BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, jendela memiliki peran penting sebagai pengatur sirkulasi udara dan pencahayaan alami di dalam ruangan. Namun, pada umumnya pengoperasian jendela masih dilakukan secara manual oleh penghuni bangunan. Hal ini seringkali menimbulkan beberapa kendala, terutama dalam situasi saat turun hujan secara tiba-tiba atau saat cuaca terlalu panas dan terik. Secara umum, jendela memiliki peran penting dalam mengatur sirkulasi udara dan pencahayaan alami di dalam ruangan. Namun, sistem buka-tutup jendela yang masih dilakukan secara manual memiliki sejumlah kelemahan, seperti risiko masuknya air hujan saat penghuni lupa menutup jendela, atau peningkatan suhu ruangan akibat paparan sinar matahari berlebih (Baco dkk, 2024). Hal ini tidak hanya mengganggu kenyamanan, tetapi juga dapat menyebabkan pemborosan energi, misalnya dalam penggunaan pendingin ruangan. Dengan memanfaatkan sensor hujan dan sensor cahaya, jendela dapat dirancang untuk membuka dan menutup secara otomatis. Dalam konteks ini, sistem jendela otomatis merupakan salah satu inovasi yang dapat memberikan manfaat praktis, terutama dalam hal kenyamanan dan perlindungan terhadap kondisi cuaca (Saepuloh & Komarudin, 2019). Muncul kebutuhan akan sistem jendela yang dapat

bekerja secara otomatis dan adaptif terhadap perubahan lingkungan, seperti intensitas cahaya dan curah hujan, tanpa perlu campur tangan pengguna secara langsung. untuk itu ide rancang bangun jendela otomatis adaptif terhadap kondisi lingkungan berbasis sensor hujan dan Cahaya bisa digunakan. Sensor hujan berfungsi untuk mendeteksi adanya air hujan dan memberikan sinyal kepada sistem untuk menutup jendela secara otomatis. Sedangkan sensor cahaya digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari, sehingga sistem dapat menyesuaikan posisi jendela berdasarkan tingkat pencahayaan, misalnya menutup jendela saat sinar matahari terlalu terang untuk menjaga kenyamanan dan mengurangi panas berlebih. Untuk mengolah data dari kedua sensor tersebut, digunakan mikrokontroler seperti Arduino yang akan memproses input dan menggerakkan aktuator (motor) untuk membuka atau menutup jendela (Arsyad & Rohmah, 2022). Sistem ini diharapkan mampu bekerja secara responsif dan efisien, serta dapat diaplikasikan pada rumah-rumah modern sebagai bagian dari sistem otomasi bangunan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem jendela otomatis berbasis sensor hujan dan sensor cahaya, dengan tujuan utama meningkatkan kenyamanan penghuni serta efisiensi penggunaan energi dalam bangunan

B. Rumusan Masalah

Bagaimana merancang sistem jendela otomatis yang dapat beroperasi berdasarkan sensor hujan dan sensor cahaya?

C. Tujuan Penelitian

Untuk merancang dan mengimplementasikan sistem jendela otomatis berbasis sensor hujan dan sensor cahaya.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. **Sensor yang digunakan adalah sensor hujan dan intensitas Cahaya.**
2. Fokus pengujian terbatas pada respons sensor dan aktuator dalam kondisi cuaca sekitar.

E. Manfaat Penelitian

1. Menjadi referensi bagi penelitian lain di bidang sistem kendali otomatis dan smart home.
2. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi otomasi berbasis sensor.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

Untuk membuat rancang bangun jendela otomatis adaptif terhadap kondisi lingkungan berbasis sensor hujan dan cahaya. Sebelumnya dapat dijelaskan tinjauan pustaka dan sistem yang terkait didalamnya yang dapat dijelaskan sebagai berikut

1. Sistem Otomatis

Sistem otomatis adalah sistem yang dapat bekerja tanpa keterlibatan manusia secara langsung, melainkan dikendalikan oleh perangkat kontrol tertentu seperti komputer atau mikrokontroler. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kenyamanan. Salah satu bentuk aplikasi sistem otomatis adalah pada rumah pintar (smart home) di mana berbagai perangkat rumah tangga dapat dikendalikan secara otomatis atau jarak jauh (Saepuloh, M. A., & Komarudin, A., 2019). Sistem otomatis terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

a. Sensor: Digunakan untuk mengumpulkan data dari lingkungan seperti suhu, kelembapan, cahaya, atau keberadaan objek.
b. Pengendali (Controller): Biasanya berupa mikrokontroler atau PLC yang menerima sinyal dari sensor, memproses data, dan mengeluarkan perintah.

c. Aktuator: Perangkat mekanik atau elektronik seperti motor atau relay yang melaksanakan perintah dari pengendali.
d. *Output*: Hasil atau respons dari sistem otomatis, misalnya menyalakan lampu, membuka pintu, atau menggerakkan jendela.

Sistem ini bekerja berdasarkan logika tertentu yang ditanamkan dalam bentuk program pada pengendali. Keunggulan sistem otomatis antara lain mengurangi ketergantungan terhadap manusia, meningkatkan produktivitas, serta menciptakan sistem kerja yang lebih cepat dan presisi.

Contoh penerapan sistem otomatis adalah pada industri manufaktur (robotik), sistem irigasi otomatis, sistem pengatur suhu ruangan (termostat), dan dalam konteks penelitian ini, yaitu sistem jendela otomatis yang merespons perubahan cuaca secara mandiri.

2. Jendela Otomatis

Jendela otomatis merupakan sistem mekanik dan elektronik yang mampu membuka dan menutup jendela secara otomatis tanpa intervensi manual. Sistem ini bekerja dengan mengandalkan sensor sebagai masukan (input) untuk mendeteksi kondisi lingkungan seperti hujan atau intensitas cahaya, kemudian menggerakkan motor sebagai aktuator berdasarkan logika pemrograman yang telah ditentukan (Baco dkk, 2024).

Tujuan utama dari jendela otomatis adalah untuk meningkatkan kenyamanan, efisiensi energi, dan perlindungan terhadap ruangan. Misalnya, saat hujan turun, sistem

secara otomatis menutup jendela untuk mencegah air masuk ke dalam ruangan. Sebaliknya, ketika cuaca cerah atau terang, sistem dapat membuka jendela untuk memperlancar sirkulasi udara. Komponen utama dari jendela otomatis antara lain:

a. Sensor: Sensor hujan dan sensor cahaya sebagai detektor kondisi lingkungan.
b. Mikrokontroler: Seperti Arduino Uno, berfungsi sebagai pusat pemrosesan logika dan kendali.
c. Motor penggerak: aktuator atau motor DC yang bertugas membuka dan menutup jendela.
d. Rangka mekanik: Struktur fisik jendela yang dapat digerakkan oleh motor.
e. Catu daya: Sumber listrik untuk seluruh sistem.

Kelebihan sistem jendela otomatis, yaitu. Meningkatkan kenyamanan pengguna tanpa perlu membuka/menutup jendela secara manual, melindungi interior dari kerusakan akibat hujan, mengoptimalkan ventilasi dan pencahayaan alami, efisiensi energi, terutama jika dikombinasikan dengan sistem pendingin ruangan. Sistem ini sangat relevan untuk diterapkan dalam bangunan rumah tinggal, kantor, sekolah, dan fasilitas umum lainnya yang membutuhkan kenyamanan dan perlindungan otomatis terhadap perubahan cuaca.

3. Pengukuran Hujan dan Intesitas Cahaya

a. Sensor Cahaya

Sensor cahaya berfungsi untuk mengubah energi cahaya, baik cahaya tampak maupun inframerah, menjadi energi listrik. Sensor ini mendeteksi cahaya dan mengkonversinya menjadi sinyal listrik yang dapat digunakan dalam rangkaian yang menggunakan cahaya sebagai pemicu.

Prinsip Sensor BH1750 bekerja berdasarkan prinsip fotodioda, yang mengubah intensitas cahaya menjadi sinyal listrik. Di dalam BH1750 terdapat fotodioda dan konverter analog ke digital (ADC) presisi tinggi. Fotodioda di dalam sensor akan mendeteksi intensitas cahaya (biasanya cahaya tampak). Ketika cahaya mengenai fotodioda, elektron akan dilepaskan secara proporsional terhadap jumlah cahaya yang masuk. Arus listrik yang dihasilkan dari efek ini kemudian diubah menjadi data digital oleh ADC internal. Data digital tersebut dikirim ke mikrokontroler (misalnya Arduino atau ESP32) melalui komunikasi I2C dalam satuan lux, yaitu satuan standar pengukuran cahaya (Khuriati, 2022).

Sensor cahaya adalah komponen elektronik yang memiliki beberapa tipe dan dapat digunakan berdasarkan karakteristiknya masing-masing. Cara kerja umumnya adalah mengubah cahaya menjadi sinyal listrik, dengan intensitas cahaya yang diterima menentukan besar kecilnya sinyal listrik yang dihasilkan (Baco dkk, 2024).

Sensor cahaya yang umum digunakan adalah BH1750, yaitu sensor digital yang dapat mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux. BH1750 bekerja berdasarkan prinsip fotodioda yang mendeteksi cahaya dan mengubahnya menjadi sinyal listrik, yang kemudian dikonversi secara digital menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) internal. Sensor ini memiliki keunggulan dibandingkan LDR karena memberikan pembacaan yang lebih presisi, stabil, dan dalam satuan lux yang sesuai standar pengukuran cahaya. BH1750 berkomunikasi melalui I2C, sehingga mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, dan lainnya. BH1750 juga mampu mendeteksi cahaya dari 1 lux hingga 65.535 lux, menjadikannya cocok untuk aplikasi pencahayaan otomatis, pengukuran intensitas cahaya lingkungan, dan sistem hemat energi.



Gambar 2. 1 Sensor Cahaya (BH1750)

(Sumber: Khuriati, 2022)

Tabel 2. 1 Spesifikasi sensor cahaya (BH1750)

No	Spesifikasi	
1	*Supply*	3,3 v – 5 v
2	Komunikasi	I2C (2-pin: SDA dan SCL)
3	Range	1 – 65.535 lux
4	Resolusi	1 lux
5	Arus Operasi	0.12 mA
6	Dimensi	18 m x 13 mm

b. Sensor Hujan

Sensor hujan adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi adanya tetesan air atau kelembapan pada permukaannya. Sensor ini umumnya menghasilkan sinyal analog atau digital yang dapat digunakan untuk memicu suatu aksi, seperti menutup jendela otomatis ketika hujan terdeteksi.

Secara umum, sensor hujan terdiri dari dua komponen utama, yaitu modul sensor (biasanya berupa papan logam berlapis) dan rangkaian kontrol (*driver*). Ketika air hujan menyentuh permukaan sensor, terjadi perubahan nilai resistansi atau konduktivitas antara garis-garis konduktif pada sensor, sehingga mikrokontroler dapat membaca sinyal sebagai indikasi adanya hujan (Arsyad & Rohmah, 2022).

Sensor hujan bekerja berdasarkan perubahan resistansi (hambatan listrik) ketika permukaan sensor terkena air. Sensor hujan memiliki permukaan berupa jalur konduktif (biasanya berbentuk *grid* atau pola garis)

yang terbuat dari logam dan dilapisi dengan bahan anti-korosi. Permukaan ini bertindak sebagai area pendeteksi. Saat tidak ada air di permukaan sensor, jalur konduktif terputus (tidak ada hubungan listrik yang baik antara jalur). Akibatnya, resistansi tinggi atau bahkan tak terbaca, sehingga sinyal digital akan berada dalam posisi *HIGH* (tidak hujan). Saat tetesan air mengenai permukaan sensor, air yang bersifat konduktif menjembatani jalur logam tersebut, sehingga tercipta hubungan listrik. Ini menyebabkan resistansi menurun, dan arus dapat mengalir lebih mudah. Mikrokontroler membaca ini sebagai sinyal *LOW* (terjadi hujan).

Sensor hujan biasanya memiliki pin *output* analog dan digital. Pin analog memberikan nilai tegangan proporsional terhadap kelembapan pada permukaan sensor, sedangkan pin digital akan menghasilkan sinyal HIGH atau *LOW* tergantung pada ambang batas yang telah ditentukan oleh pengguna. Beberapa modul sensor hujan juga dilengkapi dengan potensiometer untuk mengatur sensitivitas deteksi.



Gambar 2. 2 Sensor Hujan

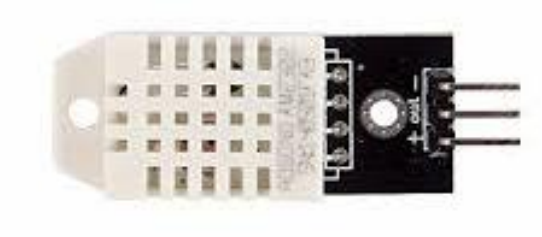
(Sumber : Arsyad & Rohmah, 2022)

Tabel 2. 2 Spesifikasi sensor hujan

No	Spesifikasi	
1	*Supply*	3,3 v – 5 v
2	*Output* type	0 dan 1
3	Inverse	*Output*
4	Arus operasi	< 20 mA
5	Sensitivitasnya	Dapat diatur
6	Dimensi	± 5 cm x 4 cm

c. Sensor suhu

Sensor suhu adalah komponen elektronik yang berfungsi untuk mengukur temperatur lingkungan dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Dalam proyek otomatisasi jendela ini digunakan sensor DHT22, yang termasuk kategori sensor digital karena menghasilkan *output* data langsung dalam format digital tanpa memerlukan konversi tambahan. DHT22 bekerja dengan mendeteksi perubahan resistansi termistor untuk suhu dan perubahan kapasitansi sensor untuk kelembaban. Perubahan ini diubah menjadi data digital oleh IC internal dan dikirim ke mikrokontroler menggunakan protokol komunikasi satu jalur (*single-wire*). Karena sudah memiliki konversi digital internal, sensor ini lebih mudah digunakan dibanding sensor analog.



Gambar 2. 3 Sensor Suhu

(Sumber: Khuriati, 2022)

Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Suhu

No	Spesifikasi	
1	*Supply*	3,3 v – 5 v
2	Tipe sensor	Digital (Suhu dan Kelembaban)
3	*Output*	Digital (*Single-wire protocol*)
4	Arus operasi	1,5 mA (pengukuran), < 0,5 mA (*standby*)
5	Sensitivitasnya	Dapat diatur
6	Dimensi	±15,1 mm × 25 mm × 7,7 mm

4. Mikrokontroller ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* dan banyak digunakan dalam proyek Internet of Things (IoT). ESP32 merupakan penerus dari ESP8266 dengan kemampuan yang lebih tinggi, di antaranya dual-core processor, kapasitas memori yang lebih besar, serta konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi dalam satu chip. Kemampuan ini menjadikan ESP32 sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan konektivitas nirkabel serta pemrosesan data secara real-time.

Beberapa fitur unggulan ESP32 antara lain:

- Prosesor: *Dual-core* Xtensa LX6 dengan kecepatan hingga 240 MHz.
- Memori: RAM 520 KB, dengan dukungan *flash memory* eksternal.
- Konektivitas: Terintegrasi Wi-Fi 802.11 b/g/n dan *Bluetooth* v4.2 (klasik + BLE).
- GPIO (*General Purpose Input/Output*): Lebih dari 30 pin yang dapat digunakan untuk berbagai fungsi seperti ADC, DAC, PWM, I2C, SPI, dan UART.
- ADC & DAC: Memiliki 12-bit ADC (hingga 18 channel) dan dua channel DAC internal.
- Konsumsi Daya Rendah: Mendukung berbagai mode hemat daya, cocok untuk perangkat portable atau berbasis baterai.
- Kompatibilitas: Dapat diprogram menggunakan Arduino IDE, MicroPython, atau ESP-IDF.



Gambar 2. 4 ESP32

(Sumber : Arsyad & Rohmah, 2022)

Tabel 2. 4 Spesifikasi ESP32

No	Spesifikasi	
1	Prosesor	*Dual-core Xtensa*® 32-bit LX6, hingga 240 MHz
2	Memori internal	520 KB SRAM
3	Jumlah GPIO	±34 pin (multifungsi: ADC, DAC, PWM, I2C, SPI, UART)
4	Tegangan operasi	2,2V – 3,6V (umumnya 3,3V)
5	Suhu operasi	-40°C hingga +125°C
6	Memori eksternal	*Flash* hingga 16 MB (tergantung modul)

5. *Linear Actuator*

Motor *Linear actuator* adalah perangkat aktuator yang mengubah energi (biasanya energi listrik) menjadi gerakan linier, atau gerakan maju-mundur dalam garis lurus. Berbeda dengan motor biasa yang menghasilkan gerakan rotasi, *linear actuator* menghasilkan gerakan translasi yang digunakan untuk menggerakkan objek ke depan atau ke belakang (Nugroho, 2019).

Linear actuator banyak digunakan dalam sistem otomasi karena kemampuannya untuk menghasilkan gaya dorong atau tarik yang cukup besar dan presisi dalam posisi. Perangkat ini sering digunakan dalam aplikasi seperti sistem pintu dan jendela otomatis, kursi dan meja yang dapat diatur ketinggiannya, serta peralatan industri dan medis. Komponen utama dari *linear actuator* meliputi:

a. Motor penggerak: Umumnya motor DC.

b. *Gearbox*: Untuk memperkuat torsi motor.

c. *Spindle/lead screw*: Poros berulir yang mengubah putaran motor menjadi gerakan linier.

d. *Shaft*/penggerak linear: Batang yang bergerak maju mundur sebagai hasil dari rotasi *lead screw*.

Kelebihan *linear actuator*:

a. Gerakan yang stabil dan presisi.

b. Kapasitas angkat dan dorong yang tinggi.

c. Mudah dikendalikan dengan mikrokontroler.

d. Tersedia dalam berbagai ukuran dan panjang *stroke*.



Gambar 2. 5 *Linear actuator*

(Sumber : Nugroho, 2019)

Tabel 2. 5 Spesifikasi *linear actuator*

No	Spesifikasi	
1	Tipe Aktuator	*Linear Actuator* Elektrik
2	Tegangan Operasi	12V - 24V DC
3	Pin Input Analog	6
4	Arus operasi	2A – 5A
5	Kecepatan Gerak	5 mm/s – 30 mm/s
6	Material	*Aluminium Alloy* + Baja

6. Relay

Relay adalah sebuah komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar (*switch*) yang dikendalikan oleh arus listrik. Komponen ini digunakan untuk memutus dan menghubungkan aliran arus pada rangkaian dengan cara mengendalikan kumparan elektromagnetik di dalamnya. Ketika kumparan dialiri arus listrik, akan timbul medan magnet yang menarik tuas saklar sehingga kontaknya berubah posisi, memungkinkan arus listrik dari sumber lain melewati rangkaian tersebut. Prinsip kerja relay didasarkan pada fenomena induksi elektromagnetik. Saat kumparan (*coil*) pada relay diberi tegangan DC, medan magnet yang dihasilkan akan menarik tuas logam (*armature*) untuk berpindah dari posisi *Normally Open* (NO) ke posisi *Normally Closed* (NC) atau sebaliknya. Ketika tegangan pada kumparan diputus, medan magnet hilang, dan armature kembali ke posisi semula. Dengan cara ini, relay dapat mengontrol rangkaian tegangan tinggi menggunakan sinyal tegangan rendah dari mikrokontroler seperti ESP32.

Relay umumnya memiliki tiga jenis terminal utama:

- *Common* (COM): terminal utama yang menjadi pusat kontak.
- *Normally Open* (NO): terminal yang terbuka saat relay tidak aktif, dan tertutup saat relay aktif.
- *Normally Closed* (NC): terminal yang tertutup saat relay tidak aktif, dan terbuka saat relay aktif.

Pada sistem ini, relay berperan sebagai pengendali arus untuk linear aktuator. ESP32 mengirimkan sinyal logika rendah (3,3V) ke input relay, lalu relay menghubungkan atau memutuskan arus 12V DC yang dibutuhkan oleh aktuator untuk bergerak membuka atau menutup jendela. Penggunaan relay penting karena aktuator memerlukan arus besar yang tidak dapat langsung disuplai dari pin mikrokontroler. Dengan menggunakan dua relay atau modul *H-Bridge*, arah gerak aktuator dapat dibalik sehingga memungkinkan pergerakan buka-tutup secara penuh.



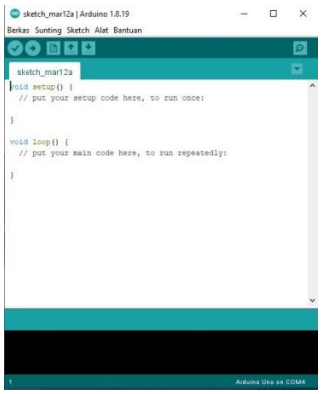
Gambar 2. 6 *Relay*

(Sumber : Gurning, 2022)

7. *Software* Arduino IDE

IDE adalah singkatan dari *Integrated Development Environment*, yang dalam bahasa sehari-hari berarti lingkungan terintegrasi untuk melakukan pengembangan. Dikenal dengan istilah lingkungan karena lewat *software* inilah Arduino diprogram untuk melaksanakan fungsi-fungsi yang disisipkan melalui sintaks pemrograman. Bahasa pemrograman yang digunakan Arduino adalah bahasa pemrograman sendiri yang mirip dengan bahasa C. Bahasa pemrograman Arduino (*Sketch*) telah dimodifikasi agar lebih mudah dipahami oleh pemula dibandingkan dengan bahasa aslinya. Sebelum dipasarkan, IC mikrokontroler Arduino telah ditanamkan suatu program bernama Bootlader yang bertindak sebagai perantara antara compiler Arduino dengan mikrokontroler.

Bahasa pemrograman JAVA digunakan untuk membuat Arduino IDE. Arduino IDE juga menyertakan *library* C/C++ yang dikenal sebagai *Wiring*, yang mempermudah operasi input dan *output*. *Software Processing* dijadikan dasar pengembangan Arduino IDE, yang dimodifikasi agar sesuai untuk pemrograman dengan Arduin.(Firwansyah, Andi, and Imam Suharjo, 2024)



Gambar 2. 7 Arduino IDE

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

B. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian, sehigga penulis dapat memperbanyak teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Penulis sengaja mengangkat beberapa penelitian sebelumnya untuk dijadikan sebagai referensi dalam memperkaya bahan kajian pada penelitian ini. Berikut ini yang merupakan penelitian terdahulu berupa jurnal yang terkait dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis dalam penelitian yang pertama dilakukan oleh (Arsyad, 2024).dengan judul "*Prototipe* Jendela Otomatis Berbasis Arduino Dengan Sensor Suhu dan Kelembaban"penelitian ini mencakup sebuah sistem yang berjalan secara otomatis berdasarkan sensor suhu dan kelembapan berdasarkan kondisi lingkungan sekitar. endela dapat terbuka saat suhu atau kelembaban ruangan melebihi dari nilai batas atau set poin yang ditentukan, dengan suhu 28˚C dan kelembaban 80%RH. Jendela akan tertutup ketika suhu dan kelembaban

kembali ke nilai set poin. Alat ini dikendalikan oleh arduino uno yang dilengkapi dengan program mikrokontroler Atmega32.

Penelitian yang kedua dilakukan oleh (Albet dkk, 2014) dengan judul penelitian "Pembuatan Jendela Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya" dalam penelitian ini adalah untuk membuka dan menutup jendela secara otomatis dengan menggunakan sensor cahaya. Perangkat lunak yang digunakan meliputi sistem operasi, bahasa pemrograman dan perangkat lunak pengelolah data. Sistem operasi yang digunakan Microsoft Windows 7sebagai sistem operasi. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa Pemrograman Basic – Bascom AVR, Visual basic 6.0. Prinsip kerja jendela otomatis dengan menggunakan sensor cahaya adalah ketika sensor cahaya yang digunakan pada alat terkena cahaya terang maka jendela akan terbuka secara otomatis dan sebaliknya, ketika sensor tidak mendapat cahaya terang maka jendela akan tertutup secara otomatis juga

Penelitian yang ketiga dilakukan oleh (Saepuloh dkk, 2019).dengan judul penelitian "Sistem Buka Tutup Jendela Otomatis Berbasis Arduino Uno" Pembuatan prototipe Sistem Buka Tutup Jendela Berbasis Arduino Uno di gunakan sensor LDR pedeteksi gelap atau terangnya cahaya. motor DC digunakan sebagai pembuka dan penutup terai, LCD digunakan sebagai peringatan dalam bentuk tulisan, sedangkan Arduino Uno sebagai pusat proses data, pemrograman menggunakan *software* Arduino IDE.

.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan untuk membuat rancang bangun jendela otomatis adaptif terhadap kondisi lingkungan berbasis sensor hujan dan cahaya. Sistem dirancang untuk dapat secara otomatis mengendalikan buka dan tutup jendela berdasarkan respon lingkungan sekitar melalui sensor cahaya dan sensor hujan.

B. Lokasi dan Waktu

1. Lokasi

Lokasi Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Parepare.

2. Waktu

Untuk waktu penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Uraian	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur						
2	Perancangan Perangkat Keras						
3	Perancangan Perangkat Lunak						
4	Perancangan Mekanik						
5	Realisasi Sistem Mekanik						
6	Realisasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak						
7	Pengujian Tahap Awal (Komponen)						
8	Integrasi Rangkaian ke Mekanik						
9	Pengujian Tahap Kedua (Blok Diagram)						
10	Pengujian Sistem secara Keseluruhan						
11	Analisis dan Evaluasi						
12	Penyusunan Laporan						

C. Alat dan Bahan

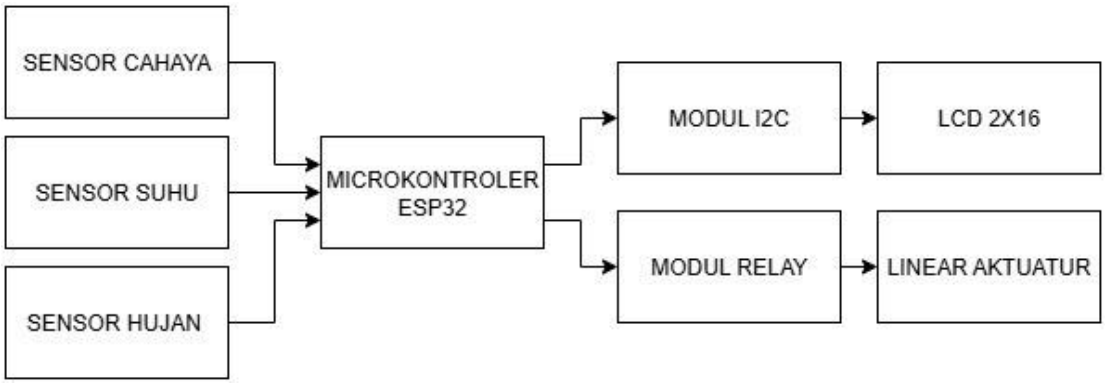
Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan alat dapat dilihat berikut ini:

Tabel 3. 2 Alat dan Bahan

No	**Uraian**	**Jumlah**
1	Relay	2
2	Sensor Hujan	1
3	Sensor cahaya	1
4	*Linear Actuator*	1
5	*Power Supply*	1
6	*Buck Converter*	1
7	Sensor Suhu	1
8	ESP32	1
9	Jendela geser	1

D. Rancangan Sistem

Pada bagian ini akan dibahas suatu pernyataan rangkaian alat yang akan dirancang. Berikut blok diagram dan *flowchart* rancang bangun jendela otomatis adaptif terhadap kondisi lingkungan berbasis sensor hujan dan cahaya.



Gambar 3. 1 Blok diagram rancangan penelitian

Blok diagram sistem keseluruhan dari alat ini terdiri dari : sensor hujan, sensor cahaya, mikrokontroler, *driver motor*, dan *linear actuator*.

Penjelasan pada bagian blok diagram sebagai berikut:

1. **Jendela**

Jendela adalah bukaan pada dinding bangunan yang berfungsi untuk menyediakan ventilasi udara, penerangan alami, dan sebagai jalur pandang ke luar ruangan. Jendela biasanya dilengkapi dengan kaca, rangka (dari kayu, aluminium, atau PVC). Dalam perkembangan teknologi rumah pintar, jendela kini juga dapat dirancang dengan sistem otomatis yang merespons kondisi lingkungan seperti hujan atau cahaya.

2. Linear actuator

Linear actuator adalah perangkat aktuator yang mengubah energi (biasanya energi listrik) menjadi gerakan linier (maju-mundur dalam garis lurus). Berbeda dengan motor biasa yang menghasilkan gerakan rotasi, *linear actuator* dirancang untuk mendorong atau menarik objek secara langsung dalam arah satu garis lurus.

3. Power Supply

Power supply digunakan untuk memberi daya ke komponen seperti Arduino, sensor, dan aktuator (misalnya *linear actuator* atau motor DC)

4. Sensor Cahaya

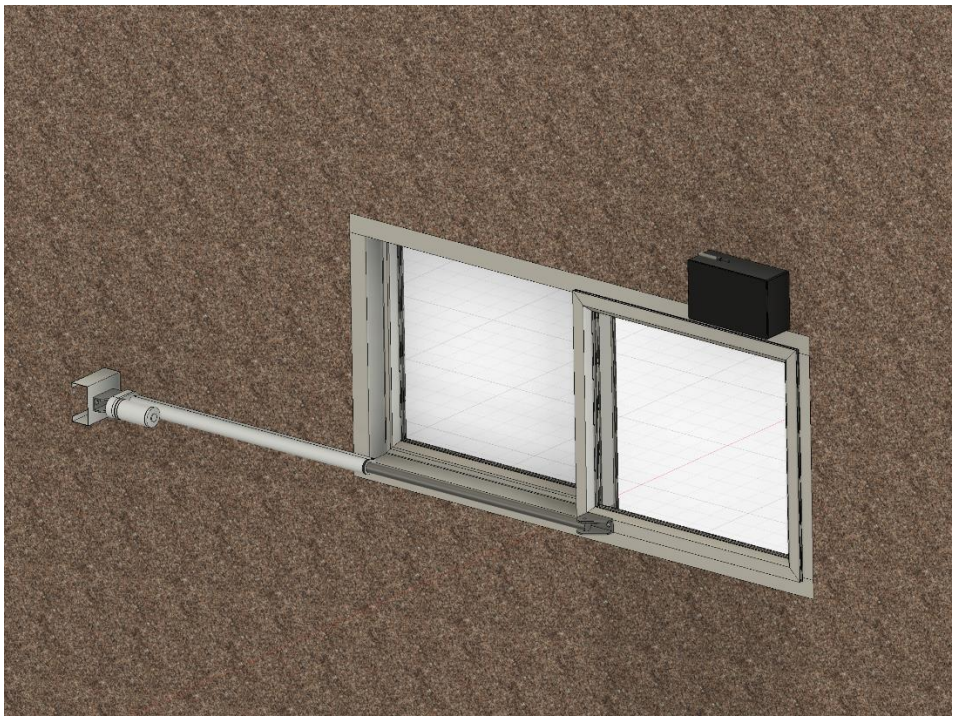
Sensor cahaya berfungsi dalam sistem otomatis yang mengatur kapan panel surya mulai dan berhenti beroperasi berdasarkan cahaya matahari.

5. Sensor Hujan

Sensor hujan digunakan untuk mendeteksi keberadaan air hujan. Sensor ini umumnya terdiri dari papan deteksi (*rain board*) dan modul kontrol yang akan mengirimkan sinyal ke sistem mikrokontroler jika ada tetesan air yang mengenai permukaannya.

6. Mikrokontroler

Mikrokontroler bertindak sebagai otak dari sistem kendali, menerima data dari sensor, dan mengirim perintah ke *actuator* untuk bergerak.



Gambar 3. 2 Desain Rancangan Sistem

E. Teknik Pengumpulan Data

1. Validasi dan Kalibrasi Sensor

Tahap ini dilakukan untuk mempelajari Validasi dan kalibrasi sensor untuk proses memastikan bahwa sensor memenuhi spesifikasi yang diperlukan dan berfungsi dengan benar dalam kondisi yang diinginkan. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sensor dapat memberikan hasil data yang akurat dan konsisten.

2. Pengujian Blok Diagram

Pengujian setiap blok dilakukan untuk mempermudah analisis sistem. Pengujian dibagi beberapa bagian, yaitu:

a. Pengujian sensor untuk memastikan sensor mengukur dengan akurat dan mengirim data yang benar.
b. Pengujian Ketepatan buka/tutup jendela sesuai kondisi cuaca.
c. Pengujian logika pemrograman pada respon otomatis alat.
d. Pengujian kegunaan alat apakah beroperasi dengan baik.

3. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Tahap ini dilakukan untuk menguji sistem secara keseluruhan setelah semua sub – blok diagram telah terintegrasi. Pengujian sistem keseluruhan memverifikasi bahwa perancangan ini menjalnakan tugas sesuai rancangan. Pengujian sistem dapat memeriksa bahwa setiap jenis masukan menghasilkan keluaran yang diinginkan di seluruh rancangan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Perangkat Keras

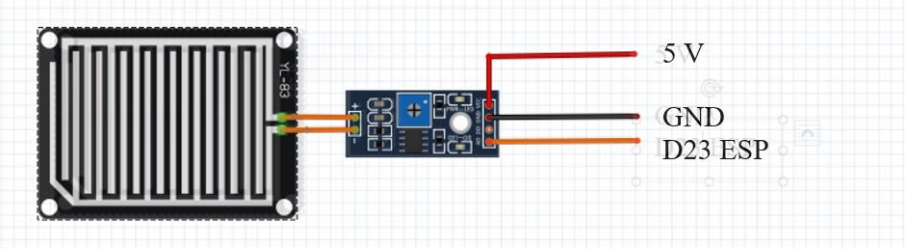
Pada perancangan sistem perangkat keras, dilakukan analisis terhadap kebutuhanteknis dan fungsional yang diperlukan untuk memastikan perangkat keras y ang dikembangkan dapat mendukung kinerja sistem secara optimal, dengan memperti mbangkanaspek efisiensi, keandalan, serta kemampuan untuk beradaptasi dengan perangkat lunak yang ada. Rancangan ini menjelaskan tentang sistem rangkaian yang di buat sistem per bagian dari sistem rangkaian keseluruhan dan rangkaian secara keseluruhan.

1. Rangkaian Pendeteksi Hujan

Rangkaian pendeteksi hujan pada sistem ini menggunakan sensor hujan berbasis pelat konduktif yang bekerja dengan prinsip perubahan resistansi akibat adanya air hujan. Sensor ini terdiri dari dua bagian utama: pelat sensor (rain board) dan modul kontrol. Pelat sensor terbuat dari papan PCB dengan jalur tembaga yang saling berdekatan. Saat kondisi kering, resistansi antar jalur tinggi sehingga arus listrik yang mengalir sangat kecil. Namun, ketika tetesan hujan mengenai pelat, air yang bersifat konduktif akan menghubungkan jalur-jalur tembaga tersebut sehingga resistansinya turun dan modul membaca kondisi tersebut sebagai hujan.

Modul kontrol sensor hujan biasanya dilengkapi dengan komparator (IC LM393) yang membandingkan tegangan dari pelat sensor dengan tegangan referensi yang diatur menggunakan potensiometer bawaan. Hasil keluaran modul ini berupa dua sinyal: analog (tegangan variabel sesuai tingkat basah/kering) dan digital (*HIGH/LOW*) yang aktif ketika ambang batas tertentu tercapai. Dalam sistem ini, jalur digital *output* digunakan untuk mendeteksi status hujan atau tidak hujan. Pin *output* digital sensor dihubungkan ke pin GPIO 23 pada ESP32 (didefinisikan sebagai SHujan), sementara pin VCC sensor dihubungkan ke sumber daya 3,3V atau 5V dan pin GND ke *ground* ESP32.

Rangkaian ini sederhana namun efektif untuk mendeteksi adanya hujan. Dengan sinyal digital *HIGH/LOW*, sistem dapat dengan cepat memutuskan apakah jendela harus ditutup atau tetap terbuka. Selain itu, sensitivitas deteksi dapat disesuaikan melalui potensiometer pada modul sensor sehingga dapat dioptimalkan sesuai kebutuhan, misalnya hanya merespons tetesan hujan ringan atau menunggu intensitas hujan lebih tinggi. Dalam implementasi keseluruhan, pembacaan sensor ini dikombinasikan dengan sensor cahaya dan suhu untuk memberikan kontrol otomatis jendela yang lebih cerdas dan responsif terhadap kondisi cuaca.



Gambar 4. 1 Rangkaian Pendeteksi Hujan

2. Rangkaian Sistem Pendeteksi Intensitas Cahaya

Rangkaian pendeteksi intensitas cahaya pada sistem ini menggunakan sensor BH1750, yaitu sensor cahaya digital berbasis I2C yang mampu mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux. Sensor ini bekerja dengan prinsip photodiode yang mendeteksi energi cahaya dan mengubahnya menjadi arus listrik. Sinyal arus ini kemudian diproses oleh ADC internal pada BH1750 untuk menghasilkan data digital yang langsung dapat dibaca oleh mikrokontroler tanpa perlu rangkaian konversi tambahan. Keunggulan utama BH1750 adalah tingkat akurasi tinggi serta kemampuan mendeteksi cahaya dari 1 lux hingga 65.535 lux, sehingga cocok untuk mendeteksi kondisi terang, redup, atau gelap di lingkungan sekitar jendela.

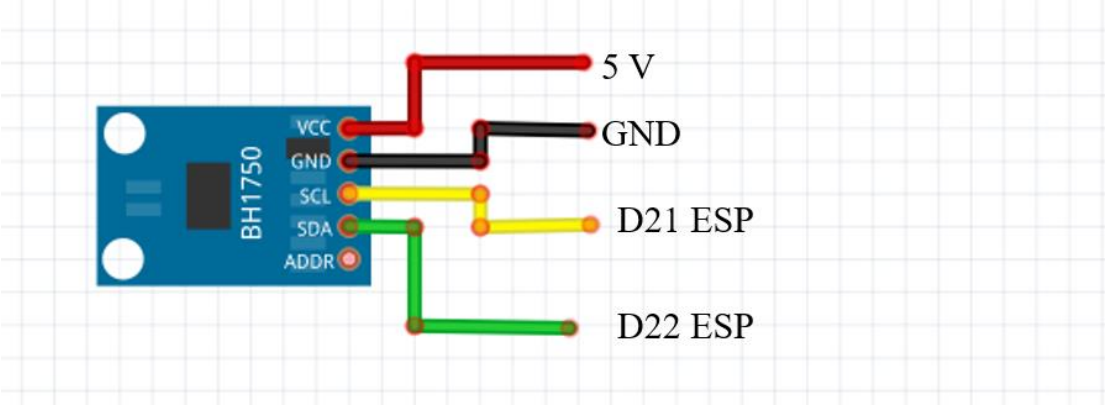
Dari sisi rangkaian, BH1750 memiliki empat pin utama yang terhubung ke mikrokontroler ESP32, yaitu:

- VCC terhubung ke suplai 5V ESP32 untuk memberi daya sensor.
- GND terhubung ke ground ESP32.
- SDA (Serial Data) terhubung ke pin I2C data ESP32 (default GPIO 22).
- SCL (Serial Clock) terhubung ke pin I2C clock ESP32 (default GPIO 21).

Komunikasi data dilakukan melalui protokol I2C, sehingga hanya memerlukan dua jalur komunikasi (SDA dan SCL), membuat rangkaian menjadi sederhana namun efisien. Pada sistem ini, nilai lux yang dibaca BH1750 digunakan untuk menentukan logika kontrol buka-tutup jendela: jika nilai lux di atas ambang batas tertentu (misalnya

50 lux) dan tidak hujan, jendela akan terbuka; sebaliknya jika lux rendah atau kondisi hujan, jendela akan tertutup. Nilai intensitas cahaya juga ditampilkan pada LCD dan dikirimkan sebagai bagian dari data notifikasi Telegram.

Dengan konfigurasi ini, sensor BH1750 tidak memerlukan kalibrasi rumit karena sudah dilengkapi konversi internal, tetapi pada pengujian sistem dilakukan pencocokan nilai dengan alat ukur cahaya standar (lux meter) untuk memastikan akurasi. Hasil kalibrasi ini kemudian digunakan untuk menentukan threshold yang tepat dalam logika program. Secara keseluruhan, rangkaian ini berperan penting dalam mendeteksi kondisi pencahayaan sekitar jendela secara *real-time* dan memberikan masukan utama untuk pengambilan keputusan otomatis pada sistem.



Gambar 4. 2 Rangkaian Pendeteksi Cahaya

3. Rangkaian Sistem Pendeteksi Suhu

Sistem pendeteksi suhu menggunakan sensor DHT22, yaitu sensor digital yang mampu mengukur suhu dan kelembaban udara secara bersamaan. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip kapasitif untuk kelembaban dan thermistor untuk suhu, yang

kemudian diolah oleh mikrokontroler internal sensor untuk menghasilkan data digital yang dapat dibaca langsung oleh ESP32. Rentang pengukuran suhu DHT22 adalah -40°C hingga 80°C dengan akurasi sekitar ±0,5°C, sedangkan kelembaban berkisar antara 0–100% RH dengan akurasi ±2–5%.

Dari sisi rangkaian, DHT22 memiliki empat pin utama yang terhubung ke ESP32:

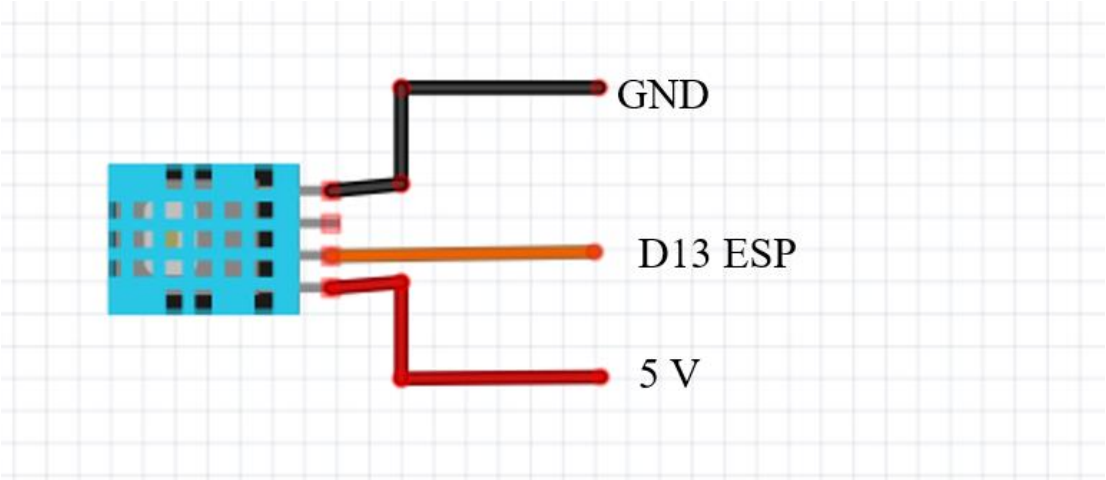
- VCC dihubungkan ke sumber daya 3,3V atau 5V ESP32 untuk memberi daya pada sensor.
- GND dihubungkan ke *ground* ESP32.
- DATA dihubungkan ke pin digital GPIO 13 (dalam program didefinisikan sebagai DHTPIN) untuk komunikasi satu jalur (*single wire*).
- NC (*Not Connected*) biasanya tidak digunakan.

Untuk menjaga kestabilan pembacaan, sering dipasang resistor *pull-up* 4,7kΩ – 10kΩ antara pin DATA dan VCC agar sinyal komunikasi tetap stabil, terutama pada kabel yang agak panjang.

Dalam sistem ini, data suhu dari DHT22 digunakan untuk dua fungsi utama: menampilkan informasi suhu real-time pada LCD 16x2 dan mengirimkan data suhu melalui notifikasi Telegram sebagai bagian laporan kondisi jendela. Meskipun suhu tidak menjadi faktor utama dalam pengendalian buka-tutup jendela (fungsi utama

ditentukan oleh sensor hujan dan cahaya), informasi ini penting untuk monitoring kondisi lingkungan secara menyeluruh.

Selain itu, pembacaan suhu juga dipakai dalam proses pengujian dan kalibrasi sistem, misalnya memastikan bahwa sensor tetap stabil meskipun terjadi perubahan cahaya atau hujan. Dengan integrasi ini, rangkaian DHT22 memberikan lapisan informasi tambahan yang bermanfaat untuk pengembangan sistem otomatisasi berbasis cuaca yang lebih cerdas.



Gambar 4. 3 Rangkaian Pendeteksi Suhu

4. Rangkaian Tampilan

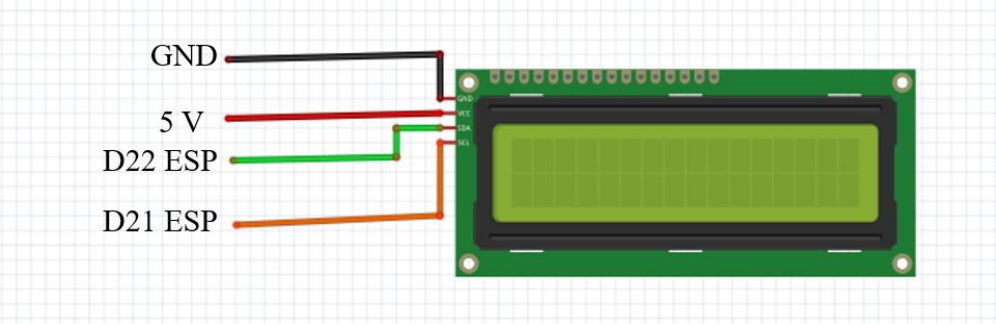
Liquid Crystal Display (LCD) adalah perangkat tampilan yang menggunakan cairan kristal untuk menampilkan informasi berupa teks, angka, atau simbol. LCD bekerja dengan memanfaatkan sifat optik dari kristal cair yang dapat mengubah arah polarisasi cahaya ketika diberi tegangan listrik. Dalam sistem ini digunakan LCD 16x2

dengan antarmuka I2C yang mampu menampilkan 16 karakter per baris dan memiliki 2 baris tampilan.

LCD 16x2 standar memiliki pin data paralel, namun pada modul ini sudah dilengkapi dengan konverter I2C (PCF8574) sehingga hanya membutuhkan dua jalur komunikasi (SDA dan SCL). Hal ini memudahkan integrasi dengan mikrokontroler ESP32 yang memiliki banyak perangkat I2C lainnya seperti sensor BH1750.

Spesifikasi umum LCD 16x2 I2C:

- Tipe tampilan: 16 karakter × 2 baris
- Tegangan operasi: 5V DC (kompatibel juga dengan 3,3V melalui modul I2C)
- Protokol komunikasi: I2C (SDA, SCL)
- Alamat I2C bawaan: 0x27 atau 0x3F (tergantung modul)
- Konsumsi daya: Rendah (hanya beberapa miliampere)
- Kemampuan tampilan: Karakter ASCII dasar dan simbol khusus



Gambar 4. 4 Rangkaian Tampilan

5. Rangkaian Penggerak Linear Aktuator

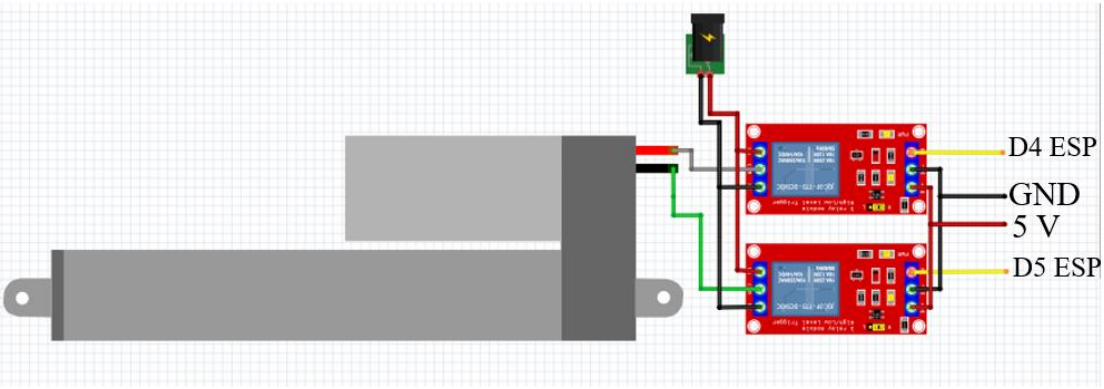
Rangkaian penggerak linear aktuator berfungsi untuk membuka dan menutup jendela berdasarkan perintah dari mikrokontroler ESP32. Linear aktuator ini menggunakan prinsip motor DC yang bergerak maju atau mundur (ekstensi dan retraksi) untuk mendorong atau menarik mekanisme jendela. Untuk mengontrol arah gerak aktuator, sistem menggunakan dua pin kontrol digital dari ESP32, yaitu R1 dan R2, yang dihubungkan ke *driver* motor DC atau modul relay *H-Bridge*. Dengan mengatur logika *HIGH* dan *LOW* pada kedua pin tersebut, arah arus listrik ke motor dapat dibalik sehingga aktuator dapat bergerak membuka atau menutup jendela sesuai kebutuhan.

Konfigurasi rangkaian umumnya sebagai berikut:

- VCC linear aktuator terhubung ke sumber daya eksternal (biasanya 12V DC) karena ESP32 tidak mampu langsung memberi arus besar.
- GND aktuator dihubungkan ke ground bersama ESP32 dan driver motor/relay.
- Dua jalur aktuator (positif dan negatif motor) dihubungkan ke relay/*H-Bridge* untuk memungkinkan pembalikan polaritas.
- Pin kontrol R1 dan R2 dari ESP32 dihubungkan ke input *driver/*relay untuk mengendalikan arah gerakan:
- R1 *HIGH* dan R2 *LOW* → aktuator bergerak membuka.
- R1 *LOW* dan R2 *HIGH* → aktuator bergerak menutup.
- Kedua pin *HIGH* → aktuator berhenti (posisi netral).

Driver atau relay diperlukan karena arus yang dibutuhkan linear aktuator jauh lebih besar dari kemampuan *output* pin ESP32 (biasanya lebih dari 1A). Dengan rangkaian ini, aktuator dapat bergerak stabil dan aman tanpa membebani mikrokontroler.

Dalam program, fungsi bukaJendela() dan tutupJendela() digunakan untuk mengirim logika kontrol ke pin R1 dan R2. Status gerakan kemudian ditampilkan di LCD serta dikirim melalui Telegram untuk memberikan informasi *real-time* ke pengguna. Rangkaian ini memungkinkan integrasi penuh antara sensor (hujan, cahaya, suhu) dan aktuator sehingga jendela dapat merespons otomatis sesuai kondisi lingkungan.



Gambar 4. 5 Rangkaian Penggerak *linear actuator*

6. Rangkaian Sistem Keseluruhan

Rangkaian keseluruhan sistem ini mengintegrasikan tiga sensor utama (sensor hujan, sensor cahaya BH1750, dan sensor suhu DHT22), modul tampilan LCD, serta

aktuator linier yang digerakkan melalui *driver*/relay, dengan pusat kendali mikrokontroler ESP32 yang juga menangani komunikasi ke aplikasi Telegram.

a. Sensor Hujan

   Sensor hujan berupa pelat konduktif dan modul kontrol berbasis LM393. Modul ini memberikan *output* digital yang dihubungkan ke pin GPIO 23 pada ESP32 (Hujan). Saat hujan terdeteksi, sinyal akan berubah *LOW*, sedangkan kondisi tidak hujan menghasilkan *HIGH*. Sensor ini digunakan sebagai penentu utama untuk menutup jendela secara otomatis.

b. Sensor Cahaya BH1750

   Sensor BH1750 menggunakan protokol I2C yang terhubung ke pin default SDA (GPIO 21) dan SCL (GPIO 22) ESP32. Sensor ini membaca intensitas cahaya dalam satuan lux, yang kemudian digunakan untuk menentukan kondisi terang, redup, atau gelap. Data dari sensor ini juga dikalibrasi menggunakan lux meter sebagai acuan.

c. Sensor Suhu DHT22

   Sensor DHT22 terhubung ke pin digital GPIO 13 untuk membaca suhu dan kelembaban. Informasi suhu digunakan untuk pemantauan lingkungan, meskipun tidak langsung memengaruhi logika buka-tutup jendela. Data ini dikirim ke LCD dan Telegram untuk memberikan informasi tambahan ke pengguna.

d. LCD I2C 16x2

   LCD digunakan untuk menampilkan status jendela (terbuka atau tertutup), nilai suhu, serta intensitas cahaya. LCD ini terhubung melalui jalur I2C yang sama

dengan BH1750 (SDA dan SCL) sehingga rangkaian tetap sederhana tanpa memerlukan pin tambahan.

e. Penggerak Linear Aktuator

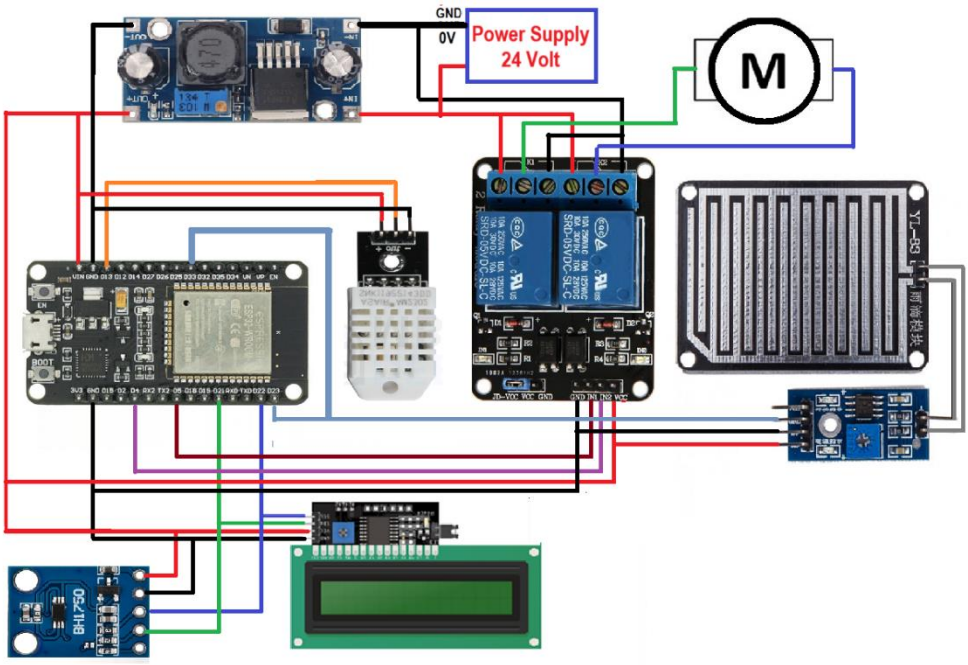
Linear aktuator dikendalikan oleh driver relay/*H-Bridge* yang terhubung ke pin GPIO 4 (R1) dan GPIO 5 (R2). Dengan mengubah logika *HIGH/LOW* pada kedua pin ini, arah arus motor aktuator dapat dibalik untuk membuka atau menutup jendela. Sumber daya aktuator menggunakan suplai DC eksternal (biasanya 12V) yang dipisahkan dari catu daya ESP32 untuk mencegah gangguan.

f. ESP32 dan Koneksi Telegram

ESP32 bertindak sebagai pusat pemrosesan dan komunikasi. Modul ini terhubung ke jaringan WiFi dan menggunakan *library UniversalTelegramBot* untuk mengirim notifikasi status jendela ke pengguna melalui Telegram. Sistem juga dilengkapi *interrupt* pada pin GPIO 33 (ISR) untuk memicu perubahan status dan pengiriman pesan secara cepat jika kondisi berubah mendadak.

Keseluruhan rangkaian ini memungkinkan sistem bekerja secara otomatis: ketika sensor hujan mendeteksi air atau sensor cahaya mendeteksi kondisi gelap, aktuator menutup jendela; sedangkan pada kondisi terang dan tidak hujan, jendela terbuka. Semua informasi status dan nilai sensor diperbarui pada LCD dan dikirim ke Telegram

secara periodik. Dengan desain ini, sistem memberikan solusi otomatisasi yang andal, efisien, dan mudah dipantau dari jarak jauh.



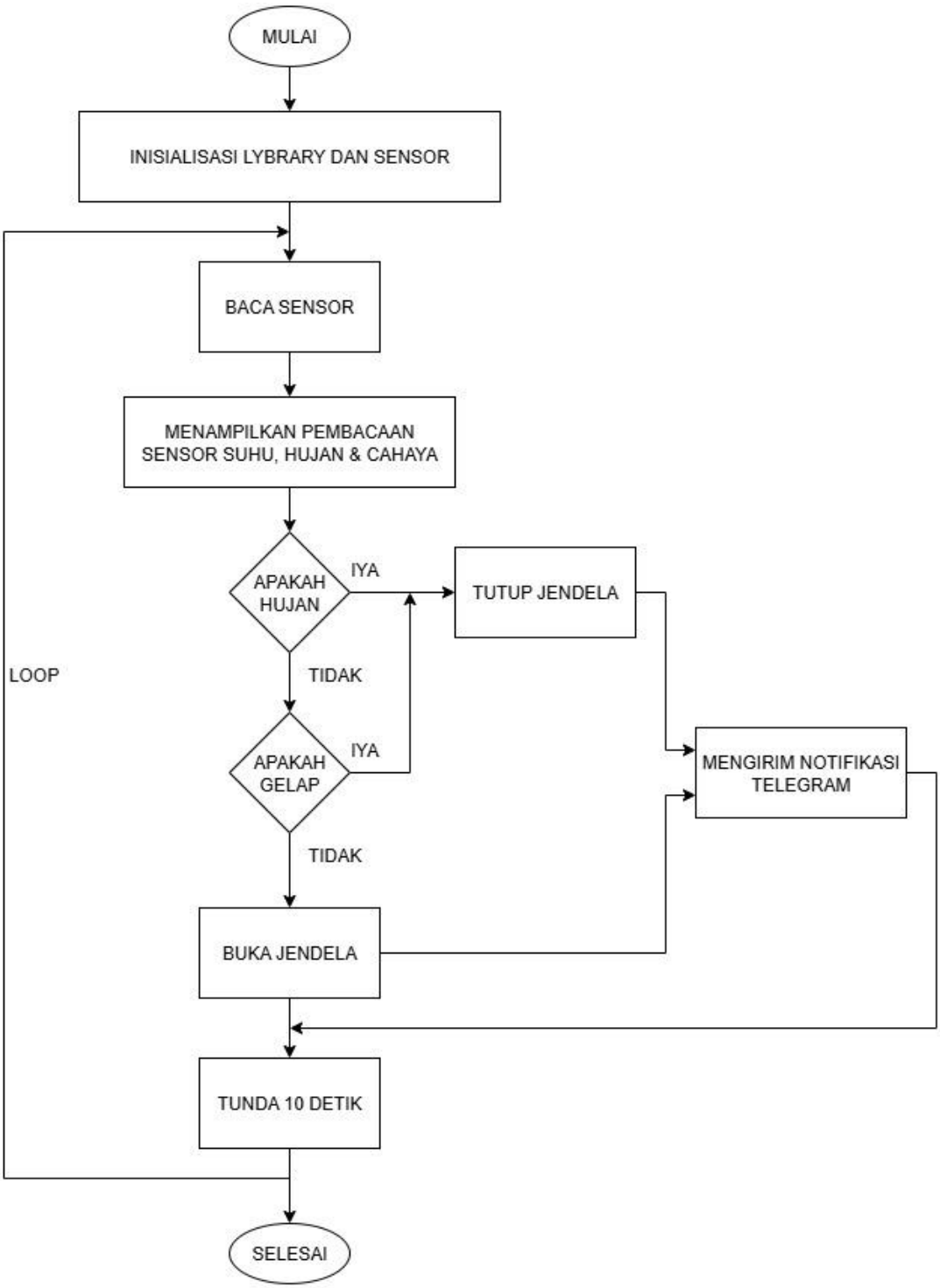
Gambar 4. 6 Rangkaian Sistem Keseluruhan



Gambar 4. 7 Rancangan Alat

B. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak untuk rancang bangun jendela otomatis adaptif terhadap kondisi lingkungan berbasis sensor hujan dan cahaya menggunakan *software* Arduino IDE bertujuan untuk mengontrol perangkat keras, seperti sensor hujan, sensor cahaya, sensor suhu, linear aktuator, dan LCD I2C melalui instruksi dalam program yang disimpan pada mikrokontroller. Barisan kode program yang dihasilkan akan di tanamkan *(upload)* pada perangkat esp32.



Gambar 4. 8 *Flowchart* Sistem

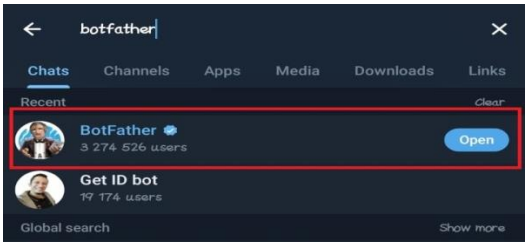
Alur kerja sistem otomatis ini dimulai dari tahap *Start*, di mana perangkat dinyalakan dan langsung masuk ke proses inisialisasi. Pada tahap ini, mikrokontroler mengenali serta menyiapkan seluruh komponen, termasuk sensor cahaya BH1750, sensor hujan, dan motor penggerak yang berfungsi untuk membuka atau menutup jendela. Setelah itu, sistem mulai membaca data intensitas cahaya dari lingkungan dalam satuan lux, kemudian dilanjutkan dengan pembacaan sensor hujan untuk mendeteksi keberadaan tetesan air.

Selanjutnya, sistem melakukan pengambilan keputusan berdasarkan data yang diperoleh. Jika sensor hujan mendeteksi air, jendela akan ditutup secara otomatis demi mencegah air masuk ke dalam ruangan. Namun, jika tidak terdeteksi hujan, sistem akan memeriksa kembali nilai intensitas cahaya. Jika cahaya terdeteksi terang (lebih dari 50 lux), jendela akan dibuka otomatis untuk memungkinkan sirkulasi udara dan pencahayaan alami. Sebaliknya, jika cahaya terdeteksi redup atau gelap, jendela akan tetap atau kembali tertutup, misalnya saat malam hari atau cuaca mendung.

Setelah setiap siklus pengambilan keputusan, sistem akan menunggu selama 5 detik sebelum kembali melakukan pembacaan sensor. Waktu jeda ini bertujuan untuk mencegah respon sistem yang terlalu cepat terhadap perubahan kecil, sehingga menjaga stabilitas kinerja. Proses ini berlangsung secara berulang dan terus-menerus selama perangkat aktif, memastikan jendela selalu menyesuaikan posisinya sesuai kondisi cuaca dan pencahayaan terkini.

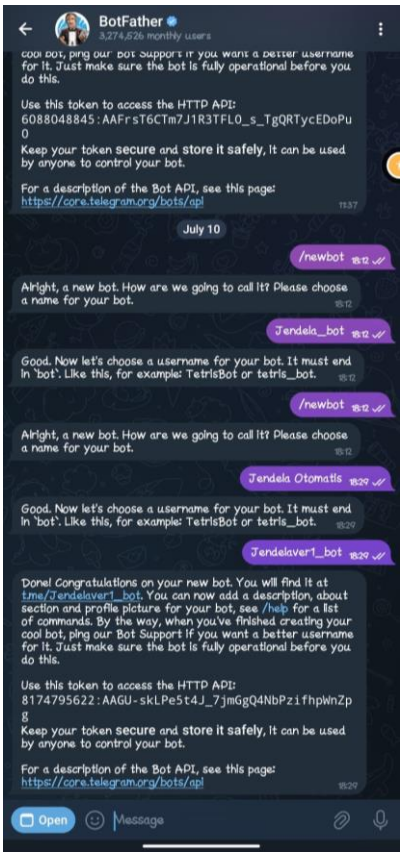
Membuat Bot Telegram

- Buka aplikasi Telegram pada ponsel atau komputer, kemudian gunakan fitur pencarian di bagian atas untuk mencari akun resmi bernama BotFather (ditandai dengan centang biru), lalu buka percakapan dengan akun tersebut seperti tampak pada Gambar 4.9.



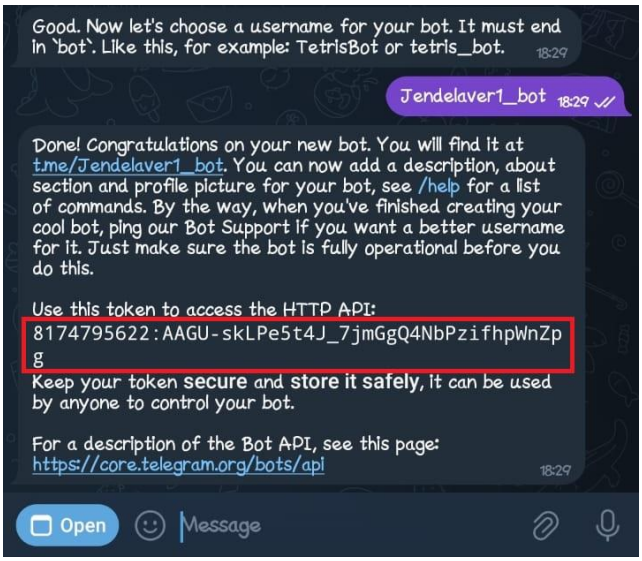
Gambar 4. 9. BotFather

- Setelah itu, buka akun BotFather yang sudah ditemukan, lalu klik tombol *Start* untuk memulai percakapan. Ketik perintah */newbot* untuk membuat bot baru, kemudian BotFather akan meminta memberikan nama bot. Setelah itu, BotFather akan meminta membuat *username* untuk bot, pastikan *username* yang dipilih unik dan diakhiri dengan kata ‘bot’ (misalnya: Jendela_bot). Jika nama dan username diterima, BotFather akan mengirimkan pesan berisi token API yang digunakan untuk menghubungkan bot dengan program seperti pada Gambar 4.10.



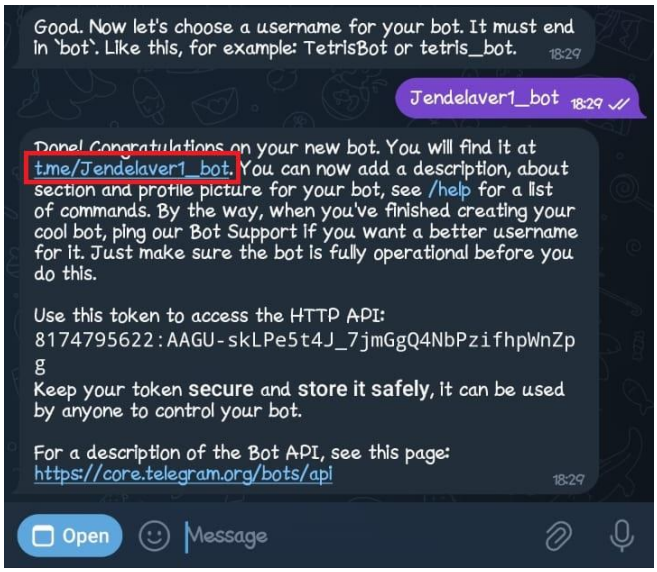
Gambar 4. 10 Membuat Bot Telegram

- Jika bot sudah berhasil dibuat, BotFather akan menampilkan pesan yang berisi *token* atau *API key* unik untuk bot. Simpan token tersebut dengan baik, karena token ini berfungsi sebagai kunci otentikasi agar program atau perangkat yang dibuat dapat berkomunikasi dengan bot. Token ini nantinya akan dimasukkan ke dalam sketch atau kode program sehingga bot Telegram bisa menerima perintah dan mengirimkan pesan secara otomatis seperti tampak pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Mendapatkan Token API Telegram

- Untuk mulai menggunakan bot baru yang telah dibuat, dapat langsung mengklik tautan (link) yang diberikan oleh BotFather pada pesan konfirmasi pembuatan bot, tepatnya pada bagian setelah tulisan 'You will find it at ...'. Tautan tersebut akan secara otomatis membuka jendela chat dengan bot di aplikasi Telegram, sehingga bisa langsung mengetik perintah pertama, seperti /*start*, untuk menguji apakah bot sudah aktif dan siap digunakan tampak pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Masuk ke Bot Telegram

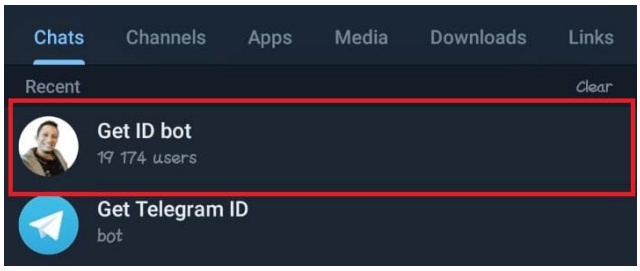
- Setelah jendela chat bot terbuka, kemudian dapat mengetik perintah */start* pada kolom pesan. Perintah ini berfungsi untuk memulai interaksi dengan bot dan memastikan bahwa bot sudah aktif serta siap menerima perintah. Jika bot sudah dikonfigurasi dengan benar, ia akan membalas pesan dengan respon awal tampak pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 *Start* Bot

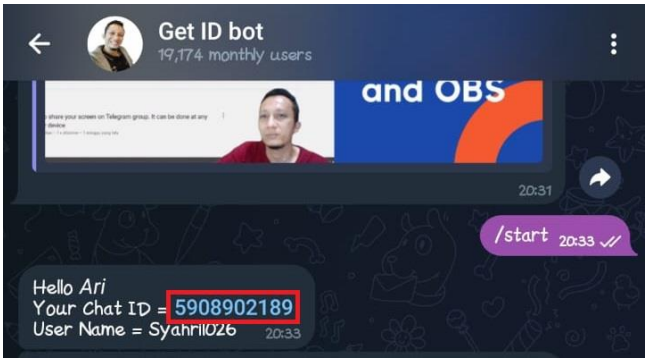
- Setelah langkah tersebut selesai, diperlukan *Telegram User ID* agar bot dapat mengirimkan pesan khusus ke akun. Caranya adalah dengan

mencari bot bernama 'Get IDs' atau 'User Info Bot' melalui fitur pencarian di Telegram. Setelah menemukan bot tersebut, buka percakapan dan ketik perintah */start*. Bot akan secara otomatis menampilkan informasi akun, termasuk *user ID* yang harus disalin dan disimpan. ID ini akan digunakan di dalam program atau sketch agar pesan dari ESP32 dapat dikirim langsung ke akun Telegram tampak pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Get ID Telegram

- Simpan ID tersebut karena akan digunakan nanti untuk membuat program tampak pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Mendapatkan ID Telegram

1. Uraian Program

Adapun *sketch* program yang di gunakan untuk menjalankan fungsi dari sistem yang dibuat sesuai dengan *flowchart* yaitu:

a. Inisialisasi objek dan menentukan *library* yang akan dipakai.

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <ArduinoJson.h>

// Replace with your network credentials
const char* ssid = "POCO_X3_GT";
const char* password = "12345678";
//User Name = Syahril026
#define              BOTtoken              "8174795622:AAGU-
skLPe5t4J_7jmGgQ4NbPzifhpWnZpg"
#define CHAT_ID "5908902189"
WiFiClientSecure client;
UniversalTelegramBot myBot(BOTtoken, client);

#include <DHT.h>
#define DHTPIN 13
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
BH1750 lightMeter;
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
#define R1 4
#define R2 5
#define SHujan 23
#define ISR 33

bool changeState = false;
bool state;
String stJendela;
String myData, stCuaca;
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 1500;
void IRAM_ATTR Notifikasi(){ changeState = true; }

void setup(){
  Serial.begin(9600);
```

```
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  dht.begin();
  lcd.init(); lcd.backlight();
  pinMode(SHujan, INPUT);
  pinMode(ISR, INPUT);
  pinMode(R1, OUTPUT);
  pinMode(R2, OUTPUT);
  digitalWrite(R1,HIGH);
  digitalWrite(R2,HIGH);
  attachInterrupt(ISR, Notifikasi, CHANGE);
  Serial.println(F("BH1750and DHT22 Test begin"));
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  //Add root certificate for api.telegram.org
  client.setCACert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi..");
  }
  Serial.print("\nTerkoneksi ke: ");
  Serial.println(WiFi.localIP()); //Local IP Address
  Serial.println();
  delay(5000);
}
```

Program ini ditujukan untuk membangun sistem pemantauan dan pengendalian jendela otomatis berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu DHT22, sensor cahaya BH1750, serta sensor hujan, dan dilengkapi fitur notifikasi melalui bot Telegram. Pada bagian awal kode, terdapat inisialisasi beberapa *library* penting seperti WiFi.h dan WiFiClientSecure.h untuk koneksi WiFi terenkripsi, UniversalTelegramBot.h untuk komunikasi API Telegram, DHT.h untuk membaca suhu dan kelembaban, BH1750.h untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux, dan LiquidCrystal_I2C.h untuk mengontrol tampilan LCD 16x2 melalui protokol I2C.

Selanjutnya, program mendefinisikan kredensial jaringan WiFi (ssid dan *password*) serta token bot dan ID chat Telegram untuk mengirim pesan ke pengguna. Pin koneksi sensor juga ditentukan, seperti pin DHT22 pada GPIO 13, sensor hujan pada GPIO 23, pin relay atau motor penggerak jendela pada GPIO 4 dan 5, serta pin ISR (*Interrupt Service Routine*) pada GPIO 33 yang berfungsi memicu perubahan status (*changeState*) ketika mendeteksi sinyal perubahan tertentu.

Pada fungsi setup(), program menginisialisasi komunikasi serial dengan *baud rate* 9600 untuk debugging, memulai komunikasi I2C untuk sensor BH1750 dan LCD, serta mengaktifkan sensor DHT. LCD diinisialisasi dan *backlight* dinyalakan untuk menampilkan informasi. Pin sensor hujan diset sebagai *input*, pin relay sebagai *output*, dan kondisi awal motor diatur ke *HIGH* (tidak aktif). Fungsi attachInterrupt() digunakan untuk memanggil ISR Notifikasi() setiap kali terjadi perubahan sinyal pada pin ISR, memungkinkan sistem merespon event eksternal dengan cepat.

Selanjutnya, ESP32 dihubungkan ke jaringan WiFi dengan mode station (WIFI_STA) dan dilakukan proses koneksi hingga status tersambung. *Root certificate* TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT diatur pada client.setCACert() untuk memastikan komunikasi dengan *server* Telegram berlangsung aman menggunakan protokol HTTPS. Setelah koneksi berhasil, alamat IP lokal ditampilkan di *Serial Monitor* sebagai tanda bahwa perangkat siap digunakan untuk operasi pemantauan dan pengendalian jendela secara otomatis sekaligus pengiriman notifikasi ke Telegram.

b. Fungsi Loop

```
void loop() {
  float lux = lightMeter.readLightLevel();
  Serial.print("Light: ");
  Serial.print(lux);
  Serial.println(" lx");
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  // Check if any reads failed and exit early (to try again).
  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
    return;
  }
  Serial.println("Humidity: "+String(h)+" %");
  Serial.println("Temperature: "+String(t)+" °C");
  lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Suhu : ");
  lcd.print(t,0); lcd.print(" ");
  lcd.print((char)223); lcd.print("C  ");
  if(digitalRead(SHujan))  {  lcd.print("TH");  stCuaca="Tidak
Hujan ";}
  else { lcd.print("HJ"); stCuaca="Sedang Hujan "; }
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Lux :        ");
  lcd.setCursor(6,1); lcd.print(lux,0); lcd.print(" lx");

  if(lux>50.0) {
      if(!digitalRead(SHujan)) tutupJendela();
      else bukaJendela();
  }
  if(lux<=50.0) tutupJendela();
  myData= "Jendela "+ stJendela+ "\r\n"+
          "Lux = "+ String(lux,0)+" lx\r\n"+
          "Suhu = "+ String(t,1)+"  °C\r\n"+
          "Cuaca " + stCuaca + "\r\n";

  if (changeState)  kirimPesan();
  delay(1000);
}
```

Program *loop*() ini merupakan inti dari sistem pemantauan dan pengendalian jendela otomatis berbasis sensor cahaya, sensor suhu (DHT), dan sensor hujan. Pertama, program membaca nilai intensitas cahaya menggunakan perintah lightMeter.readLightLevel() dan menampilkannya di *Serial Monitor* dalam satuan lux.

Selanjutnya, sensor DHT digunakan untuk membaca kelembaban (h) dan suhu (t). Jika pembacaan gagal (menghasilkan nilai NaN), maka program akan menampilkan pesan kesalahan dan menghentikan proses pada iterasi tersebut untuk mencoba membaca ulang di siklus berikutnya.

Setelah berhasil membaca data, hasil pengukuran suhu dan status cuaca (hujan atau tidak hujan) ditampilkan pada layar LCD. Baris pertama LCD menampilkan suhu beserta simbol derajat Celcius, sedangkan status cuaca ditunjukkan dengan kode "TH" (Tidak Hujan) atau "HJ" (Hujan) berdasarkan pembacaan pin digital sensor hujan. Baris kedua LCD digunakan untuk menampilkan nilai lux dari sensor cahaya secara *real-time*.

Logika pengendalian jendela kemudian dieksekusi berdasarkan kombinasi nilai lux dan sensor hujan. Jika intensitas cahaya lebih besar dari 50 lux, sistem akan memeriksa sensor hujan: bila hujan terdeteksi, jendela ditutup; bila tidak hujan, jendela dibuka. Jika intensitas cahaya kurang dari atau sama dengan 50 lux, maka jendela otomatis ditutup tanpa mempertimbangkan kondisi hujan. Perintah buka atau tutup jendela dieksekusi melalui pemanggilan fungsi bukaJendela() dan tutupJendela() yang mengatur logika *HIGH*/*LOW* pada pin aktuator.

Data hasil pengukuran kemudian dirangkai menjadi format string myData yang berisi informasi status jendela, nilai lux, suhu, dan kondisi cuaca. *String* ini digunakan sebagai pesan untuk notifikasi Telegram. Jika terdapat perubahan status yang ditandai dengan variabel changeState, fungsi kirimPesan() dipanggil untuk mengirimkan data ke pengguna. Akhirnya, terdapat *delay*(1000) yang memberi jeda 1 detik sebelum

siklus pengulangan berikutnya, sehingga pembacaan sensor dan pengendalian sistem berlangsung secara periodik.

c. Fungsi Buka dan Tutup Jendela

```
void tutupJendela() {
   digitalWrite(R1,LOW); digitalWrite(R2,HIGH);
   stJendela="Tertutup ";
   Serial.println("Jendela Tertutup ");
   Serial.println();
}
void bukaJendela() {
   digitalWrite(R1,HIGH); digitalWrite(R2,LOW);
   stJendela="Terbuka ";
   Serial.println("Jendela Terbuka ");
   Serial.println();
}
```

Program tersebut terdiri dari dua fungsi yang berperan untuk mengontrol mekanisme buka dan tutup jendela menggunakan dua pin digital, yaitu R1 dan R2, yang terhubung ke driver motor atau relay penggerak aktuator jendela. Pada fungsi tutupJendela(), perintah digitalWrite(R1, *LOW*) dan digitalWrite(R2, *HIGH*) diberikan untuk mengatur arah putaran motor sehingga jendela bergerak menutup. Setelah perintah ini dijalankan, variabel status stJendela diperbarui menjadi teks "Tertutup" sebagai penanda kondisi terkini, dan pesan "Jendela Tertutup" dikirim ke *Serial Monitor* untuk tujuan pemantauan atau *debugging*.

Sebaliknya, fungsi bukaJendela() melakukan proses kebalikan. Perintah digitalWrite(R1, *HIGH*) dan digitalWrite(R2, *LOW*) mengubah arah arus motor agar jendela bergerak membuka. Variabel stJendela diubah menjadi "Terbuka" untuk mencerminkan status terbaru, kemudian pesan "Jendela Terbuka" ditampilkan pada

Serial Monitor. Kedua fungsi ini bekerja secara sederhana namun efektif untuk mengatur aktuator jendela hanya dengan mengubah logika *HIGH*/*LOW* pada dua pin kontrol. Dengan sistem ini, perubahan arah gerakan motor dapat dikendalikan dengan mudah, sekaligus memberikan umpan balik status ke pengguna melalui *Serial Monitor*.

d. Fungsi Mengirim Pesan

```
void kirimPesan() {
   unsigned long currentMillis = millis();
   if(currentMillis - previousMillis >= interval) {
      previousMillis = currentMillis;
      changeState = false;
      //Send notification
      myBot.sendMessage(CHAT_ID, myData, "");
   }
   delay(10000);
}
```

Fungsi kirimPesan() dibuat untuk mengirimkan pesan melalui bot Telegram secara berkala berdasarkan interval waktu tertentu. Di dalam fungsi ini, pertama-tama dilakukan pembacaan waktu saat ini menggunakan millis(), yaitu fungsi bawaan Arduino yang menghitung lama waktu sejak perangkat dinyalakan. Selanjutnya, program memeriksa apakah selisih antara waktu saat ini (*currentMillis*) dan waktu sebelumnya (*previousMillis*) sudah melebihi nilai interval yang telah ditentukan. Jika kondisi ini terpenuhi, berarti waktunya untuk mengirim pesan baru. Pada saat itu, variabel *previousMillis* diperbarui dengan nilai waktu saat ini untuk menghitung ulang selang waktu berikutnya, dan variabel *changeState* diubah menjadi *false* sebagai penanda bahwa kondisi perubahan status sudah ditangani. Kemudian, perintah

myBot.sendMessage(CHAT_ID, myData, "") digunakan untuk mengirim pesan berisi data (myData) ke akun Telegram yang memiliki ID tertentu (CHAT_ID).

Di akhir fungsi, terdapat perintah *delay*(10000) yang memberi jeda selama 10 detik setelah proses pengiriman pesan selesai. Tujuan dari penambahan *delay* ini adalah untuk mencegah pengiriman pesan terlalu cepat secara berulang-ulang, sehingga menghindari spam dan mematuhi batas pengiriman pesan Telegram. Secara keseluruhan, fungsi ini memungkinkan sistem untuk mengirimkan notifikasi secara otomatis pada periode tertentu dengan logika berbasis waktu yang efisien menggunakan kombinasi *millis*() dan *delay*().

C. Pengujian

1. Pengujian Sensor Hujan

Pengambilan Proses pengambilan data dilakukan dengan cara menjalankan sistem otomatisasi jendela dalam kondisi nyata, yaitu saat hujan dan tidak hujan. Sensor hujan dipasang di posisi luar ruangan untuk mendeteksi tetesan air secara langsung. Setiap kali terjadi perubahan kondisi cuaca, sistem secara otomatis memberikan respon dengan membuka atau menutup jendela. Kondisi ini diamati secara langsung dan dicatat pada tabel pengujian. Parameter yang direkam meliputi status hujan atau tidak hujan, hasil deteksi sensor, kondisi jendela (terbuka atau tertutup), tampilan kode pada LCD, durasi waktu proses buka atau tutup jendela, serta status pengiriman notifikasi melalui Telegram.

Pencatatan dilakukan secara berurutan untuk sepuluh kali pengujian, dengan pergantian kondisi hujan dan tidak hujan secara alami maupun simulasi dengan cara menyiram sensor menggunakan air. Durasi proses diukur menggunakan timer yang terintegrasi di program mikrokontroler untuk memastikan ketepatan waktu yang dicatat. Setelah data terkumpul, hasil pengukuran dianalisis untuk mengetahui kestabilan respon sistem terhadap kondisi cuaca yang berubah-ubah.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 4.1, sistem otomatisasi jendela berbasis sensor hujan, dapat terlihat bahwa kinerja sistem berjalan sesuai logika yang diharapkan. Ketika sensor mendeteksi hujan, jendela secara konsisten berada dalam kondisi tertutup dan tampilan LCD menampilkan kode “HJ” sebagai penanda hujan. Sebaliknya, ketika tidak terdeteksi hujan, jendela akan terbuka dan LCD menampilkan kode “TH” sebagai indikator tidak hujan. Proses pengiriman notifikasi melalui Telegram juga selalu berhasil pada setiap perubahan kondisi, menunjukkan bahwa koneksi jaringan dan logika pemrograman pada fitur notifikasi bekerja dengan baik tanpa adanya kegagalan komunikasi.

Analisis pada durasi buka dan tutup jendela menunjukkan adanya perbedaan waktu yang relatif kecil. Saat kondisi hujan, durasi rata-rata penutupan jendela berada di kisaran 41,3–41,8 detik. Sementara itu, pada kondisi tidak hujan, durasi pembukaan jendela berada di kisaran 38,3–39,6 detik. Selisih waktu sekitar 2–3 detik ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan beban mekanis pada aktuator saat proses membuka dan menutup jendela. Walaupun demikian, variasi waktu yang ditunjukkan

sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem bekerja dengan stabil dan konsisten.

Secara keseluruhan, sistem mendeteksi hujan dan tidak hujan dengan akurat 100%, mengontrol aktuator jendela dengan cepat, serta memberikan informasi visual melalui LCD dan notifikasi ke Telegram secara real-time. Hal ini menandakan bahwa integrasi antara sensor hujan, mekanisme aktuator, tampilan LCD, serta modul komunikasi telah berfungsi dengan baik tanpa adanya kesalahan yang berarti. Dengan performa ini, sistem dapat diandalkan untuk menjaga keamanan dan kenyamanan ruangan terhadap perubahan kondisi cuaca.



Gambar 4. 16 Pengujian Sensor Hujan

Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Hujan

No	Hujan/Tidak Huajan	Sensor Hujan	Kondisi Jendela	Tampilan LCD	Durasi Terbuka & Tertutup	Notifikasi Telegram
1	Hujan	Terdeteksi	Tertutup	HJ	41,38	Terkirim
2	Tidak Hujan	Tidak Terdeteksi	Terbuka	TH	39,60	Terkirim
3	Hujan	Terdeteksi	Tertutup	HJ	41,79	Terkirim
4	Tidak Hujan	Tidak Terdeteksi	Terbuka	TH	38,65	Terkirim
5	Hujan	Terdeteksi	Tertutup	HJ	41,52	Terkirim
6	Tidak Hujan	Tidak Terdeteksi	Terbuka	TH	38,31	Terkirim
7	Hujan	Terdeteksi	Tertutup	HJ	41,34	Terkirim
8	Tidak Hujan	Tidak Terdeteksi	Terbuka	TH	38,32	Terkirim
9	Hujan	Terdeteksi	Tertutup	HJ	41,61	Terkirim
10	Tidak Hujan	Tidak Terdeteksi	Terbuka	TH	39,01	Terkirim

2. Pengujian Sensor Cahaya

Proses pengambilan data dilakukan dengan menempatkan sensor cahaya pada posisi yang sama dengan arah pencahayaan alami untuk memastikan hasil pembacaan yang akurat. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi pencahayaan berbeda, yaitu terang, redup, dan gelap. Kondisi terang diperoleh dari pencahayaan matahari langsung atau lampu dengan intensitas penuh, sedangkan kondisi redup dicapai dengan mengurangi intensitas cahaya menggunakan penutup sebagian. Kondisi gelap diuji dengan menutup sepenuhnya sumber cahaya agar sensor membaca intensitas paling rendah. Setiap kali terjadi perubahan kondisi cahaya, sistem otomatis merespons dengan membuka atau menutup jendela, kemudian tampilan LCD menampilkan nilai pembacaan sensor secara real-time.

Sebelum di lakukan pengambilan data dailakukan pengkalibrasian sensor Cahaya sebagai berikut

Tabel 4. 2 Kalibrasi Sensor Cahaya

Jarak	Sensor cahaya	Alat ukur cahaya
0 cm	12539	12913
3 cm	3410.12	3029
7 cm	1420.63	1370
9 cm	732.13	741
11 cm	621	601
15 cm	504	492

Tabel tersebut merupakan hasil pengujian kalibrasi sensor cahaya yang dibandingkan dengan alat ukur cahaya standar (lux meter). Tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi sensor cahaya dan menentukan apakah diperlukan faktor koreksi saat digunakan dalam sistem. Dari hasil pengujian terlihat bahwa nilai sensor cahaya dan alat ukur cahaya memiliki pola penurunan yang sama seiring bertambahnya jarak dari sumber cahaya. Pada jarak 0 cm, sensor membaca 12.539 sementara alat ukur membaca 12.913, menunjukkan bahwa sensor memiliki respons yang hampir setara dengan standar meskipun sedikit lebih rendah. Ketika jarak bertambah hingga 15 cm, nilai sensor dan alat ukur sama-sama turun ke kisaran 500-an, dengan perbedaan yang sangat kecil di bawah 3%.

Konsistensi pola antara sensor dan alat ukur menunjukkan bahwa sensor cahaya yang diuji memiliki sensitivitas yang baik dan mampu mengikuti tren penurunan intensitas sesuai hukum *inverse square* (intensitas berbanding terbalik dengan kuadrat jarak). Namun, terlihat adanya sedikit selisih pada beberapa titik pengukuran, seperti pada jarak 3 cm, di mana pembacaan sensor (3.410,12) sedikit lebih tinggi dibandingkan alat ukur (3.029). Perbedaan ini dapat dijadikan dasar untuk membuat faktor koreksi sederhana, misalnya dengan regresi linier, sehingga pembacaan sensor bisa disesuaikan lebih mendekati nilai standar lux meter.

Hasil kalibrasi ini penting karena memastikan bahwa ketika sensor cahaya digunakan dalam sistem otomatisasi jendela, keputusan buka-tutup berdasarkan intensitas cahaya dapat dilakukan dengan akurat. Dengan data kalibrasi ini, pengembang dapat menentukan batas ambang (*threshold*) yang lebih presisi untuk

membedakan kondisi terang, redup, atau gelap, sehingga kinerja sistem menjadi lebih andal dalam kondisi pencahayaan yang bervariasi.

Pencatatan data dilakukan untuk sepuluh kali percobaan, mencakup kondisi terang, redup, dan gelap secara bergantian. Parameter yang dicatat meliputi kondisi cahaya (terang, redup, gelap), hasil pembacaan sensor dalam bentuk angka, status jendela (terbuka atau tertutup), tampilan nilai pada LCD, durasi waktu proses buka atau tutup jendela yang diukur dengan timer internal, serta status pengiriman notifikasi melalui Telegram. Pengujian dilakukan secara berulang untuk memastikan kestabilan sistem dan mengevaluasi konsistensi respon antara sensor dan aktuator pada berbagai tingkat pencahayaan.

Berdasarkan hasil pengujian sensor Cahaya pada table 4.3, sistem mampu membedakan tiga kondisi pencahayaan, yaitu terang, redup, dan gelap, serta memberikan respon yang sesuai pada mekanisme jendela. Pada kondisi terang, nilai sensor cahaya berada pada kisaran tinggi (332–447) yang menunjukkan intensitas cahaya yang besar. Dalam kondisi ini, jendela selalu berada dalam keadaan terbuka, dan tampilan LCD menampilkan nilai yang sesuai dengan pembacaan sensor. Saat kondisi redup, nilai sensor menurun signifikan (89–146) namun jendela tetap terbuka, menandakan bahwa ambang batas penutupan jendela belum tercapai. Kondisi berubah ketika sensor mendeteksi gelap, dengan nilai sensor sangat rendah (13–30); pada saat ini jendela otomatis tertutup dan sistem memberikan notifikasi bahwa kondisi cahaya minim telah terdeteksi.

Durasi pembukaan jendela pada kondisi terang maupun redup berada di kisaran 38–39 detik, relatif stabil dengan variasi kecil antar pengujian. Sementara itu, durasi penutupan jendela pada kondisi gelap berada di kisaran 41,5–41,8 detik, sedikit lebih lama dibandingkan saat membuka. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh mekanisme aktuator yang memerlukan tenaga lebih untuk menarik jendela ke posisi tertutup. Notifikasi Telegram tercatat selalu terkirim pada setiap kondisi perubahan cahaya, menunjukkan bahwa sistem komunikasi bekerja baik tanpa adanya keterlambatan atau kegagalan pengiriman.

Secara keseluruhan, pengujian ini membuktikan bahwa sensor cahaya berfungsi dengan baik dalam mendeteksi tingkat pencahayaan lingkungan dan memicu respon sistem yang tepat. Mekanisme buka-tutup jendela, tampilan informasi pada LCD, serta sistem notifikasi Telegram bekerja sinkron dan konsisten mengikuti perubahan intensitas cahaya. Hal ini menunjukkan integrasi antara perangkat sensor dan aktuator berjalan optimal serta siap digunakan untuk aplikasi pengendalian otomatis berbasis cahaya.



Gambar 4. 17 Pengujian Sensor Cahaya

Tabel 4. 3 Pengujian Sensor Cahaya

No	Terang/Redup/ Gelap	Sensor Cahaya	Kondisi Jendela	Tampilan LCD	Durasi Terbuka Dan Tertutup	Notifikasi Telegram
1	Terang	Terdeteksi	Terbuka	447	38,41	Terkirim
2	Terang	Terdeteksi	Terbuka	377	38,52	Terkirim
3	Terang	Terdeteksi	Terbuka	332	39,10	Terkirim
4	Redup	Terdeteksi	Terbuka	89	38,34	Terkirim
5	Redup	Terdeteksi	Terbuka	105	39,44	Terkirim
6	Redup	Terdeteksi	Terbuka	146	38,37	Terkirim
7	Gelap	Tidak Terdeteksi	Tertutup	26	41,50	Terkirim
8	Gelap	Tidak Terdeteksi	Tertutup	13	41,58	Terkirim
9	Gelap	Tidak Terdeteksi	Tertutup	30	41,63	Terkirim
10	Gelap	Tidak Terdeteksi	Tertutup	28	41,78	Terkirim

3. Pengujian Sensor Suhu

Pengambilan data dilakukan dengan menempatkan sensor suhu pada posisi yang mewakili kondisi lingkungan yang ingin dipantau, misalnya di dekat mekanisme jendela atau area yang terpapar panas secara langsung. Pengujian dilakukan secara bertahap selama 30 menit dengan interval pencatatan setiap 5 menit untuk memantau perubahan suhu secara kontinu. Pada awal pengujian, kondisi lingkungan berada pada suhu normal sekitar 32°C, kemudian dibiarkan mengalami perubahan suhu secara alami atau dengan pemanasan terkontrol untuk menguji respon sensor terhadap peningkatan temperatur.

Setiap 5 menit, nilai suhu yang terbaca oleh sensor dicatat secara langsung dari tampilan LCD atau serial monitor mikrokontroler. Nilai ini kemudian dimasukkan ke dalam tabel untuk dianalisis tren kenaikannya. Pengujian dilakukan tanpa intervensi tambahan selain sumber panas yang sama selama pengujian agar hasil pembacaan tetap konsisten. Tujuan metode ini adalah untuk memastikan bahwa sensor mampu membaca perubahan suhu secara real-time, memiliki akurasi yang baik, dan dapat diintegrasikan dengan sistem otomatisasi jendela.

Berdasarkan hasil pengujian motor servo pada tabel 4.4 , Hasil pengujian sensor suhu menunjukkan adanya kenaikan suhu yang signifikan seiring bertambahnya waktu pengamatan. Pada menit ke-5, suhu tercatat 32,40°C dan terus meningkat secara bertahap menjadi 33,20°C pada menit ke-10. Setelah itu, kenaikan suhu menjadi lebih cepat, mencapai 40,10°C di menit ke-15 dan 43,10°C di menit ke-20. Peningkatan

berlanjut hingga 46,50°C pada menit ke-25, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 51,80°C pada menit ke-30.

Pola ini menunjukkan bahwa sensor suhu merespons dengan baik terhadap perubahan panas yang terjadi di lingkungan, kemungkinan dipengaruhi oleh pemanasan alami atau sumber panas tambahan selama pengujian. Kenaikan suhu yang cukup tajam setelah menit ke-15 mengindikasikan adanya titik di mana media atau lingkungan pengujian mulai mengalami pemanasan cepat (*heat-up phase*). Dengan respon yang stabil dan akurat seperti ini, sensor dapat diandalkan untuk memantau perubahan suhu secara *real-time*.

Tabel 4. 4 Pengujian Sensor Suhu

Waktu	Sensor Suhu
5 menit	32.40 ˚C
10 menit	33.20 ˚C
15 menit	40.10 ˚C
20 menit	43.10 ˚C
25 menit	46.50 ˚C
30 menit	51.80 ˚C

4. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan Sensor Hujan Dan Sensor Cahaya

Pengujian Pengambilan data dilakukan dengan menggabungkan tiga sensor utama, yaitu sensor hujan, sensor cahaya, dan sensor suhu, yang terpasang pada sistem

otomatisasi jendela. Pengujian dilakukan dalam berbagai kombinasi kondisi cuaca untuk mensimulasikan keadaan nyata, seperti hujan dengan cahaya terang, hujan dengan cahaya gelap, tidak hujan dengan cahaya terang, serta tidak hujan dengan cahaya gelap. Kondisi hujan disimulasikan dengan menyiram sensor hujan menggunakan air, sedangkan kondisi terang, redup, dan gelap pada sensor cahaya diatur menggunakan sumber cahaya dan penutup parsial. Sementara itu, sensor suhu tetap dibiarkan membaca kondisi lingkungan sekitar untuk memantau kestabilan temperatur selama pengujian.

Setiap kali kondisi sensor berubah, sistem otomatis memberikan respon dengan membuka atau menutup jendela, menampilkan informasi pada LCD, serta mengirimkan notifikasi melalui Telegram. Parameter yang dicatat meliputi status hujan, tingkat cahaya, suhu lingkungan, kondisi jendela (terbuka atau tertutup), nilai tampilan LCD, serta durasi proses buka atau tutup jendela yang diukur dengan timer internal. Pengujian dilakukan sebanyak delapan kali percobaan dengan variasi kombinasi kondisi, kemudian hasil pengamatan dicatat secara sistematis ke dalam tabel. Data ini selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi keakuratan pembacaan sensor, konsistensi respon aktuator, serta keandalan pengiriman notifikasi ke pengguna.

Hasil pengujian pada Tabel 4.5 , menunjukkan bahwa sistem bekerja berdasarkan kombinasi kondisi hujan dan cahaya untuk mengontrol posisi jendela. Pada kondisi hujan, baik saat cahaya terang maupun gelap, jendela selalu tertutup dengan tampilan LCD “HJ”. Hal yang sama juga terjadi ketika tidak hujan namun cahaya gelap; jendela

tetap tertutup karena pencahayaan rendah dianggap tidak aman untuk membiarkan jendela terbuka. Sebaliknya, pada kondisi tidak hujan dan cahaya terang, jendela otomatis terbuka dengan tampilan LCD “TH”. Pola ini membuktikan bahwa sistem memprioritaskan dua faktor utama, yaitu hujan dan gelap, sebagai pemicu penutupan jendela.

Nilai sensor cahaya menunjukkan perbedaan yang jelas antara kondisi terang (323–483) dan gelap (12–40), sedangkan sensor suhu relatif stabil di angka 38°C sepanjang pengujian, sehingga suhu tidak memengaruhi keputusan buka atau tutup jendela pada sistem ini. Durasi mekanisme penutupan jendela rata-rata berada di sekitar 41 detik, sedangkan durasi pembukaan berada di sekitar 38 detik. Perbedaan 2–3 detik ini konsisten dengan hasil pengujian sebelumnya dan kemungkinan disebabkan oleh beban mekanik aktuator saat menarik jendela untuk menutup.

Notifikasi Telegram tercatat selalu terkirim pada setiap skenario, baik saat kondisi berubah dari hujan ke tidak hujan, maupun dari terang ke gelap. Hal ini menunjukkan keandalan komunikasi sistem dan ketepatan pengiriman informasi ke pengguna secara real-time. Secara keseluruhan, pengujian ini membuktikan bahwa integrasi tiga sensor – hujan, cahaya, dan suhu – berfungsi baik dengan prioritas logika yang jelas: kondisi hujan atau gelap akan selalu menutup jendela, sedangkan kondisi terang tanpa hujan akan membukanya.



Gambar 4. 18 Pengujian Sensor Hujan dan Sensor Cahaya

Tabel 4. 5 Pengujian Sensor Hujan Dan Sensor Cahaya

No	Sensor Hujan	Sensor Cahaya	Kondisi Jendela	Tampilan LCD			Durasi Terbuka Dan Tertutup	Notifikasi Telegram
				Sensor Hujan	Sensor Cahaya	Sensor Suhu		
1	Hujan	Terang	Tertutup	HJ	483	38	41,24	Terkirim
2	Hujan	Gelap	Tertutup	HJ	40	38	41,33	Terkirim
3	Tidak Hujan	Terang	Terbuka	TH	476	38	38,40	Terkirim
4	Tidak Hujan	Gelap	Tertutup	TH	12	38	41,61	Terkirim
5	Hujan	Terang	Tertutup	HJ	392	38	41,28	Terkirim
6	Hujan	Gelap	Tertutup	HJ	13	38	41,56	Terkirim
7	Tidak Hujan	Terang	Terbuka	TH	323	38	37,76	Terkirim
8	Tidak Hujan	Gelap	Tertutup	TH	18	38	41,49	Terkirim

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem otomatisasi jendela berbasis ESP32 yang menggunakan sensor hujan, sensor cahaya BH1750, dan sensor suhu DHT22 berhasil dibuat dan berfungsi sesuai perancangan. Pengambilan keputusan pada sistem ini didasarkan pada prioritas dan kondisi cuaca yang terdeteksi oleh sensor. Prioritas utama adalah mendeteksi hujan; apabila sensor hujan membaca adanya air, maka sistem secara otomatis memerintahkan aktuator untuk menutup jendela demi mencegah masuknya air ke dalam ruangan. Selanjutnya, apabila tidak terdeteksi hujan dan intensitas cahaya yang terbaca oleh sensor BH1750 melebihi 50 lux, sistem akan menganggap kondisi lingkungan cukup terang dan memberikan perintah untuk membuka jendela. Namun, jika kondisi lingkungan terdeteksi gelap atau redup atau kembali terjadi hujan, sistem akan memastikan jendela tetap dalam keadaan tertutup.
2. Sensor hujan mampu mendeteksi keberadaan air secara cepat sehingga jendela dapat langsung tertutup saat hujan turun. Sensor cahaya BH1750 mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux. Jika intensitas cahaya lebih dari 50 lux, sistem menganggap kondisi terang dan dapat membuka jendela (selama tidak hujan).

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, berikut adalah beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut :

1. Menambahkan proteksi aktuator seperti limit switch atau fuse untuk menghindari kerusakan mekanik saat aktuator mencapai batas gerakan.
2. Mengoptimalkan algoritma kontrol dengan logika histeresis agar jendela tidak sering buka-tutup ketika nilai lux mendekati batas ambang.
3. Menambahkan sensor cuaca tambahan seperti sensor angin atau tekanan udara untuk meningkatkan keamanan pada kondisi cuaca ekstrem.
4. Menyediakan catu daya cadangan (*UPS* atau baterai) agar sistem tetap bekerja meski listrik mati, khususnya untuk fungsi penutupan jendela saat hujan.

DAFTAR PUSTAKA

Akhiruddin, A., Imnadir, I., & Nurjannah, N. (2023). Rancang Bangun Alat Pemilah Sampah Logam dan Non Logam Menggunakan Sensor Proximity Induktif dan Infrared Berbasis Arduino UNO R3. *JET (Journal of Electrical Technology)*, *8*(3), 83-90.

Alfarisi, M. S. (2020). *Rancang Bangun Alat Pemilah Sampah Otomatis Organik Anorganik Dan Logam Berbasis Arduino* (Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).

Apriyani, R. K., Rustanti, N., Rahayu, D. P., & Hamid, N. D. U. (2023). Sosialisasi Pengenalan Dan Pemilahan Jenis Sampah Organik Dan Anorganik Di Panti Asuhan Anak Shaleh. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, *1*(2), 43-60.

Ardiansyah, Suhir. *Prototype Sistem Interlock Untuk Pintu Ruangan Steril Di Rumah Sakit Berbasis Kontaktor Listrik*. Diss. Universitas Islam Negeri Ar-raniry, 2024.

Arifandi, M. W. (2020). *Pengembangan Sistem Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet Of Things (IOT)* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Ujung Pandang).

Aripin, S. (2017). *Kajian Mekanis Campuran Limbah Aluminium Dan Alloy Untuk Pembuatan Pully* (Doctoral dissertation).

Damayanti, E., & Saptaji, A. (2024). PENERAPAN LOAD CELL PADA MESIN PENGORENG KERUPUK OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO & PLC. *Jurnal TEDC*, *18*(1), 67-76.

Deddy Pradana, R. (2021). *PEMILAH SAMPAH PINTAR BERDASARKAN LOGAM DAN NONLOGAM DI KANTOR FAKULTAS TEKNIK* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Ponorogo).

Firwansyah, Andi, and Imam Suharjo. "Implementasi Smart Garden Untuk Monitoring Dan Otomatisasi Tanaman Terong Berbasis Internet Of Things Menggunakan Aplikasi Android." *Journal Of Information System And Artificial Intelligence* 5.1 (2024): 228-237.

Fonna, M. Z., Husaini, H., & Indrawati, I. (2020). Penerapan Iot (Internet Of Things) Untuk Pemberian Pakan Ikan Pada Aquarium. *Jurnal Teknologi Rekayasa Informasi dan Komputer*, *3*(2).

Gunawan, I. Ketut Wahyu, et al. "Sistem monitoring kelembaban gabah padi berbasis Arduino." (2020).

Hutabarat, G. I., Hutasoit, G., Hasballah, T., & Pardede, S. (2023). RANCANG BANGUN ALAT PEMILAH HASIL PANEN JAMUR TIRAM GUNA MEMPEROLEH JAMUR TIRAM SEGAR. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, *1*(1), 248-256.

Janaki, M. T. (2024). *Rancang bangun tempat sampah pemilah otomatis berbasis arduino uno dengan sensor proximity* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).

Januar, M. A. (2023). Peningkatan teknis operasional pengelolaan sampah di Kota Malang. *Semarang: Universitas Diponegoro*.

Kusnayadi, H., Nurwahidah, S., Mastar, S., & Wijayanti, N. (2021). Pelatihan Pengelolaan Sampah Organik di Desa Jurumapin Berbasis Kompos Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Ilmiah Pangabdhi*, *7*(1), 15-18.

Limantara, A. D., Purnomo, Y. C. S., & Mudjanarko, S. W. (2017). Pemodelan sistem pelacakan lot parkir kosong berbasis sensor ultrasonic dan internet of things (IoT) pada lahan parkir diluar jalan. *Prosiding Semnastek*.

Maulana, H. (2023). *Sistem Pengusiran Hama Tikus pada Tanaman Padi Menggunakan Sensor Gerak* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Banda Aceh).

Mulyani, I., Putri, E. S., Muliadi, T., & Ayunda, H. M. (2021). Upaya pengendalian sampah plastik di lingkungan sekolah dasar. *Indonesian Journal Of Community Service*, *1*(1), 111-114.

MUNIR, M. (2017). *SISTEM KEAMANAN MESIN PRESS QUENCHING DI PT. INDOSPRING TBK BERBASIS MIKROKONTROLER DENGAN PROGRAM LADDER* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Gresik).

Ndiung, S., Nurtati, R., Jenimantris, Y., Eni, B. L., & Mulianti, E. (2022). Pelatihan Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Produk Kreatif Bernilai Ekonomis. *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM)*, *5*(3), 849-855.

PANGESTU, MIFTAKHUL. *SISTEM MONITORING SUHU RUANG PENYIMPANAN IKAN*. Diss. Universitas Teknologi Digital Indonesia, 2024.

Pratama, S. W. (2018). Indeks Pencemaran Air Laut Pantai Selatan Bantul Dengan Parameter TSS dan Kimia Non-Logam.

Sam, N. N., Rifaldi, M., Wibowo, N. R., & Nur, M. (2020). Rancang Bangun Modul Praktik Load Cell dengan Kapasitas 20 Kg Berbasis Arduino Nano. *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur (MAPLE)*, *2*(1), 21-26.

Nugroho, A. M. (2019). Rekayasa Ventilasi Alami untuk Penyejukan Bangunan. Universitas Brawijaya Press.

Fitriyah, L., Ghofur, A., & Lazim, F. (2024, July). Rancang Bangun Prototype Sistem Buka Tutup Gorden Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno. In Seminar Nasional Inovasi Vokasi (Vol. 3, pp. 309-317).

Gurning, G. (2022). Sistem Pengendalian Tirai Dan Jendela Otomatis Pada Sebuah Gedung.

SAEPULOH, M. A., & Komarudin, A. (2019). SISTEM BUKA TUTUP JENDELA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO.

Arsyad, A., & Rohmah, R. N. (2022). Prototipe Jendela Otomatis Berbasis Arduino Dengan Sensor Suhu dan Kelembaban (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

Baco, S., Perdana, A. L., Huwae, B., & Imran, A. (2024). RANCANG BANGUN ALAT PEMBUKA JENDELA OTOMATIS DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR CAHAYA. ILTEK: Jurnal Teknologi, 19(02), 129-133.

Albet, M., Ginta, P. W., & Sudarsono, A. (2014). Pembuatan Jendela Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya. Jurnal Media Infotama, 10(1).

Khuriati, A. (2022). Sistem Pemantau Intensitas Cahaya Ambien Dengan Sensor Bh1750 Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano. *Berkala Fisika*, *25*(3), 105-110.