

**Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis Ke-37  
Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan.  
“Techno Agro-Maritime 5.0: Digital Innovation and Industrial Downstreaming for  
Sustainable Blue and Green Economy”  
Makassar, 22 Oktober 2025**

---

**Sistem Cerdas Pengaturan Intensitas Cahaya Lampu Berbasis Fuzzy Logic pada  
Tanaman Tomat**

*Fuzzy Logic-Based Intelligent System for Regulating Lamp Light Intensity in Tomato  
Plants*

**Faruq Ratuhaji<sup>1\*</sup>, Asma Ainuddin<sup>2</sup>.**

<sup>1,2</sup> Teknik Listrik dan Instalasi, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

\*Korespondensi: faruqratuhaji@gmail.com

**Abstrak**

*Pencahayaan merupakan faktor penting dalam proses fotosintesis tanaman tomat, terutama ketika intensitas cahaya alami tidak mencukupi. Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengaturan intensitas cahaya berbasis Fuzzy Logic guna mendukung pertumbuhan tanaman tomat yang efisien. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem pencahayaan adaptif yang mampu menyesuaikan intensitas cahaya secara real-time berdasarkan kondisi lingkungan. Metode yang digunakan adalah penelitian pengembangan (R&D) dengan tahapan perancangan sistem, pembuatan prototipe, pengujian perangkat keras dan perangkat lunak, serta analisis kinerja sistem terhadap pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun dengan mikrokontroler ESP32, sensor LDR, sensor DS18B20, dan dimmer Robotdyn mampu mengatur pencahayaan secara otomatis melalui algoritma Fuzzy Logic dengan tingkat akurasi tinggi. Integrasi dengan platform IoT Blynk memungkinkan pemantauan intensitas cahaya dan suhu secara real-time. Berdasarkan hasil pengamatan selama empat minggu, pertumbuhan tanaman tomat pada sistem berbasis Fuzzy Logic menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan sistem konvensional, dengan rata-rata tinggi tanaman mencapai 27 cm dan jumlah daun lebih banyak. Sistem ini terbukti mampu mengoptimalkan fotosintesis, meningkatkan efisiensi energi, dan mendukung pertanian modern berbasis teknologi. Kesimpulannya, sistem Fuzzy Logic efektif meningkatkan pertumbuhan tanaman tomat secara efisien dan adaptif.*

**Kata Kunci:** Fuzzy Logic, Intensitas Cahaya, IoT, Tomat, Efisiensi Energi

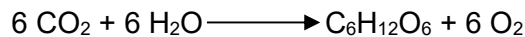
**Abstract**

*Lighting is a crucial factor in the photosynthesis process of tomato plants, especially when natural light intensity is insufficient. This study aims to design and implement an adaptive light intensity control system based on fuzzy logic to support efficient tomato growth. The objective is to develop a real-time adaptive lighting system that adjusts illumination according to environmental conditions. The research applies a research and development (R&D) method, including system design, prototype creation, hardware and software testing, and system performance analysis. The results indicate that the system, utilizing an ESP32 microcontroller, LDR and DS18B20 sensors, and a Robotdyn dimmer, can automatically regulate lighting through the fuzzy logic algorithm with high accuracy. Integration with the IoT Blynk platform enables real-time monitoring of light intensity and temperature. Observations over four weeks revealed that tomato plants under the fuzzy logic-based system exhibited significantly better growth compared to conventional systems, with an average plant height of 27 cm and more leaves. The system effectively optimizes photosynthesis, improves energy efficiency, and supports technology-based sustainable agriculture. In conclusion, the fuzzy logic system enhances tomato plant growth efficiently and adaptively.*

**Keywords** Fuzzy Logic, Light Intensity, IoT, Tomatoes, Energy Efficiency

## PENDAHULUAN

Cahaya merupakan faktor utama dalam proses fotosintesis tanaman. Fotosintesis adalah proses sintesis karbohidrat dari bahan-bahan anorganik (CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O) pada tumbuhan berpigmen dengan bantuan energi cahaya matahari, dengan persamaan reaksi kimia berikut (Septyawan, 2023):



Berdasarkan reaksi fotosintesis diatas, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O merupakan substrat dalam reaksi fotosintesis dan dengan bantuan cahaya matahari dan pigmen fotosintesis (berupa klorofil dan lainnya) akan menghasilkan karbohidrat dan melepaskan oksigen (Song, 2012). Cahaya matahari dibutuhkan tanaman dalam melakukan 2 tahapan reaksi yaitu reaksi terang di tilakoid dan siklus calvin di stomata (Yustiningsih, 2019). Setiap tanaman membutuhkan intensitas cahaya matahari yang berbeda. Jika intensitas cahaya rendah, daun dapat lebih besar, lebih tipis dengan lapisan epidermis tipis, dan lebih banyak stomata. Intensitas, spektrum dan durasi pencahayaan berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Olehnya itu, kekurangan cahaya matahari dapat membuat proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman tidak maksimal. Akan tetapi dalam proses fotosintesis tidak semua energi cahaya matahari yang akan diserap oleh tanaman, melainkan hanya cahaya yang tampak saja yaitu PAR (*Photosynthetic Activity Radiation*) dengan panjang gelombang 400 nm sampai 700 nm (Masojidek, Torzillo, & Koblížek, 2013)

Tomat (*Solanum lycopersicum*) adalah salah satu jenis tanaman pertanian yang sangat menguntungkan dan banyak dibudidayakan di berbagai tempat. Hal ini disebabkan karena tomat merupakan salah satu komoditas hortikultura yang bernilai ekonomi tinggi dan masih memerlukan perhatian, terutama dalam hal peningkatan hasil dan kualitas buahnya. Dari tahun ke tahun, Indonesia meningkatkan produksi tomatnya dengan menambah lahan pertanian. Namun, hingga tahun 2004, Indonesia masih mengimpor 8.192.280 kg tomat, baik segar maupun olahan, dari berbagai negara (Agromedia, 2007)

Dalam sistem pertanian baik konvensional maupun *greenhouse* (rumah kaca), pencahayaan sering kali tidak optimal karena bergantung pada intensitas cahaya alami yang bersifat dinamis. Cahaya merupakan faktor penting dalam pertumbuhan tanaman karena mempengaruhi laju fotosintesis, yang berdampak langsung pada pertumbuhan vegetatif dan produktivitas buah. Pada kondisi tertentu, cahaya alami mungkin tidak mencukupi, terutama pada musim hujan atau di lingkungan dengan intensitas cahaya rendah. Oleh karena itu, sistem pencahayaan buatan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman diperlukan untuk memastikan bahwa pertumbuhan tomat tetap optimal dan penggunaan listrik tetap efisien. Untuk mencapai hasil panen yang optimal, tanaman tomat memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai, termasuk intensitas dan durasi cahaya yang cukup untuk mendukung proses fotosintesis. Durasi pencahayaan terbaik untuk tanaman tomat pada sistem pertanian *greenhouse* adalah 14 jam (Demers, Dorais, Wien, & Gosselin, 1998).

Sistem pencahayaan konvensional yang menggunakan lampu dengan intensitas tetap pada praktiknya sering tidak efisien karena tidak mempertimbangkan kebutuhan aktual tanaman. Dengan menerapkan teknologi kecerdasan buatan seperti Fuzzy Logic dapat menjadi solusi dalam mengatur intensitas pencahayaan secara adaptif dan intuitif. Fuzzy Logic memungkinkan sistem untuk mengolah data dari sensor cahaya, suhu, dan kelembaban guna menentukan intensitas lampu yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan fase pertumbuhan tanaman. Dengan adanya *Sistem Cerdas*

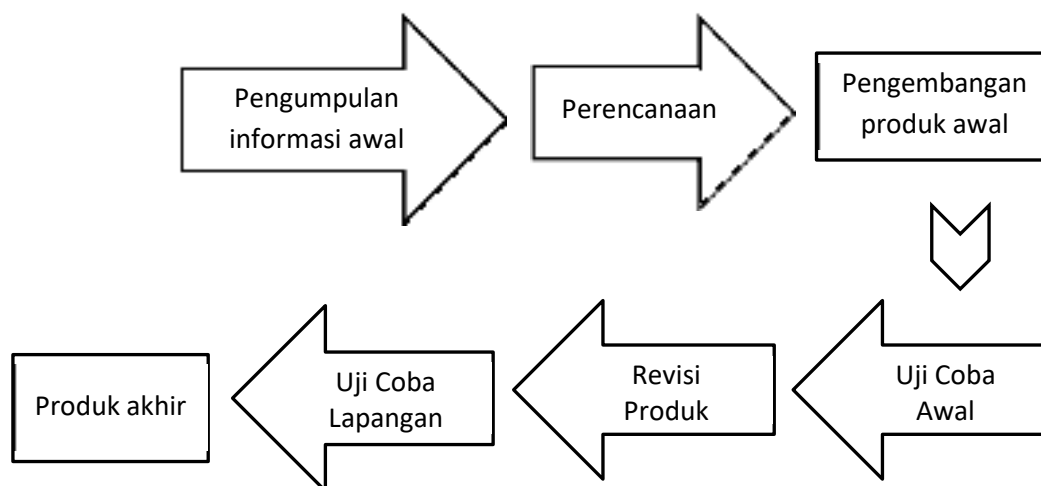
*Pengaturan Intensitas Cahaya Lampu Berbasis Fuzzy Logic pada Tanaman Tomat*, diharapkan dapat menyediakan sistem pencahayaan yang lebih efisien dan adaptif, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal serta menghemat penggunaan energi listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pencahayaan berbasis *Fuzzy Logic* yang mampu menyesuaikan intensitas cahaya secara *real-time* berdasarkan kebutuhan tanaman tomat. Selain itu, sistem ini juga dapat dimonitoring dan dikontrol langsung melalui *platform IoT*, sehingga pada akhirnya diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen, mengurangi biaya operasional, serta memberikan solusi berbasis teknologi dalam pertanian modern yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## BAHAN DAN METODE

### 1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



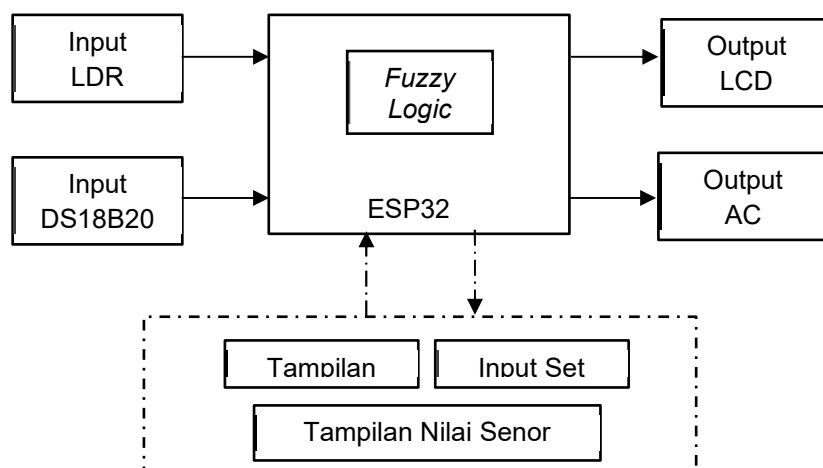
Gambar 1. Tahapan penelitian

- Tahapan pengumpulan informasi awal, pada tahapan ini dilakukan proses identifikasi topik atau permasalahan yang akan diteliti hingga memperoleh tujuan dari penelitian yang akan dilakukan;
- Tahapan perencanaan merupakan tahapan yang melibatkan kajian literatur yang relevan dan berkaitan dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian. studi literatur ini diperlukan untuk memahami konsep dasar Sistem Cerdas Pengaturan Intensitas Cahaya Lampu Berbasis *Fuzzy Logic* pada Tanaman Tomat. Tinjau penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya untuk memperoleh pemahaman yang mendalam dan mempelajari solusi-solusi yang telah ada.

- c) Pengembangan produk awal (prototipe), tahapan dimana implementasi perancangan konseptual menjadi bentuk prototipe (fisik), yakni pembuatan rangkaian elektronik dengan menggunakan mikrokontroller ESP32 dengan menyambungkan sensor-sensor yang diperlukan, dan dimmer robotdyn sebagai pengontrol cahaya lampu LED.
- d) Uji coba awal dimaksudkan untuk engevaluasi kinerja, keandalan, dan kualitas produk. Identifikasi kelemahan, cacat, atau aspek yang perlu diperbaiki. Gunakan data pengujian untuk mengoptimalkan desain dan mengidentifikasi langkah-langkah perbaikan yang diperlukan.
- e) Revisi produk, berdasarkan hasil pengujian awal iterasi dan perbaikan dilakukan pada desain dan prototipe. Ulangi tahap pembuatan prototipe, pengujian, dan evaluasi untuk merevisi produk. Proses ini dilakukan berulang dalam beberapa iterasi hingga mencapai produk awal yang memenuhi persyaratan dan spesifikasi yang diharapkan.
- f) Uji coba lapangan, Setelah pengembangan produk awal selesai, lakukan validasi lebih lanjut untuk memastikan produk telah memenuhi persyaratan dan standar yang ditetapkan. Gunakan data pengujian dan evaluasi untuk mengambil keputusan tentang kelanjutan pengembangan, modifikasi desain, atau perbaikan tambahan yang diperlukan sebelum melanjutkan ke tahap produksi produk akhir.

## 2. Perancangan Sistem

Berikut adalah Langkah-langkah dalam pengembangan perancangan sistem yang akan diterapkan dalam penelitian ini:



Gambar 2. Blok diagram Sistem

Blok diagram pada Gambar 2 menjelaskan arsitektur sistem cerdas pengaturan intensitas cahaya lampu berbasis logika fuzzy yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan tanaman tomat. Sistem ini menggunakan dua parameter utama sebagai input, yaitu intensitas cahaya dan suhu lingkungan. Sensor *LDR* (*Light Dependent Resistor*) berfungsi mendeteksi tingkat intensitas cahaya di sekitar tanaman, sedangkan sensor *DS18B20* digunakan untuk mengukur suhu lingkungan. Data dari kedua sensor tersebut dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama.

Proses pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahapan sesuai dengan metode Fuzzy Sugeno orde nol. Tahap pertama adalah fuzzifikasi, dimana data numerik dari sensor diubah menjadi variabel linguistik dengan himpunan keanggotaan tertentu. Sebagai contoh, intensitas cahaya dikategorikan ke dalam himpunan linguistik *gelap*, *agak gelap*, *normal*, *terang*, dan sangat terang sedangkan suhu diklasifikasikan ke dalam *rendah*, *normal*, dan *tinggi*.

Tahap selanjutnya adalah inferensi fuzzy, yaitu proses penalaran berbasis aturan (*rule base*) yang menghubungkan variabel input dengan keluaran yang diharapkan. Pada metode Sugeno orde nol, setiap aturan fuzzy menghasilkan keluaran berupa konstanta. Contoh aturan yang dapat digunakan adalah: *Jika (Cahaya = Gelap) dan (Suhu = Normal), maka Output = konstanta tertentu*. Mekanisme inferensi ini menghasilkan nilai keluaran dengan melakukan perhitungan rata-rata berbobot dari aturan yang aktif.

Hasil inferensi kemudian diproses pada tahap defuzzifikasi, yang dalam metode Sugeno orde nol relatif sederhana karena keluaran sudah berbentuk nilai crisp. Nilai keluaran tersebut digunakan sebagai sinyal kendali untuk mengatur AC Dimmer, sehingga intensitas cahaya lampu dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman secara adaptif.

Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan LCD untuk menampilkan informasi berupa nilai sensor, baik LDR maupun *DS18B20* dan *Nilai PWM*. Fitur ini memungkinkan pengguna melakukan pemantauan secara real-time terhadap kondisi lingkungan dan respon sistem. Dengan mekanisme pengendalian ini, sistem diharapkan mampu mengoptimalkan proses fotosintesis pada tanaman tomat melalui pencahayaan buatan yang terkontrol secara cerdas, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara lebih efektif.

#### 4. Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan menghasilkan sistem cerdas pengaturan intensitas cahaya lampu berbasis logika fuzzy pada tanaman tomat. Tahapan perancangan dimulai dengan pemilihan komponen utama yang mendukung kebutuhan sistem, meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu lingkungan, dua buah sensor LDR sebagai input dan output intensitas cahaya, modul dimmer AC berbasis triac untuk mengatur daya lampu, buck converter LM2596 sebagai penurun tegangan, serta modul LCD sebagai tampilan informasi.

##### a) Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan generasi paling baru dari mikrokontroler pendahulunya yaitu ESP8266. Mikrokontroler ESP 32 dilengkapi dengan modul wifi dan Bluetooth, sehingga mendukung untuk penerapan sistem aplikasi *Internet Of Things (IoT)* (Wija, Agung, & Rahardjo, 2021). Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengelola sinyal yang dibaca oleh sensor

LDR, yang akan diprogram untuk menampilkan nilai yang dibaca oleh sensor ke media monitoring. Pemilihan mikrokontroler ESP 32, dikarenakan memiliki beberapa keuntungan diantaranya, telah dilengkapi dengan modul wifi juga dan pin input ADC yang lebih banyak.



Gambar 3. Mikrokontroler ESP32

b) Sensor LDR

Sensor *LDR (Light Dependent Resistor)* adalah komponen elektronik yang nilai resistansinya berubah berdasarkan intensitas cahaya yang diterima. Ketika cahaya yang dibaca oleh sensor meningkat, maka resistansinya menurun, namun saat cahaya berkurang, maka resistansinya akan meningkat. Karakteristik ini menjadikan LDR sebagai pilihan ideal untuk mengukur intensitas cahaya dalam sistem pencahayaan adaptif berbasis *Fuzzy Logic*. Dalam penelitian ini, LDR digunakan untuk membaca intensitas cahaya di sekitar tanaman tomat. Data yang diperoleh dari sensor LDR akan digunakan sebagai input dalam sistem *Fuzzy Logic*, yang kemudian menentukan tingkat pencahayaan yang harus diberikan oleh sumber cahaya buatan dari lampu LED.



Gambar 4. Sensor LDR

c) Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang sering digunakan karena memiliki akurasi cukup baik, sekitar  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  pada suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $+85^{\circ}\text{C}$ . Sensor ini menggunakan komunikasi 1-Wire, sehingga hanya memerlukan satu jalur data untuk terhubung dengan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Rentang pengukurannya juga luas, dari  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $+125^{\circ}\text{C}$ , sehingga cocok digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Dalam penelitian ini, DS18B20 berfungsi untuk memantau suhu sekitar tanaman. Suhu sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tomat. Jika terlalu panas, cahaya lampu perlu dikurangi agar tanaman tidak stres. Jika terlalu dingin, pengaturan cahaya bisa ditingkatkan untuk membantu menjaga kondisi ideal. Data dari sensor ini kemudian diproses oleh sistem Fuzzy Logic bersama dengan input lain untuk menentukan intensitas cahaya yang sesuai. Keunggulan lain dari DS18B20 adalah setiap unit memiliki kode unik sehingga bisa digunakan beberapa sensor sekaligus dalam satu sistem. Hal ini memungkinkan pemasangan sensor di berbagai titik, seperti di media tanam dan sekitar tanaman. Dengan cara ini, sistem dapat mengambil keputusan yang lebih tepat untuk menjaga pencahayaan tetap efisien sekaligus mendukung pertumbuhan optimal tanaman tomat.



Gambar 5. Sensor DS18B20

d) Dimmer Robotdyn

*Dimmer Robotdyn* adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu dengan mengubah jumlah daya listrik yang diterima oleh

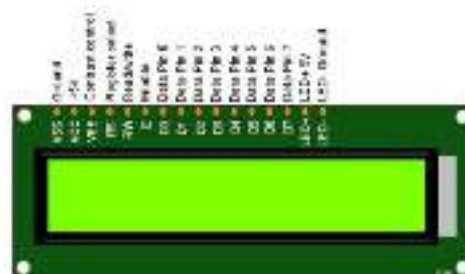
lampu tersebut. Dimmer ini bekerja dengan mengontrol aliran arus listrik yang mengalir menuju lampu, memungkinkan perubahan tingkat kecerahan lampu secara halus. Dimmer Robotdyn biasanya dilengkapi dengan *Mosfet* (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) atau *Triac* (Triode for Alternating Current) untuk mengontrol aliran daya AC. Dengan menggunakan dimmer, sistem dapat menyesuaikan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu *LED Grow Light* sesuai dengan kebutuhan pencahayaan yang diperlukan oleh tanaman. Dalam penelitian ini, *Dimmer Robotdyn* digunakan untuk mengontrol tingkat pencahayaan lampu LED atau lampu CFL yang digunakan untuk mendukung fotosintesis tanaman tomat. Dimmer ini dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 dan sensor LDR serta sensor DS18B20 yang memberikan input untuk mengatur pencahayaan.



Gambar 6. *Dimmer Robotdyn*

#### e) LCD

*Interface modul* HD44780 yang terintegrasi di dalam LCD 16x2 membuatnya sangat populer dan membuat penambahan LCD ke proyek apa pun menjadi sangat sederhana. *Liquid Crystal Display* (LCD) lebih hemat energi dibandingkan layar LED. Lebih fleksibel dalam hal ukuran, bentuk dan tampilan yang dapat menyesuaikan kebutuhan (Soni & Suchdeo, 2012). Untuk media monitoring langsung, LCD 16x2 digunakan untuk menampilkan parameter listrik per fasa-netral. Alasan menggunakan LCD 16x2 ini selain karena ukurannya sudah cukup menampilkan komposisi parameter yang akan ditampilkan juga perintah yang digunakan cukup sederhana.



Gambar 2.5. LCD 16 x 2

#### f) *Buck Converter* LM2596

Buck converter adalah converter arus searah yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC. Prinsip kerjanya dengan memanfaatkan kendali pensaklaran, menggunakan dioda



MOSFET untuk membuka atau menutup rangkaian sehingga arus yang mengalir dapat dikendalikan sesuai dengan duty cycle yang diinginkan (Rahmawati, Ulum, Farisal, & Joni, 2021). Modul step down LM2596 dapat digunakan untuk menurunkan tegangan DC maksimal hingga 3A dengan range DC 3.2V-46V dengan selisih minimum input - output 1.5V DC. Adapun kelebihan dari modul step down LM2596 adalah besar tegangan output tidak berubah (stabil) walaupun tegangan input naik turun, alasan inilah mengapa dalam penelitian ini menggunakan Buck Converter LM2596.



Gambar 6. *Buck Converter LM2596*

g) LED Grow Light

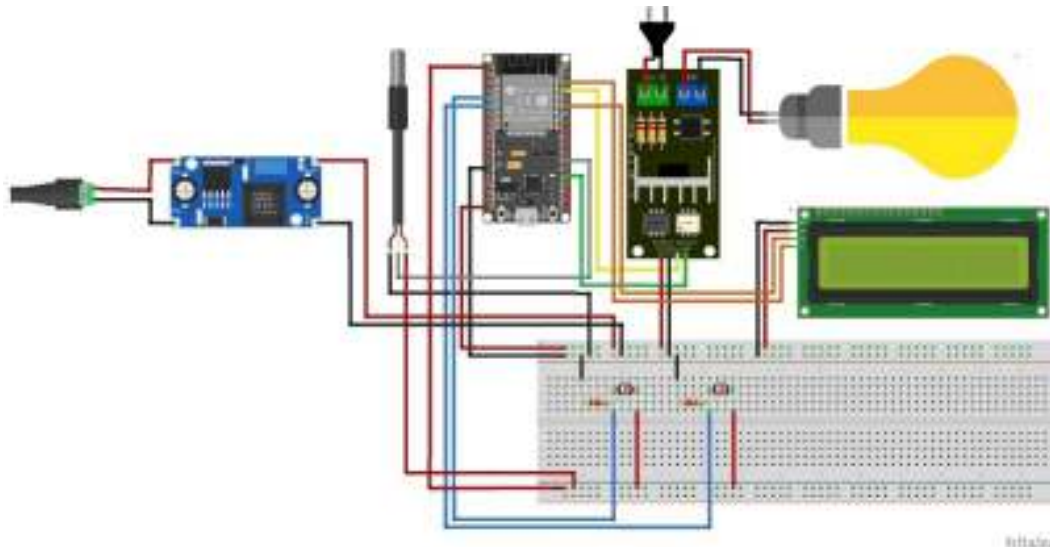
LED Grow Light yang digunakan sebagai sumber pencahayaan buatan untuk mendukung pertumbuhan tanaman tomat. Lampu ini terdiri atas panel LED dengan kombinasi cahaya merah (wavelength 620–660 nm) dan biru (wavelength 450–470 nm) yang berpadu menghasilkan spektrum ungu (magenta). Spektrum tersebut sangat penting bagi proses fotosintesis, karena cahaya merah berperan dalam pembungaan dan pembentukan buah, sedangkan cahaya biru mendukung pertumbuhan vegetatif dan pembentukan daun. Secara teknis, LED Grow Light yang digunakan memiliki daya listrik 50 Watt, dengan jumlah LED 50 chip dalam satu panel, dan dimensi 205 x 20 x 100 mm serta sudut penyinaran 120° yang memungkinkan distribusi cahaya lebih merata. Lampu ini juga dilengkapi bracket penyangga yang memudahkan pemasangan pada posisi tertentu sesuai kebutuhan intensitas cahaya tanaman. Dalam aplikasi pada budidaya tanaman tomat, LED Grow Light berfungsi sebagai pengganti atau tambahan sinar matahari, khususnya ketika intensitas cahaya alami tidak mencukupi, misalnya pada kondisi cuaca mendung atau dalam sistem tanam indoor. Dengan penggunaan lampu ini, pertumbuhan vegetatif tomat dapat dioptimalkan melalui penyinaran cahaya biru, sementara fase pembungaan dan pembentukan buah diperkuat dengan kontribusi cahaya merah. Dengan demikian, LED Grow Light mampu meningkatkan efisiensi pertumbuhan serta produktivitas tanaman tomat secara signifikan.



Gambar 7. *LED Grow Light*



Susunan lengkap perangkat keras dan koneksi antar komponen ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian Skematik Perancangan Alat Sistem

## 6. Waktu dan Lokasi Penelitian

### a) Waktu

Pelaksanaan penelitian ini direncanakan akan terlaksana selama 6 bulan, dan dibagi dalam tiga tahap, yakni tahap pertama merupakan tahap studi literatur dan perancangan pengembangan sistem selama 2 bulan, tahap kedua implementasi prototipe selama 3 bulan dan tahap ketiga merupakan tahap evaluasi dan analisis selama 1 bulan.

### b) Lokasi

Penelitian ini akan dilaksanakan di Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, Kabupaten Bantaeng.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Evaluasi Perancangan

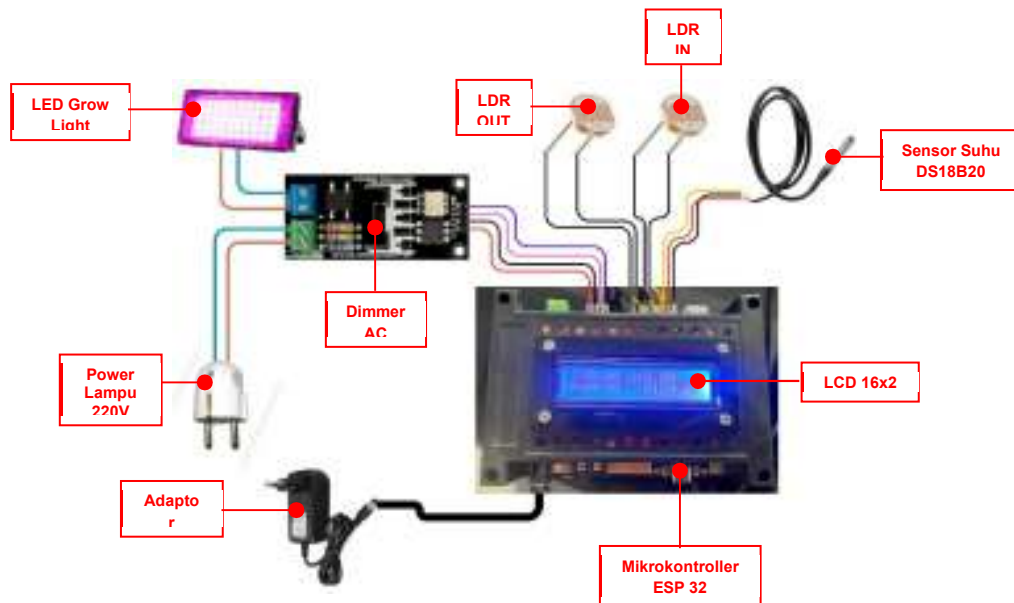
Evaluasi perancangan sistem pada penelitian ini dilakukan untuk menilai kesesuaian antara rancangan yang dibuat dengan hasil implementasi alat di lapangan. Berdasarkan pengujian, sistem pengendalian intensitas cahaya berbasis fuzzy logic dengan input sensor LDR dan sensor suhu DS18B20 dapat berfungsi sesuai dengan tujuan awal. Kedua sensor LDR mampu membaca perbedaan intensitas cahaya pada sisi input dan output, sementara sensor DS18B20 bekerja dengan baik dalam memberikan informasi suhu sebagai parameter tambahan dalam pengendalian. Modul dimmer AC RobotDyn yang dikendalikan oleh sinyal PWM dari ESP32 juga dapat mengatur besar kecilnya arus pada lampu sehingga intensitas cahaya dapat berubah secara bertahap dan stabil.

Hasil pembacaan sensor yang ditampilkan pada LCD menunjukkan data yang konsisten dengan kondisi aktual, dan integrasi dengan platform Blynk berjalan dengan baik sehingga monitoring serta notifikasi dapat diterima secara real-time melalui blynkIoT. Meskipun secara umum sistem dapat berjalan dengan baik, evaluasi juga menunjukkan adanya beberapa keterbatasan.

Respon sensor LDR masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pantulan cahaya dan perubahan mendadak pada intensitas cahaya, sehingga perlu dilakukan proses kalibrasi lebih lanjut. Selain itu, keterlambatan (*delay*) pada pengiriman data ke platform Blynk kadang terjadi apabila koneksi internet tidak stabil, sehingga dapat memengaruhi kecepatan notifikasi. Secara keseluruhan, rancangan sistem ini sudah mampu memenuhi tujuan penelitian, namun masih memiliki ruang untuk pengembangan lebih lanjut terutama dalam peningkatan akurasi sensor, optimasi algoritma fuzzy logic, serta stabilitas komunikasi IoT.

## **2. Implementasi Perangkat Keras**

Implementasi perangkat keras pada penelitian ini dilakukan dengan merangkai seluruh komponen utama sesuai dengan rancangan sistem yang telah dibuat. Mikrokontroler ESP32 menjadi pusat kendali yang menghubungkan sensor, aktuator, serta media komunikasi IoT. Dua buah sensor LDR dipasang untuk membaca intensitas cahaya pada sisi input dan output, sedangkan sensor DS18B20 digunakan untuk memantau kondisi suhu lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tomat. Rangkaian sensor dihubungkan ke pin ADC (*Analog to Digital Converter*) ESP32 dengan suplai tegangan 3,3 V agar sesuai dengan spesifikasi logika mikrokontroler. Untuk mengatur intensitas cahaya lampu, digunakan modul dimmer AC RobotDyn yang dikendalikan melalui sinyal PWM dari ESP32, sehingga arus yang mengalir ke lampu dapat diatur secara bertahap sesuai kebutuhan pencahayaan tanaman. Selain itu, perangkat keras juga dilengkapi dengan LCD yang berfungsi menampilkan hasil pembacaan sensor secara langsung, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem tanpa harus mengakses aplikasi IoT. Sumber daya utama berasal dari adaptor 12V DC yang kemudian diturunkan menggunakan buck converter LM2596 menjadi 5V dan 3,3V untuk kebutuhan ESP32, sensor, dan modul lainnya. Seluruh rangkaian dirakit dengan tata letak yang disesuaikan agar memudahkan proses debugging dan pemeliharaan. Implementasi perangkat keras ini berhasil mewujudkan sebuah sistem yang terintegrasi, di mana sensor, mikrokontroler, dan aktuator dapat bekerja secara sinergis untuk mendukung logika fuzzy dalam mengatur intensitas cahaya lampu pada tanaman tomat. Gambar 4 menampilkan susunan rangkaian perangkat keras yang telah diimplementasikan dalam penelitian ini.



Gambar 9. Implementasi Perangkat Keras Rangkaian

### 3. Implementasi perangkat lunak

Pada penelitian ini dilakukan melalui proses pemrograman mikrokontroler ESP32 menggunakan platform Arduino IDE. Program utama dirancang untuk mengintegrasikan seluruh fungsi sistem, mulai dari pembacaan data sensor, pengolahan data dengan metode fuzzy Sugeno orde nol, hingga pengendalian aktuator berupa dimmer AC RobotDyn yang mengatur intensitas cahaya lampu. Pemrograman melibatkan pembuatan algoritma untuk membaca nilai analog dari dua sensor LDR serta nilai digital dari sensor DS18B20, kemudian mentransformasikannya menjadi input fuzzy. Hasil inferensi fuzzy selanjutnya digunakan untuk menentukan keluaran berupa sinyal PWM yang dikirimkan ke modul dimmer, sehingga tingkat pencahayaan lampu dapat diatur secara otomatis. Selain itu, perangkat lunak juga dilengkapi dengan fungsi komunikasi serial untuk menampilkan data ke LCD serta koneksi Wi-Fi agar ESP32 dapat berinteraksi dengan aplikasi IoT Blynk.

### 4. Implementasi Antarmuka Pengguna (*User Interface*)

Implementasi antarmuka sistem berbasis IoT dilakukan menggunakan platform Blynk, yang menyediakan integrasi antara perangkat keras ESP32 dengan aplikasi berbasis web maupun mobile. Antarmuka Blynk dirancang untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor secara real-time, meliputi intensitas cahaya input dan output dari sensor LDR serta suhu lingkungan dari sensor DS18B20. Selain menampilkan informasi, antarmuka ini juga memiliki fitur notifikasi yang memberikan peringatan kepada pengguna apabila nilai pencahayaan atau suhu berada di luar batas optimal. Tampilan Blynk disusun dengan widget yang intuitif, seperti gauge, chart, dan display value, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi tanaman. Dengan adanya implementasi antarmuka ini, sistem tidak hanya dapat dikendalikan secara otomatis melalui logika fuzzy, tetapi juga memberikan transparansi dan fleksibilitas bagi pengguna untuk memantau dan mengontrol sistem secara jarak jauh melalui perangkat IoT.



Gambar 10. Halaman Aplikasi Sistem

## 5. Pengujian

### a) Pengujian Pembacaan Sensor LDR



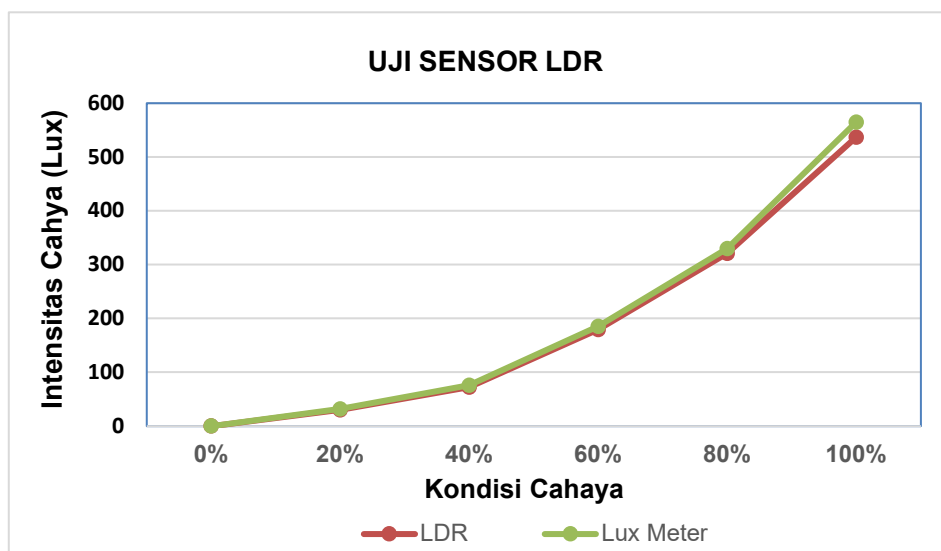
Gambar 11. Pengujian Sensor LDR dengan Lux Meter

Pengujian pembacaan sensor LDR dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan sensor dalam mendeteksi intensitas cahaya yang masuk pada sistem. Proses pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor LDR pada posisi yang sama dengan lux meter sebagai alat pembanding, kemudian mencatat hasil pembacaan pada berbagai kondisi pencahayaan, mulai dari 0% (gelap total) hingga 100% (sangat terang). Pembacaan ADC dari LDR dikonversi ke satuan Lux menggunakan persamaan kalibrasi power-law, sehingga nilai yang diperoleh

dapat dibandingkan langsung dengan lux meter. Untuk mengurangi fluktuasi akibat noise, digunakan metode smoothing (Exponential Moving Average), menghasilkan nilai Lux yang lebih stabil. Dengan pendekatan ini, pengujian sensor LDR terhadap lux meter menjadi representatif secara ilmiah, karena menampilkan hubungan langsung antara pembacaan LDR, nilai Lux kalibrasi, dan respons sistem kontrol, sehingga memungkinkan evaluasi akurasi dan konsistensi sensor. Hasil pembacaan ini dibandingkan dengan nilai Lux yang terukur pada lux meter untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara sensor LDR dan lux meter. Melalui pengujian ini, diperoleh gambaran mengenai karakteristik respon LDR terhadap perubahan intensitas cahaya serta tingkat linearitas pembacaannya terhadap lux meter. Evaluasi hasil pengujian menjadi dasar dalam menentukan validitas sensor LDR untuk digunakan dalam sistem pengaturan intensitas pencahayaan adaptif berbasis fuzzy logic yang diterapkan pada penelitian ini. Perbandingan pembacaan sensor LDR dan Lux Meter dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengukuran Sensor LDR

| No.             | Kondisi Cahaya | Lux LDR | Lux Meter (Lux) | Error (%) |
|-----------------|----------------|---------|-----------------|-----------|
| 1.              | 0%             | 0       | 0               | 0         |
| 2.              | 20%            | 30      | 32              | 6,25      |
| 3.              | 40%            | 72      | 76              | 5,26      |
| 4.              | 60%            | 179     | 185             | 3,24      |
| 5.              | 80%            | 321     | 330             | 2,73      |
| 6.              | 100%           | 537     | 565             | 4,96      |
| Rata-rata Error |                |         |                 | 3,74      |



Gambar 12. Grafik Uji Sensor LDR

Grafik menunjukkan perbandingan hasil pengukuran intensitas cahaya antara sensor LDR dan lux meter pada berbagai kondisi cahaya dari 0% hingga 100%. Terlihat bahwa kedua kurva memiliki tren yang hampir linier dan sangat dekat satu sama lain, menunjukkan bahwa pembacaan sensor LDR mengikuti perubahan intensitas cahaya dengan baik. Pada kondisi

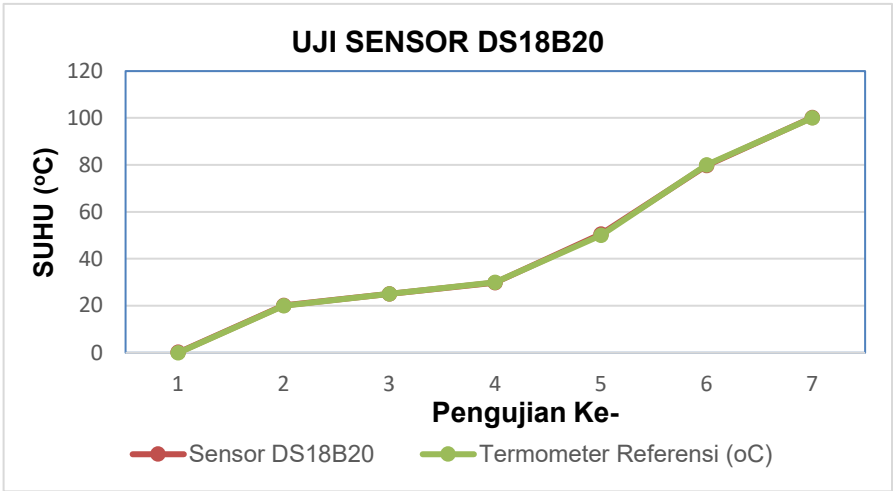
cahaya rendah (0–40%), perbedaan antara nilai LDR dan lux meter relatif kecil, menunjukkan akurasi sensor LDR cukup baik pada level cahaya redup. Pada kondisi cahaya menengah hingga tinggi (60–100%), kurva tetap mengikuti tren lux meter, meskipun terdapat selisih nilai LDR yang cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan lux meter pada pencahayaan maksimum. Hal ini mengindikasikan adanya karakteristik non-linearitas kecil pada sensor LDR pada intensitas cahaya tinggi, namun secara keseluruhan sensor LDR masih mampu merepresentasikan variasi intensitas cahaya dengan cukup akurat dengan nilai rata-rata error sebesar 3,79% .

b) Pengujian Pembacaan Sensor DS18B20

Pengujian sensor DS18B20 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mengukur suhu lingkungan secara akurat dan konsisten pada sistem yang dikembangkan. Sensor DS18B20, yang bekerja berbasis protokol OneWire, ditempatkan pada lokasi yang sama dengan alat pengukur referensi untuk memastikan perbandingan yang valid. Proses pengujian meliputi pencatatan suhu dalam berbagai kondisi lingkungan, baik pada suhu rendah maupun tinggi, untuk mengevaluasi linearitas dan respons sensor terhadap perubahan suhu. Data suhu yang diperoleh dari sensor kemudian dibaca secara periodik dan ditampilkan pada LCD serta dikirim ke aplikasi monitoring Blynk, sehingga memudahkan pemantauan secara *real-time*. Hasil pengujian dianalisis untuk menilai akurasi, kestabilan, dan kecepatan respons sensor DS18B20 terhadap fluktuasi suhu, serta untuk mengetahui apakah terdapat deviasi signifikan dibandingkan alat pengukur referensi. Dengan metode pengujian ini, diperoleh gambaran karakteristik sensor DS18B20, termasuk presisi, kesesuaian pengukuran, dan konsistensi data, sehingga dapat dijadikan dasar validasi penggunaan sensor ini dalam sistem pengaturan intensitas pencahayaan dan monitoring lingkungan berbasis fuzzy logic pada penelitian ini.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengukuran Sensor DS18B20

| No.             | Kondisi Suhu (°C) | Sensor DS18B20 | Termometer Referensi (°C) | Error (%) |
|-----------------|-------------------|----------------|---------------------------|-----------|
| 1.              | 0                 | 0,2            | 0,0                       | 0,2       |
| 2.              | 20                | 20,1           | 20,0                      | 0,5       |
| 3.              | 25                | 25,0           | 25,0                      | 0,0       |
| 4.              | 30                | 29,8           | 30,0                      | 0,67      |
| 5.              | 50                | 50,5           | 50,0                      | 1,0       |
| 6.              | 80                | 79,7           | 80,0                      | 0,38      |
| 7.              | 100               | 100,2          | 100,0                     | 0,2       |
| Rata-rata Error |                   |                |                           | 0,42      |



Gambar 13. Grafik Uji Sensor DS18B20

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 2 dan gambar 13, dapat disimpulkan bahwa sensor DS18B20 memiliki akurasi dan konsistensi yang sangat baik dalam mengukur suhu. Pada grafik menunjukkan perbandingan antara pembacaan sensor DS18B20 dan termometer referensi yang terkalibrasi pada tujuh titik pengujian yang berbeda secara visual terlihat kedua garis tersebut hampir berhimpitan dari titik pengujian pertama hingga terakhir, yang mengindikasikan bahwa pembacaan sensor DS18B20 sangat konsisten dengan nilai referensi di berbagai rentang suhu. Meskipun terdapat sedikit perbedaan yang tidak terlihat secara signifikan pada skala grafik dengan keseluruhan rata-rata nilai error sebesar 0,42%. Hal ini membuktikan bahwa sensor DS18B20 adalah pilihan yang sangat andal dan valid untuk digunakan dalam penelitian ini.

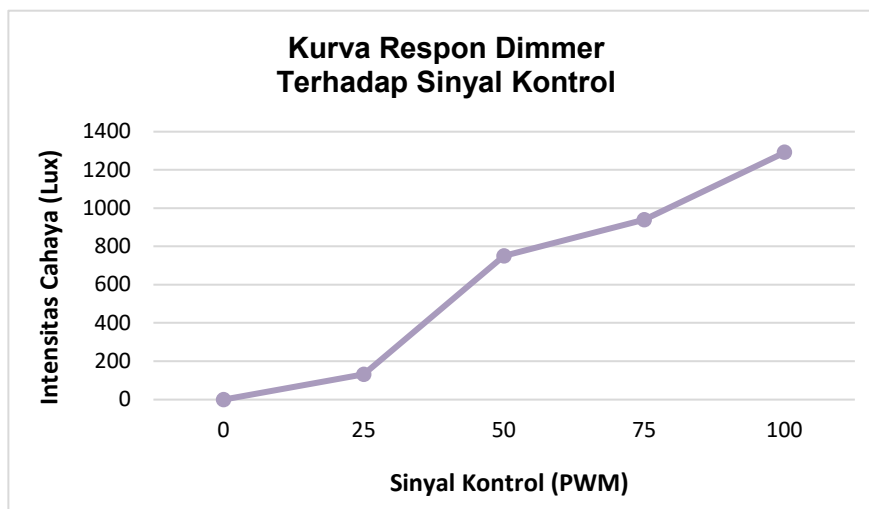
c) Pengujian Dimmer

Pengujian dimmer dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem pengaturan intensitas cahaya lampu yang dikendalikan oleh rangkaian elektronik berbasis mikrokontroler. Dimmer berfungsi sebagai pengatur tegangan yang masuk ke lampu, sehingga intensitas cahaya dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. Pada tahap pengujian, dimmer diberikan variasi nilai setpoint melalui program kendali, kemudian diamati respon lampu terhadap perubahan nilai tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika nilai kendali dimmer dinaikkan, intensitas cahaya lampu meningkat secara bertahap, sedangkan ketika nilai kendali diturunkan, intensitas cahaya berkurang dengan pola yang relatif linear. Hal ini membuktikan bahwa dimmer mampu bekerja dengan baik sebagai aktuator utama dalam sistem pengaturan cahaya, serta memiliki sensitivitas yang cukup responsif terhadap perubahan nilai input yang diberikan.

Tabel 3. Pengujian output Dimmer

| No. | Sinyal Kontrol (PWM) | Lux Meter (Lux) | Prilaku Lampu |
|-----|----------------------|-----------------|---------------|
| 1   | 0                    | 0               | Mati Total    |
| 2   | 25                   | 132             | Redup         |
| 3   | 50                   | 750             | Sedang        |
| 4   | 75                   | 939             | Terang        |
| 5   | 100                  | 1292            | Sangat Terang |





Gambar 14. Grafik Hubungan PWM terhadap Intensitas Cahaya

Gambar 14. menunjukkan adanya pola peningkatan intensitas cahaya yang searah dengan kenaikan nilai PWM. Pada PWM rendah, lampu menghasilkan cahaya redup, sementara pada PWM maksimum intensitas mencapai 1292 Lux dengan kondisi sangat terang. Meskipun kenaikan tidak sepenuhnya linier, sistem dimmer mampu mengatur cahaya secara bertahap dan stabil sesuai kebutuhan. Hal ini membuktikan bahwa dimmer berfungsi efektif sebagai aktuator dalam sistem pengaturan pencahayaan adaptif untuk mendukung pengaturan pencahayaan tanaman tomat secara dinamis.

d) Pengujian Sistem Pada Tanaman Tomat

Pengujian sistem dilakukan secara langsung pada tanaman tomat untuk mengevaluasi efektivitas pengaturan intensitas cahaya berbasis fuzzy logic terhadap pertumbuhan tanaman. Tanaman tomat diletakkan pada area uji yang telah dipasang rangkaian sistem pencahayaan dengan sensor LDR dan DS18B20 sebagai masukan data lingkungan. Selama proses pengujian, sistem mengatur intensitas cahaya lampu secara otomatis sesuai kondisi cahaya alami dan suhu sekitar yang terdeteksi, sehingga tanaman tetap memperoleh pencahayaan optimal untuk fotosintesis. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan baik, di mana intensitas cahaya lampu meningkat pada saat cahaya alami berkurang, dan sebaliknya menurun ketika intensitas cahaya alami cukup tinggi. Pengaturan cahaya yang adaptif ini terbukti membantu menjaga kestabilan pencahayaan yang diterima tanaman tomat, sehingga proses pertumbuhan dapat berlangsung lebih optimal dibandingkan kondisi pencahayaan konvensional.

Pengamatan pertumbuhan tanaman tomat dilakukan mulai dari 1 minggu setelah tanam (MST 1) hingga 4 minggu setelah tanam (MST 4), dengan menggunakan dua kelompok perlakuan, yaitu:

- Kelompok LED grow light berbasis Fuzzy Logic, dimana tanaman ditempatkan di bawah lampu yang intensitas cahayanya diatur oleh sistem Fuzzy Logic.
- Kelompok LED grow light konvensional, dimana tanaman ditempatkan di bawah lampu dengan intensitas cahaya statis dan konstan (tanpa pengontrolan).

Setiap kelompok terdiri dari minimal 5 sampel tanaman tomat untuk memastikan validitas statistik data. Pengamatan dan pengukuran dilakukan setiap minggu pada hari dan waktu yang sama. Data yang dikumpulkan meliputi:

- a. Tinggi Tanaman: Diukur dari permukaan tanah hingga pucuk tertinggi tanaman menggunakan meteran.
- b. Lebar Daun: Diukur pada daun terlebar menggunakan jangka sorong.
- c. Jumlah Daun: Dihitung secara manual.



Gambar 15. Pengukuran Tinggi Tanaman

Pada Tabel 4. berikut menyajikan data perbandingan pertumbuhan tanaman tomat dengan sistem fuzzy logic dan konvensional.

Tabel 4. Pengamatan tanaman tomat

| Waktu Tanam | Sistem Fuzzy Logic  |                 |             | Sistem Konvensional |                 |             |
|-------------|---------------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------|-------------|
|             | Tinggi Tanaman (cm) | Lebar Daun (cm) | Jumlah Daun | Tinggi Tanaman (cm) | Lebar Daun (cm) | Jumlah Daun |
| MST 1       | 8,6 ± 0,5           | 1,3 ± 0,1       | 2 ± 0,0     | 7 ± 0,4             | 1,1 ± 0,1       | 2 ± 0,0     |
| MST 2       | 13,3 ± 0,8          | 1,8 ± 0,2       | 6 ± 1       | 11 ± 0,7            | 1,6 ± 0,1       | 4 ± 1       |
| MST 3       | 18 ± 1,0            | 2,5 ± 0,2       | 9 ± 1       | 13,3 ± 0,9          | 2 ± 0,2         | 6 ± 1       |
| MST 4       | 27 ± 1,2            | 2,8 ± 0,3       | 12 ± 2      | 17 ± 1,1            | 2,4 ± 0,2       | 10 ± 1      |



(1) LED Grow Light Berbasis Fuzzy (2) LED Grow Light konvensional

Gambar 16. Ruang Percobaan Tanaman Tomat dengan LED Grow Light

Hasil pengamatan pada tanaman tomat menunjukkan bahwa sistem cerdas pengaturan intensitas cahaya lampu berbasis *Fuzzy Logic* memberikan kondisi pertumbuhan yang jauh lebih optimal dibandingkan sistem konvensional. Data pada Tabel 4.5 memperlihatkan bahwa tanaman yang dirawat di bawah sistem *Fuzzy Logic* memiliki pertumbuhan yang lebih cepat. Setelah empat minggu, tinggi tanaman mencapai 27 cm, jauh lebih tinggi dari 17 cm pada sistem konvensional. Peningkatan juga terlihat pada lebar dan jumlah daun, dengan 12 daun pada sistem *Fuzzy Logic* dibandingkan 10 daun pada sistem konvensional. Dengan demikian, sistem cerdas ini dapat diandalkan sebagai solusi untuk mendukung budidaya tomat secara efisien, terutama dalam lingkungan dengan intensitas cahaya yang dinamis.



(1)Tanaman MST



(2) Tanaman MST



(3)Tanaman MST 3



(4)Tanaman MST 4

Gambar 17. Kondisi Tanaman Tomat dengan Pengaturan Intensitas Cahaya Berbasis Fuzzy Logic

## KESIMPULAN

Berdasarkan proses dan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem cerdas pengaturan intensitas cahaya lampu berbasis Fuzzy Logic untuk tanaman tomat telah berhasil diimplementasikan pada penelitian ini. Sistem ini terbukti efektif dalam mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dengan menyediakan kondisi cahaya yang adaptif dan efisien.
2. Sistem yang diimplementasikan pada penelitian ini, mampu menyesuaikan intensitas cahaya secara *real-time* berdasarkan input dari sensor LDR dan DS18B20.
3. Berdasarkan hasil pengamatan selama empat minggu menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman tomat pada sistem pengontrolan intensitas cahaya berbasis *Fuzzy Logic* jauh lebih unggul daripada sistem konvensional. Hal ini dibuktikan dengan pertumbuhan tinggi tanaman, lebar daun, dan jumlah daun yang lebih signifikan.
4. Berdasarkan hasil pengujian Sensor LDR dan DS18B20 yang digunakan pada sistem ini terbukti memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan alat ukur referensi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui program Penelitian Dosen Lanjutan Tahun 2025 dengan Nomor Kontrak: B/664/BPSDMI/AKOM-Bantaeng/LB/IV/2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada segenap civitas Akademi Komunitas Manufaktur Bantaeng atas dukungan fasilitas laboratorium dan sarana penelitian yang telah membantu kelancaran kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agromedia, R. (2007). *Petunjuk pemupukan*: AgroMedia.
- Demers, D.-A., Dorais, M., Wien, C. H., & Gosselin, A. J. S. H. (1998). Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *74*(4), 295-306.
- Masojídek, J., Torzillo, G., & Koblížek, M. (2013). *Photosynthesis in microalgae*.
- Rahmawati, D., Ulum, M., Farisal, M., & Joni, K. (2021). Lantai pembangkit listrik menggunakan piezoelektrik dengan buck converter LM2596. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, *7*(3), 84-89.
- Septyawan, A. B. (2023). *Sistem Otomatisasi Suhu Dan Pencahayaan Pada Tanaman Aquascape Berbasis Mikrokontroler Nodemcu*. Politeknik Negeri Jember,
- Song, A. N. (2012). Evolusi fotosintesis pada tumbuhan. 28-34.
- Soni, P., & Suchdeo, K. (2012). Exploring the serial capabilities for 16x2 lcd interface. *International Journal of Emerging Technology Advanced Engineering*, *2*(11), 109-112.
- Wija, D. B. P., Agung, I. R., & Rahardjo, P. (2021). Rancang Bangun Sistem Konversi Uang Logam Menjadi E-Money Berbasis Mikrokontroler dan Aplikasi Android. *Jurnal SPEKTRUM*, *8*(1).
- Yustiningsih, M. (2019). Intensitas cahaya dan efisiensi fotosintesis pada tanaman naungan dan tanaman terpapar cahaya langsung. *Bio-Edu: Jurnal Pendidikan Biologi* *4*(2), 44-49.