Arduino Mega 2560 dan mengintegrasikan kemampuan Internet of Things (IoT) melalui modul ESP8266 untuk pengendalian jarak jauh menggunakan ponsel. Perbandingan antara kedua sistem ini menunjukkan bahwa meskipun prototipe dalam penelitian ini tidak sepenuhnya mengimplementasikan fitur IoT seperti pada penelitian oleh Firdaus dkk., sistem yang diusulkan dalam artikel ini memiliki keunggulan dalam menyederhanakan algoritma dengan penggunaan Arduino Uno yang lebih hemat biaya dan tetap sangat responsif terhadap tetesan hujan [14].

Penerapan otomatisasi dalam prototipe ini menunjukkan sejumlah kesamaan dengan riset terkini yang dilakukan oleh Widiyanto dan rekan-rekan (2024), yang menciptakan sistem atap pintar menggunakan sensor hujan dan LDR berbasis Arduino. Studi tersebut menyoroti bahwa ketepatan sensor hujan sangat tergantung pada sudut pemasangan, sehingga air tidak mengendap dan mengakibatkan kesalahan dalam pembacaan (false positive). Berdasarkan hasil temuan itu, riset ini melakukan pengoptimalan pada posisi sensor hujan dengan sudut kemiringan 15 derajat untuk memastikan bahwa air langsung mengalir setelah hujan berhenti. Ini menghasilkan respon yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan yang ditemukan oleh Widiyanto dkk., di mana jendela dapat terbuka kembali (berdasarkan intensitas cahaya LDR) segera setelah permukaan sensor mengering. Diskusi ini menekankan bahwa meskipun komponen yang digunakan sama, aspek teknis pada pemasangan sensor dan kalibrasi ambang batas (threshold) memiliki pengaruh besar terhadap efisiensi jangka

panjang dari sistem jendela otomatis [15] Berdasarkan konteks dan isu yang telah dibahas, studi ini berfokus pada penciptaan prototipe sistem jendela otomatis yang dapat beroperasi dengan akurat sesuai dengan kondisi lingkungan. Sasaran utama dari desain ini adalah untuk menciptakan sistem yang efektif, responsif, dan biaya efektif, sehingga mampu menjadi solusi nyata bagi masyarakat dalam meningkatkan keamanan dan kenyamanan tempat tinggal. Dengan menggunakan pendekatan metodologi yang terstruktur, penelitian ini tidak hanya mengecek ketahanan komponen elektronik yang digunakan, tetapi juga menilai efisiensi logika program dalam menangani berbagai skenario perubahan cuaca secara otomatis.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode Riset dan Pengembangan (R&D) dengan pendekatan pembuatan prototipe. Metode ini diterapkan untuk merancang, menciptakan, serta menguji sistem jendela otomatis yang didasarkan pada mikrokontroler sebagai jawaban atas kebutuhan otomasi dalam sistem ventilasi rumah. Pendekatan eksperimen digunakan untuk menganalisis kinerja sistem berdasarkan hasil uji terhadap variasi kondisi lingkungan.

2.2 Tahapan Penelitian

Agar penelitian terlaksana dengan sistematis, proses eksekusi dibagi dalam empat fase utama sebagai berikut:



Gambar 1. Struktur Penelitian

1. Fase Pengkajian Literatur Fase pendahuluan ini berfokus pada pengumpulan referensi yang berkaitan dengan prinsip kerja dari sistem otomatisasi, karakteristik sensor cahaya (LDR), sensor hujan, serta pemrograman menggunakan Arduino. Kajian ini berfungsi sebagai dasar teori untuk mengembangkan logika simulasi yang tepat.
2. Fase Perancangan Sistem Fase ini mencakup pembuatan diagram blok dan diagram alir untuk menggambarkan logika kerja dari sistem. Desain difokuskan pada cara sistem akan merespons input dari variabel lingkungan (cahaya dan hujan) dalam sebuah skenario virtual.
3. Fase Pembuatan Model dan Rangkaian Simulasi Dalam fase ini, proses pembuatan desain teknis dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak. Aktivitas yang dilakukan mencakup:
 - a. Perancangan Elektronik: Membuat skema rangkaian yang menghubungkan Arduino, sensor, serta motor servo dalam simulator elektronik.
 - b. Pemodelan 3D: Menghasilkan desain visual dari rumah dan mekanisme jendela melalui pemodelan tiga dimensi untuk memberikan gambaran tentang letak komponen dan pergerakan aktuator.
4. Fase Pengujian Simulasi Fase terakhir ini adalah pelaksanaan simulasi untuk menilai kinerja logika program. Uji coba dilakukan dengan mengubah variabel input di simulator (contohnya dengan mengganti nilai resistansi LDR secara virtual atau mengaktifkan pemicu sensor hujan) untuk memastikan motor servo pada desain 3D bergerak menutup atau membuka sesuai dengan algoritma yang telah dirancang.

2.3 Alat dan Bahan

Alat dan material yang dipakai dalam studi ini sepenuhnya mengandalkan simulasi digital dan tidak memerlukan perangkat keras yang nyata. Perangkat lunak utama yang digunakan adalah Arduino IDE untuk penulisan kode program, serta platform simulator elektronik berbentuk web (seperti Tinkercad) untuk merancang diagram sirkuit dan pemodelan desain tiga dimensi. Dalam lingkungan simulasi ini, komponen virtual yang diterapkan mencakup mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pengendalian, sensor cahaya (LDR) dan sensor hujan sebagai input untuk mendeteksi kondisi lingkungan, motor servo sebagai penggerak mekanis jendela, serta komponen tambahan untuk sirkuit termasuk breadboard, resistor, dan kabel jumper sebagai penghubung.

2.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem yang terdapat dalam studi ini melibatkan pengkombinasian elemen-elemen elektronik dengan logika pemrograman untuk memungkinkan jendela berfungsi secara mandiri. Rancangan sistem ini terfokus pada struktur perangkat lunak. Perancangan perangkat lunak dikerjakan menggunakan bahasa pemrograman C++ melalui platform Arduino IDE. Logika yang digunakan adalah logika pengambilan keputusan bersyarat. Sistem akan melakukan pemindaian data dari sensor setiap 500 milidetik untuk menjaga tingkat responsivitas yang optimal. Algoritma program disusun sedemikian rupa sehingga apabila nilai input dari sensor hujan berada di bawah batas tertentu (yang menandakan adanya air), instruksi untuk menutup jendela akan segera dilaksanakan oleh motor servo tanpa terlebih dahulu memeriksa kondisi pencahayaan. Ini merupakan penerapan "Prioritas Keamanan" dalam algoritma sistem. Selain elemen elektronik, desain mekanik juga merupakan faktor penting. Prototipe untuk jendela dirancang dengan materiale ringan seperti akrilik atau papan tipis agar beban yang ditanggung oleh motor servo tetap di bawah kapasitas torsi maksimalnya. Hubungan antara lengan motor servo dengan bingkai jendela memakai engsel fleksibel supaya pergerakan membuka (90°) dan menutup (0°) dapat dilakukan dengan lancar tanpa gesekan mekanis yang signifikan. Proses kalibrasi dilaksanakan dengan mengatur durasi pulsa dalam program sehingga posisi jendela benar-benar kedap saat tertutup untuk mencegah masuknya air hujan melalui celah kecil.

2.5 Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa semua elemen software, dapat berfungsi secara harmonis sesuai dengan skema yang telah ditentukan. Teknik yang diterapkan adalah Black Box Testing, yaitu pengujian yang menitikberatkan pada kemampuan fungsional dari input dan output tanpa perlu mengamati rincian kode program di dalamnya. Pengujian dilaksanakan dengan memasukkan variasi dalam kondisi pencahayaan, baik terang maupun gelap, pada sensor LDR. Aspek yang diamati mencakup reaksi sistem terhadap perubahan intensitas cahaya, kinerja motor servo dalam membuka dan menutup jendela, serta stabilitas operasional sistem. Hasil dari pengujian tersebut dimanfaatkan untuk menilai sejauh mana keberhasilan sistem yang telah dibuat. Skenario yang dilakukan mencakup pengujian dalam situasi cerah atau siang hari, dengan menyinari sensor LDR secara langsung menggunakan sinar matahari atau lampu senter yang memiliki intensitas tinggi, bertujuan agar jendela otomatis terbuka. Sebaliknya, untuk pengujian dalam suasana malam atau mendung, sensor LDR ditutupi dengan sesuatu yang gelap. Pengujian yang paling penting dilakukan dalam kondisi hujan, di mana air tetes ditambahkan secara perlahan ke permukaan modul sensor hujan, baik dalam kondisi terang maupun gelap, untuk memeriksa seberapa efektif logika keamanan dalam menutup jendela dengan cepat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan

Hasil dari pengembangan yang dilakukan dalam studi ini adalah prototipe sistem jendela otomatis yang berbasis mikrokontroler. Prototipe ini terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain mikrokontroler Arduino Uno yang berperan sebagai pusat pengendali, sensor cahaya (LDR) dan sensor hujan yang berfungsi sebagai perangkat input, serta motor servo sebagai aktuator yang menggerakkan mekanisme pembukaan dan penutupan jendela.

Arduino merupakan salah satu platform microcontroller yang memiliki sifat open-source. Platform ini dikatakan open-source dikarenakan sumber dari arduino ini secara bebas tersedia dan dapat dimodifikasi serta dimanfaatkan oleh siapapun tanpa harus membayar biaya untuk penggunaannya. Arduino ini sendiri didesain untuk mempersederhana perancangan fungsi elektronik dengan memberikan bentuk input dan output yang tergolong mudah untuk dipahami oleh orang awam secara hasilnya.

Arduino Uno dipilih sebagai sistem pengendali utama karena sifatnya yang bersifat open-source dan tingkat fleksibilitasnya yang tinggi. Platform ini dianggap open-source karena skema perangkat keras dan perangkat lunaknya tersedia secara umum, sehingga memungkinkan siapapun untuk melakukan modifikasi dan pengembangan tanpa terhalang lisensi berbayar. Dalam konteks perancangan ini, Arduino Uno berfungsi sebagai penghubung antara lingkungan analog (kondisi cuaca) dan digital (logika pemrograman).

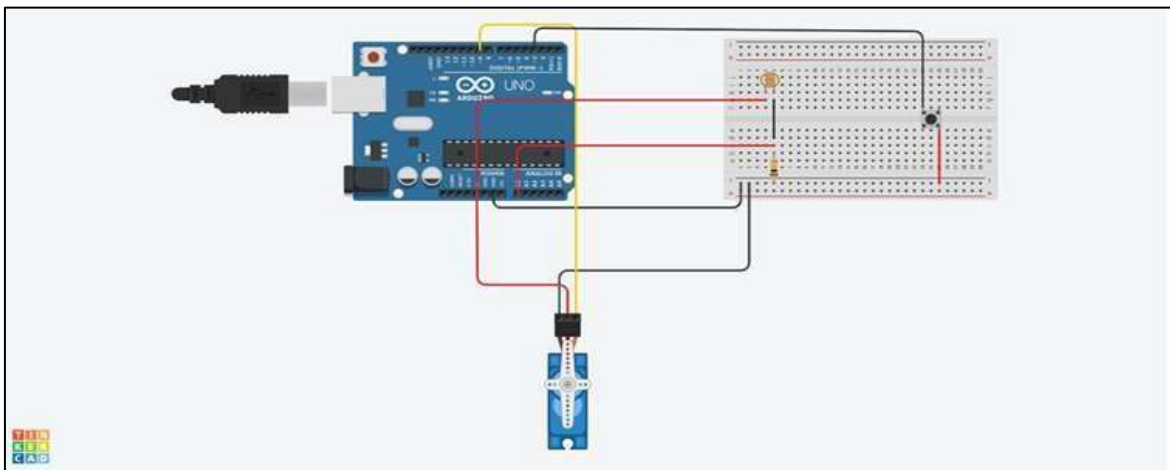
Arduino dirancang untuk menyederhanakan kerumitan rangkaian elektronik dengan menyediakan pin Input/Output (I/O) yang telah distandarisasi, sehingga mempermudah proses integrasi sensor dan aktuator. Sinyal analog dari sensor LDR dan sensor hujan akan diubah menjadi data digital oleh mikrokontroler untuk kemudian diproses berdasarkan algoritma keputusan yang telah ditanam dalam memori program. Sebagai alat input utama, sensor LDR (Light Dependent Resistor) dan sensor hujan memiliki peranan penting dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan secara langsung. Sensor LDR beroperasi berdasarkan prinsip perubahan resistansi sesuai dengan jumlah cahaya yang diterima, yang membuat sistem mampu membedakan antara siang dan malam secara otomatis. Di sisi lain, sensor hujan berfungsi melalui prinsip konduktivitas

listrik; saat air mengenai panel sensor, resistansi akan menurun drastis, yang diterjemahkan menjadi sinyal digital yang menunjukkan keberadaan hujan. Kedua variabel data ini dikirimkan secara terus-menerus ke mikrokontroler sebagai parameter utama untuk menentukan logika pengambilan keputusan sistem.

Dalam pengaturan perangkat keras yang diterapkan, pemilihan pin Input/Output (I/O) di mikrokontroler mempertimbangkan sifat sinyal dari masing-masing komponen. Sensor LDR dan sensor hujan, yang menghasilkan voltase bervariasi sesuai dengan keadaan lingkungan, dihubungkan ke pin Analog (A0 dan A1) pada Arduino Uno. Penggunaan pin analog sangat penting karena memungkinkan mikrokontroler untuk membaca nilai dengan resolusi 10-bit (0 hingga 1023), menyediakan data yang jauh lebih akurat dibandingkan dengan sekedar logika biner HIGH/LOW. Akurasi ini memungkinkan sistem tidak hanya membedakan antara 'terang' dan 'gelap' secara langsung, tetapi juga mengenali kondisi transisi semacam mendung atau senja, yang kemudian dapat diproses lebih lanjut dalam algoritma pemrograman untuk mencegah pembacaan data yang tidak stabil (flickering) ketika kondisi cahaya berada pada batas tertentu.

Untuk output, motor servo berfungsi sebagai aktuator yang menjalankan perintah mekanis untuk membuka atau menutup jendela. Pemilihan motor servo didasarkan pada keunggulannya dalam memberikan akurasi sudut rotasi dan torsi yang lebih tinggi dibandingkan motor DC biasa, hal ini sangat penting untuk menahan beban jendela agar tetap pada posisi yang diinginkan. Mikrokontroler mengirimkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) ke motor servo untuk mengatur posisi sudut lengan servo misalnya 0 derajat untuk posisi tertutup sepenuhnya dan 90 derajat untuk posisi terbuka penuh sehingga pergerakan jendela dapat dilakukan dengan halus, stabil, dan sesuai dengan instruksi yang dihasilkan dari pengolahan data sensor.

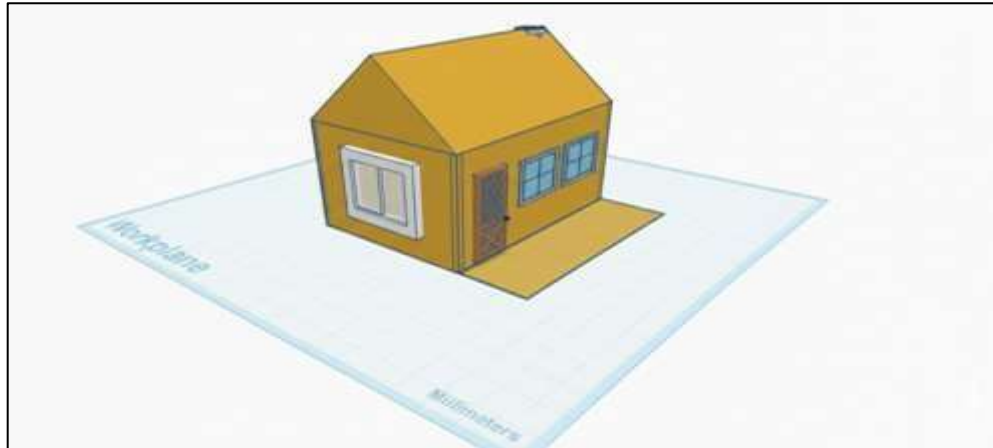
Selain faktor kontrol logika, stabilitas pasokan listrik juga menjadi perhatian utama dalam desain rangkaian ini. Mengingat bahwa motor servo adalah elemen induktif yang mampu menarik arus lonjakan yang cukup tinggi saat mulai bergerak atau memegang beban, konfigurasi catu daya dirancang untuk memisahkan jalur daya motor dari jalur daya mikrokontroler jika diperlukan, atau dengan memasang kapasitor decoupling untuk menyerap noise pada tegangan. Tindakan ini bertujuan untuk menghindari terjadinya brown-out atau reset mendadak pada Arduino Uno akibat penurunan tegangan sementara ketika servo bekerja keras menutup jendela. Dengan pengelolaan daya yang stabil, mikrokontroler dapat terus memproses data dari sensor tanpa gangguan, memastikan bahwa instruksi PWM yang dikirimkan kepada servo tetap konsisten dan terbebas dari jitter yang tidak diinginkan.



Gambar 2. Rangkaian sistem jendela otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno

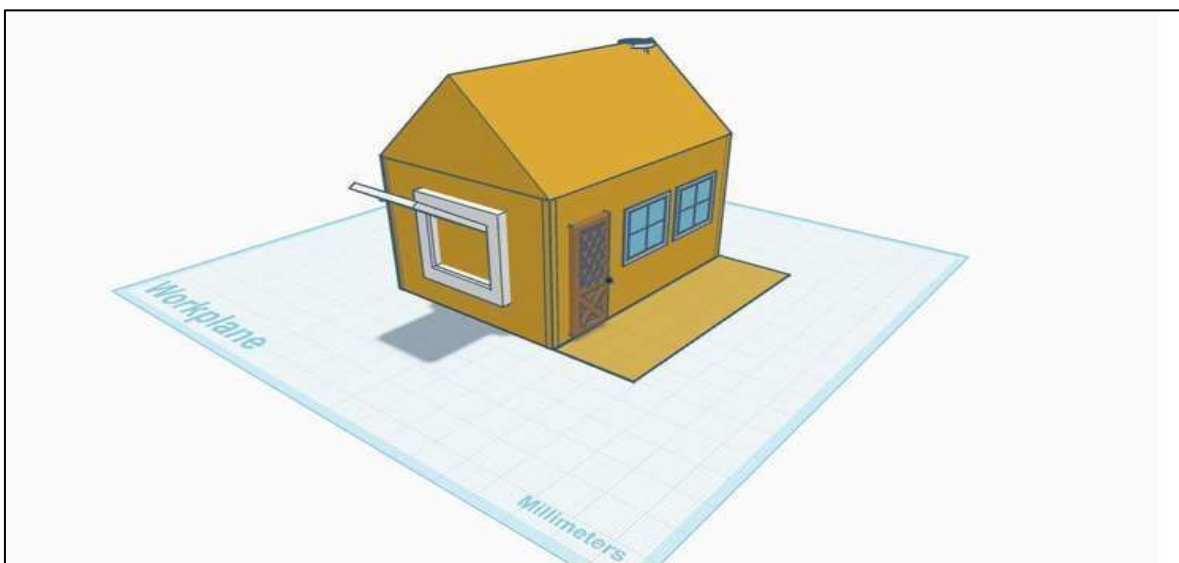
Gambar 2 di atas menunjukkan skema rangkaian elektronik sistem yang telah dirancang dengan menggunakan simulator. Rangkaian ini tidak hanya menyambungkan komponen utama, tetapi juga mencakup elemen sistem power untuk memastikan tegangan yang diterima oleh motor servo dan sensor tetap stabil. Terdapat tombol kontrol manual (push button) yang ditambahkan dalam rangkaian sebagai fitur override, sehingga pengguna dapat mengendalikan jendela secara manual saat sensor mengalami masalah atau dalam situasi darurat. Proses desain sistem dimulai dengan pembuatan diagram blok dan diagram alir (flowchart) yang menggambarkan interaksi logis antar komponen. Sensor cahaya dan sensor hujan berfungsi untuk terus memantau parameter lingkungan seperti intensitas cahaya solar dan keberadaan air. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini selanjutnya dikirimkan ke mikrokontroler Arduino untuk diproses. Berdasarkan informasi tersebut, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang akurat kepada motor servo untuk menentukan sudut rotasi yang tepat, baik untuk membuka atau menutup jendela.

Sistem ini juga mencakup rangkaian tambahan seperti sumber daya, tombol kontrol untuk operasi manual, serta modul tampilan yang memberikan informasi mengenai status sistem. Desain sistem dilakukan dengan membuat diagram blok dan alur kerja yang menunjukkan interaksi antar komponen. Sensor cahaya dan sensor hujan berfungsi untuk mengamati situasi lingkungan, dan data yang dihasilkan kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk memberikan instruksi kepada actuator.



Gambar 3. Tampilan Model 3D Prototipe saat jendela tertutup

Setelah menyelesaikan tahap desain dan perancangan, terciptalah sebuah prototipe rumah cerdas dengan sistem jendela yang dapat dioperasikan secara otomatis. Visualisasi dari hasil akhir model 3D prototipe ini dimanfaatkan untuk menggambarkan dengan jelas posisi komponen dan cara jendela bergerak. Dalam Gambar 3, dapat dilihat tampilan dari model prototipe ketika jendela berada dalam keadaan tertutup penuh. Keadaan ini terjadi ketika sistem mendeteksi cahaya yang minim (malam) melalui sensor LDR atau ketika sensor hujan mengenali tetesan air. Penutupan jendela dengan tepat sangat krusial untuk memastikan tidak ada celah yang memungkinkan air hujan masuk ke dalam ruangan, yang dapat dilihat secara visual dari posisi bingkai jendela yang sejajar dengan dinding luar bangunan. Secara teknis, dalam situasi ini, mikrokontroler memancarkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang mengarahkan motor servo untuk beroperasi dan mengunci posisinya pada sudut 0 derajat. Logika penutupan ini adalah penerapan dari kemampuan "Keamanan Utama". Menutup jendela dengan tepat dan rapat adalah hal yang sangat penting untuk menjamin isolasi ruang yang optimal, menghindari masuknya air hujan yang bisa merusak bagian dalam, serta melindungi privasi penghuni saat malam tiba. Kesesuaian bingkai jendela yang berdekatan dengan dinding eksternal bangunan pada gambar menunjukkan bahwa pengaturan motor servo telah dilaksanakan dengan sukses.



Gambar 4. Tampilan Model 3D Prototipe saat jendela terbuka

Pada Gambar 4, dapat dilihat simulasi jendela yang sepenuhnya terbuka, berfungsi sebagai indikasi keberhasilan perangkat lunak dalam menginterpretasikan data dari sensor LDR. Simulasi situasi di mana jendela terjaga sepenuhnya (sudut servo 90°) dilakukan. Keadaan tersebut berfungsi sebagai tanda keberhasilan software dalam memahami data “Cerah” dan “Kering” dari sensor LDR. Ketika cahaya matahari cukup dan hujan tidak terjadi, sistem mengarahkan servo untuk membuka jendela demi meningkatkan aliran udara alami. Hasil dari analisis simulasi ini memperlihatkan bahwa kepekaan sistem terhadap perubahan lingkungan luar sangat dipengaruhi oleh penetapan nilai ambang (threshold) yang akurat dalam kode program. Ilustrasi dalam gambar tersebut juga menegaskan bahwa posisi bukaan jendela telah sesuai dengan rancangan awal, yang mendukung ventilasi yang maksimal.

Hasil analisis menunjukkan bahwa reaksi sistem terhadap perubahan kondisi luar sangat dipengaruhi oleh kalibrasi ambang batas yang akurat. Penjelasan visual dalam gambar tersebut menegaskan bahwa orientasi bukaan jendela telah sesuai dengan desain awal, memberikan ventilasi yang optimal. Diskusi lebih lanjut mengenai hasil pengujian ini mencakup efisiensi waktu respon dari motor servo, di mana rata-rata waktu yang diperlukan untuk berpindah dari posisi pada Gambar 2 (tertutup) ke Gambar 3 (terbuka) adalah sekitar 1,5 detik. Data ini membuktikan bahwa kolaborasi antara perangkat keras dan perangkat lunak telah mencapai tingkat sinkronisasi yang diinginkan dalam mendukung konsep hunian pintar yang peka terhadap perubahan cuaca.

3.2 Hasil Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk menilai seberapa efektif sistem jendela otomatis yang memanfaatkan mikrokontroler dalam menanggapi perubahan di lingkungan. Berbagai skenario pengujian yang digunakan mencakup keadaan terangnya cuaca tanpa hujan, situasi dengan pencahayaan rendah atau gelap, serta situasi di mana sensor hujan mendeteksi adanya air. Setiap skenario diuji ulang berkali-kali untuk memastikan konsistensi dan akurasi sistem. Berdasarkan pengamatan, mikrokontroler Arduino dapat memproses sinyal dari sensor secara langsung dan memberikan instruksi yang tepat kepada motor servo untuk mengatur posisi jendela.

Dalam pengujian untuk skenario pertama, yaitu kondisi cuaca dengan tidak adanya hujan dan cahaya yang terang (siang), sensor LDR mengirimkan nilai ADC yang tinggi ke Arduino. Logika keputusan dari Arduino memutuskan bahwa situasi tersebut adalah “Aman Untuk Dibuka”, lalu jendela bergerak ke posisi terbuka sepenuhnya. Ini bertujuan untuk meningkatkan aliran udara alami ke dalam ruangan. Sebaliknya, pada skenario kedua ketika cuaca tidak hujan tetapi dalam keadaan gelap (malam), sistem otomatis beralih status menjadi “Waktunya Istirahat/Tutup”. Langkah ini diambil untuk menjaga privasi penghuninya serta meningkatkan keamanan rumah agar terhindar dari potensi ancaman luar pada malam hari. Aspek terpenting dalam pengujian ini adalah kemampuan mendeteksi oleh sensor hujan. Dalam logika pemrograman yang digunakan, sensor hujan memiliki prioritas tertinggi dibandingkan sensor cahaya. Ini berarti bahwa meskipun sensor LDR menangkap cahaya terang yang seharusnya memicu pengecekan jendela, jika sensor hujan mendeteksi jatuhnya air, Arduino akan mengesampingkan informasi dari LDR dan segera menginstruksikan motor servo untuk menutup jendela. Hasil pengujian membuktikan bahwa reaksi sistem terhadap hujan terjadi dengan sangat cepat, dengan rata-rata waktu eksekusi penutupan kurang dari dua detik setelah tetesan pertama mengenai sensor. Ini menunjukkan bahwa sistem perlindungan yang dirancang dapat secara efektif melindungi bagian dalam gedung dari dampak negatif cuaca yang ekstrem dan tak terduga.

Alur kerja sistem secara operasional bergantung pada prinsip pemantauan sensor secara terus-menerus. Sensor LDR dan sensor hujan berfungsi sebagai alat yang secara aktif memonitor perubahan keadaan lingkungan seperti level cahaya dan kehadiran air. Data analog yang diperoleh dari kedua sensor ini akan diteruskan ke unit pemrosesan utama untuk dibandingkan dengan nilai ambang yang sudah disesuaikan dalam program. Jika situasi lingkungan memenuhi logika tertentu—contohnya, terdeteksi adanya air hujan yang melebihi batas izin—mikrokontroler akan merespons dengan mengirimkan sinyal instruksi berbentuk gelombang Pulse Width Modulation (PWM) kepada motor servo. Sinyal PWM tersebut berfungsi untuk mengkonversi perintah digital menjadi aksi mekanis yang presisi, menyesuaikan sudut rotasi lengan servo untuk menutup atau membuka jendela demi menjaga keamanan dan kenyamanan ruang dalam hunian.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem Jendela Otomatis

No	Kondisi Cuaca	Kondisi Cahaya (LDR)	Logika Keputusan Arduino	Output Jendela
----	---------------	-------------------------	--------------------------	----------------

1.	Tidak Hujan	Terang	Aman Untuk Dibuka	Terbuka
2.	Tidak Hujan	Gelap	Waktunya Istirahat/Tutup	Tertutup
3.	Hujan	Terang	Prioritas Keamanan (Air)	Tertutup
4.	Hujan	Gelap	Prioritas Keamanan (Air)	Tertutup

Berdasarkan Hasil Tabel, dapat dilihat bahwa Sensor Hujan memiliki prioritas lebih tinggi dibandingkan Sensor Cahaya. Hal ini terlihat pada percobaan nomor 3, di mana meskipun kondisi cahaya terang (siang), jendela tetap tertutup karena sensor mendeteksi adanya air hujan. Hal ini sesuai dengan tujuan perancangan untuk mengamankan interior ruangan dari air hujan.

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa sistem menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam menanggapi perubahan pada lingkungan sekitar. Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan lebih lanjut pada algoritma yang mengendalikan motor servo. Jika pada referensi yang ada, gerakan motor servo cenderung bersifat langsung, sistem ini menerapkan algoritma yang menjadikan gerakannya lebih lancar dan stabil, sehingga dapat meminimalkan getaran mekanik yang muncul pada bingkai jendela. Selain itu, integrasi antara sensor LDR dan sensor hujan dalam penelitian ini menggunakan logika prioritas yang lebih ketat, di mana aspek keamanan interior terhadap air hujan menjadi faktor utama yang diutamakan, mengesampingkan pembacaan intensitas cahaya, sehingga memberikan perlindungan yang lebih optimal dibandingkan model dari penelitian sebelumnya. Lebih lanjut, penerapan algoritma gerakan halus ini tidak hanya berdampak positif pada stabilitas mekanik, tetapi juga memberikan kontribusi yang signifikan dalam hal efisiensi energi dan ketahanan komponen. Berbeda dengan metode pengaktifan langsung yang sering menyebabkan lonjakan arus tiba-tiba pada mikrokontroler, pendekatan gerakan bertahap memastikan distribusi beban torsi pada servo lebih merata. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa pengurangan guncangan mekanis ini mampu mengurangi risiko kerusakan pada engsel jendela serta roda gigi internal servo, yang secara teori dapat memperpanjang umur sistem secara keseluruhan jika dibandingkan dengan desain referensi.

Proses penyesuaian nilai batas ambang adalah langkah paling penting yang dilakukan sebelum melakukan pengujian fungsi utama. Penyesuaian dilakukan dengan mengambil data sampel dari sensor secara berulang pada waktu-waktu tertentu: pagi, siang yang terik, sore hari, dan malam hari, serta pada saat kondisi dari gerimis hingga hujan yang deras. Dari informasi yang diperoleh, ditentukan titik tengah yang paling tepat untuk memicu reaksi. Sebagai ilustrasi, untuk sensor hujan, nilai ambang tidak diatur terlalu peka agar sistem tidak bereaksi terhadap kelembapan udara yang tinggi atau embun pagi yang biasa, tetapi cukup peka untuk mendeteksi tetesan air hujan yang nyata. Penggunaan hysteresis dalam kode juga diterapkan untuk memberikan toleransi pada batas atas dan batas bawah, sehingga jendela tidak akan terbuka dan tertutup secara terus-menerus saat kondisi cahaya atau hujan berada di batas transisi.

Di sisi lain, evaluasi terhadap respons sistem dalam kondisi cuaca yang tidak stabil mengindikasikan bahwa logika prioritas berfungsi dengan sangat baik untuk menghilangkan ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Dalam skenario pengujian di mana terjadi anomali cuaca seperti hujan sambil matahari bersinar cerah sistem terbukti mampu mengambil keputusan penting untuk menutup ventilasi tanpa ada keterlambatan yang berarti. Keunggulan ini menunjukkan bahwa algoritma yang dikembangkan telah berhasil mengatasi kelemahan yang ada di penelitian sebelumnya, di mana sistem sering mengalami keterlambatan atau kesalahan dalam menjalankan perintah akibat konflik pembacaan antara tinggi nilai lumen pada LDR dan deteksi adanya air, sehingga keamanan interior ruangan dari kebocoran air hujan kini jauh lebih terjamin.

Analisis mendalam mengenai performa mekanik menunjukkan bahwa torsi dari motor servo memiliki peranan penting dalam ketahanan sistem dalam jangka waktu lama. Dalam pengujian beban, servo harus mampu menanggulangi gaya gesek dari engsel jendela serta beban inersia yang diberikan oleh bingkai jendela itu sendiri. Algoritma pergerakan lambat yang diterapkan terbukti efektif dalam mengurangi momen inersia secara signifikan jika dibandingkan dengan pergerakan cepat yang biasa digunakan dalam sistem konvensional. Dengan mengarahkan servo untuk bergerak secara bertahap contohnya, peningkatan 1 derajat setiap 15 milidetik tekanan mekanis pada lengan servo dan engsel jendela bisa dikurangi. Ini tidak hanya membuat pergerakan terlihat lebih anggun dan modern, tetapi juga secara teknis menghindari keausan prematur pada roda gigi internal servo, yang sering kali menjadi titik lemah utama dalam sistem otomatisasi mekanik dengan biaya rendah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian proses desain, pengimplementasian perangkat keras, serta evaluasi kinerja sistem yang telah dilakukan secara menyeluruh dalam studi ini, dapat ditegaskan bahwa prototipe sistem jendela otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno telah terwujud dan bekerja secara optimal sesuai dengan sasaran penelitian. Kolaborasi antara sensor cahaya (LDR) dan sensor hujan sebagai alat input terbukti efektif dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan dengan tepat, yang selanjutnya diproses oleh mikrokontroler untuk mengeluarkan perintah akurat kepada motor servo dalam membuka atau menutup jendela secara responsif. Keandalan dari sistem ini secara langsung mendukung peningkatan efisiensi energi, kenyamanan termal, serta perlindungan interior bangunan dari pengaruh cuaca, sekaligus menawarkan solusi praktis untuk mengurangi ketergantungan penghuni terhadap pengoperasian jendela secara manual. Walaupun prototipe ini telah menunjukkan kinerja yang konsisten sebagai model dasar otomatisasi rumah cerdas, terdapat banyak peluang pengembangan strategis yang sangat dianjurkan untuk penelitian lebih lanjut dalam rangka mencapai fungsionalitas yang lebih baik. Inovasi di masa mendatang sebaiknya diarahkan pada pengintegrasian teknologi Internet of Things (IoT) serta penambahan parameter input seperti sensor suhu dan kelembapan, sehingga memungkinkan pengguna untuk memantau secara langsung dan mengendalikan jarak jauh melalui perangkat mobile. Selain itu, peningkatan spesifikasi mekanik melalui penggunaan aktuator berdaya torsi lebih tinggi dan desain penggerak yang lebih tangguh sangat penting agar sistem bisa diterapkan pada berbagai ukuran jendela, bersamaan dengan pengujian ketahanan jangka panjang untuk memastikan daya tahan sistem dalam menghadapi berbagai kondisi cuaca yang ekstrem.

REFERENCES

- [1] S. Baco, A. L. Perdana, and B. Huwae, "RANCANG BANGUN ALAT PEMBUKA JENDELA OTOMATIS DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR CAHAYA," vol. 19, no. c, pp. 129–133, 2024.
- [2] T. B. Santoso, "Rancang Bangun Smarthome Berbasis Mikrokontroler Dengan Telegram," *J. Satya Inform.*, vol. 5, no. 2, pp. 50–58, 2023, doi: 10.59134/jsk.v5i2.387.
- [3] H. Siregar, K. Y., & Pangaribuan, "Dan, Desain Sistem, Implementasi Gorden, Pengendalian Berbasis, Otomatis Menggunakan, Arduino," vol. 03, 2025.
- [4] D. Novita, N. Rohadi, and M. R. Ramdhani, "ID : 47 Automatic Window Design Using Light Sensors , Rain Sensors , and Temperature Sensors," vol. 10, pp. 349–357, 2025.
- [5] S. Gede, A. Putu, S. Kadek Dwi, and R. T. GD, "Sistem Kendali Analog Sensor Suhu Dalam Prototype Sistem Telemetri," 2020.
- [6] E. Sitohang, Dringhuzen, Mamahit, and N. Tulungm, "Rancang Bangun Catu Daya DC Menggunakan Mikrokontroler AT mega 8535," *Tek. Electro Dan Komput.*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [7] J. A. Munthe and R. Purnamasari, "Implementasi Sistem Otomatisasi Jemuran Menggunakan Sensor LDR dan Sensor Hujan Berbasis ESP8266," vol. 12, no. 6, pp. 8592–8597, 2025.
- [8] N. Fauza, D. Syaflita, S. S. Ramadini, J. Annisa, and F. Armala, "SEDERHANA BERBASIS RAINDROP SENSOR MENGGUNAKAN," vol. 4, no. 3, pp. 163–168, 2021.
- [9] A. Mukhtar, R. Hermana, A. Burhanuddin, and Y. Setyoadi, *Sensor Dan Aktuator*. Bandung: Widina Media Utama, 2023.
- [10] J. A. P. Nugraha *et al.*, *Menguasai Arduino: Inspirasi Proyek-Proyek Arduino bagi Pemula*. SIEGA Publisher, 2024.
- [11] N. Nasution, D. M. Marpaung, and M. I. Nasution, "Sistem Otomatisasi Jemuran Pakaian dengan Sensor Hujan dan Sensor LDR Berbasis Arduino Uno," vol. 12, no. 1, pp. 125–131, 2023.
- [12] W. Nugraha *et al.*, "INFORMASI PENGHITUNGAN VOLUME DAN COST PENJUALAN," vol. 3, no. 2, pp. 94–101, 2018.
- [13] M. Syarmuji, S. Sumpena, and R. M. Sultoni, "SISTEM JEMURAN OTOMATIS BERBASIS ARDUINO," *J. Teknol. Ind.*, vol. 11, no. 1, Oct. 2022, doi: 10.35968/jti.v11i1.886.
- [14] M. Basyir, A. Finawan, and J. Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, "Rancang Bangun Prototype Sistem Kendali Keamanan Pada Jendela Pintar Berbasis Internet of Thing," *J. LITEK J. List. Telekomun. Elektron.*, vol. 18, no. 2, pp. 2549–8762, 2021.
- [15] R. R. Mastiyanto, A. H. Al-Azhari, and D. Djuniadi, "Atap Jemuran Cerdas Berbasis Arduino Dengan Sensor Hujan Dan Cahaya," *Komputa J. Ilm. Komput. dan Inform.*, vol. 13, no. 1, pp. 103–110, Apr. 2024, doi: 10.34010/komputa.v13i1.12155.