

Simulasi Sistem *Monitoring* Nutrisi Dan Optimasi Penyinaran Buah Naga Berbasis IoT Dengan *Fuzzy Logic*

I Made Dwi Hari Wangsa^{1a)}, Roy Rudolf Huizen^{2b)}, Ni Made Rai Masita Dewi^{3c)}

¹⁾Sistem Komputer, Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Bali, Bali, Indonesia

²⁾Magister Sistem Informasi, Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Bali, Bali, Indonesia

³⁾ Sistem Informasi, Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Bali, Bali, Indonesia

e-mail: ^{a)}220010065@stikom-bali.ac.id, ^{b)}roy@stikom-bali.ac.id, ^{c)}raimasita@stikom-bali.ac.id

Abstrak

Produktivitas tanaman buah naga sering terhambat oleh keterbatasan durasi penyinaran alami dan manajemen nutrisi yang tidak terukur, sehingga siklus panen menjadi terbatas. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan simulasi sistem pemantauan hara dan optimasi pencahayaan tambahan berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk merangsang pembuahan di luar musim. Metode penelitian yang digunakan adalah *prototype* dengan proses validasi fungsional yang dilakukan sepenuhnya di dalam lingkungan simulator *Wokwi*. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler *ESP32*, di mana parameter lingkungan seperti kadar *NPK*, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya matahari direpresentasikan melalui input *potensiometer*. Algoritma *Logika Fuzzy Sugeno Orde-Nol* diterapkan untuk mengotomatisasi durasi penyinaran berdasarkan kondisi hara dan cahaya secara *real-time*. Data hasil simulasi diintegrasikan dengan *Firestore Realtime Database* dan divisualisasikan melalui aplikasi *Android* berbasis *Kodular*. Hasil pengujian *Black Box* menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan sinkronisasi data secara akurat antara simulator dan aplikasi seluler, serta berhasil menjalankan logika otomatisasi lampu *LED* sesuai dengan basis aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan.

Kata kunci: Buah Naga, IoT, Fuzzy Logic, Wokwi, Penyinaran Tambahan.

1. Pendahuluan

Sektor pertanian di Indonesia kini sedang mengalami perubahan besar melalui penerapan konsep Pertanian 4.0. Teknologi *Internet of Things (IoT)* menjadi bagian penting dalam meningkatkan efisiensi kerja dan hasil panen komoditas utama [1]. Salah satu tantangan utama dalam pertanian presisi adalah pengelolaan data secara *real-time* agar keputusan bisa diambil dengan cepat [2], [3]. Saat ini, penggunaan infrastruktur *cloud* dan sistem pemantauan berbasis aplikasi ponsel menjadi metode baru yang digunakan untuk memantau kondisi lahan secara akurat dan berkelanjutan [4], [5].

Buah naga (*Hylocereus spp.*) adalah salah satu produk hortikultura bernilai ekonomis tinggi yang telah diperkenalkan di berbagai wilayah di Indonesia. [6]. Sebagai tanaman jenis *Long Day Plant (LDP)*, buah naga memerlukan paparan cahaya matahari sekitar 12 jam sehari untuk memicu pertumbuhan bunga [7]. Namun, berdasarkan wawancara dengan Bapak I Wayan Suniasa, selaku petani buah naga, ditemukan bahwa proses budidaya saat ini masih sangat bergantung pada siklus cuaca alami dan pemberian nutrisi yang diberikan secara manual tanpa pengukuran yang presisi. Tantangan utama terjadi pada musim *off-season*, di mana tanaman sulit berbunga karena kurangnya waktu paparan cahaya matahari. Selain itu, pengamatan kualitas hara tanah hanya dilakukan secara visual, sehingga sering kali tidak mendeteksi kekurangan unsur hara secara dini.

Untuk mengatasi masalah tersebut, pemasangan lampu tambahan (*artificial lighting*) di malam hari dianggap sebagai solusi yang efektif untuk merangsang pertumbuhan bunga [7]. Integrasi sistem pencahayaan dengan teknologi sel surya (*solar cell*) yang dioperasikan melalui IoT bisa menjadi solusi hemat energi bagi petani [8]. Dalam mengelola variabel input seperti kadar nutrisi tanah dan intensitas cahaya, diperlukan metode kontrol yang mampu menghadapi ketidakpastian data [3]. Logika *fuzzy* merupakan suatu teknik komputasional yang dirancang untuk mengatasi aspek subjektivitas dan ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan. Metode Sugeno memiliki kelebihan dalam menghasilkan output yang berupa nilai numerik yang akurat, sehingga sangat efisien dan efektif untuk diterapkan pada sistem kontrol otomatis yang berbasis data kuantitatif [9].

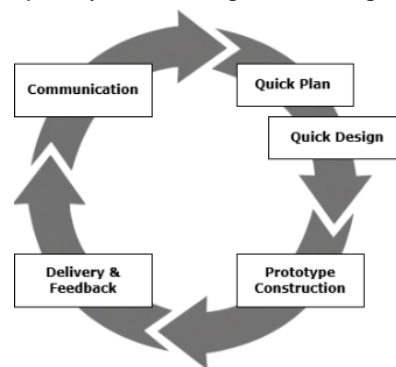
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan simulasi sistem *monitoring* hara dan optimasi penyinaran tanaman buah naga menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* Sugeno. Penelitian ini berfokus pada validasi logika kontrol sistem di lingkungan virtual menggunakan simulator *Wokwi* sebelum

dilakukan implementasi fisik. Penggunaan komponen potensiometer dalam simulasi ini berfungsi sebagai representasi dari sensor NPK, cahaya, dan kelembapan tanah guna menguji respons algoritma terhadap dinamika data input. Dengan demikian, penelitian ini menitikberatkan pada keandalan alur logika otomatisasi penyinaran, bukan pada akurasi pengukuran dari sensor fisik aktual. Data hasil pemrosesan selanjutnya dikirim ke aplikasi Android yang dikembangkan melalui Kodular dengan memanfaatkan Firebase *Realtime Database* sebagai media komunikasi data.

2. Metode Penelitian

2.1 Metode Prototype

Penulis menggunakan metode *prototype* dalam melakukan penelitian ini. Metode *prototype* adalah cara merancang antarmuka yang digunakan agar proses membuat produk atau aplikasi lebih cepat. Keistimewaan metode ini adalah prosesnya yang cepat dan terdapatnya komunikasi aktif antara pengembang dan pengguna sistem untuk mengetahui kebutuhan antarmuka yang akan dibuat [10]. Dalam praktiknya, metode ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu *Communication*, *Quick Plan*, *Quick Design*, *Prototype Construction*, *Delivery and feedback*. Seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode *Prototype* (Sumber: Roger S.Pressman)

2.2 Communication

Pada tahap ini, dilakukan wawancara dengan petani buah naga untuk mengidentifikasi hambatan utama berupa ketidakpastian iklim dan manajemen nutrisi manual. Hasil komunikasi ini menetapkan kebutuhan fungsional sistem, yaitu pemantauan *real-time* dan otomatisasi penyinaran tambahan yang sesuai dengan kondisi lapangan.

2.3 Quick Plan

Peneliti merancang arsitektur sistem IoT yang menghubungkan simulator Wokwi dengan layanan *cloud* Firebase. Perencanaan teknis ini mencakup penggunaan ESP32 sebagai pengendali utama dan platform Kodular untuk pengembangan antarmuka aplikasi Android.

2.4 Quick Design

Tahap ini berfokus pada perancangan logika kendali menggunakan algoritma *Fuzzy* Sugeno Orde-Nol untuk optimasi penyinaran. Selain itu, dilakukan pemetaan pin ESP32 untuk menerima input analog dari potensiometer sebagai representasi sensor dan memberikan output pada indikator LED.

2.5 Prototype Construction

Prototype dibangun pada simulator Wokwi menggunakan bahasa MicroPython. Seluruh sensor utama divisualisasikan menggunakan potensiometer untuk memberikan input dinamis ke ESP32, di mana data tersebut diproses secara *fuzzy* dan dikirim ke Firebase untuk dipantau melalui aplikasi secara *real-time*.

2.6 Delivery and feedback

Pengujian fungsional dilakukan untuk memvalidasi bahwa logika penyinaran tambahan telah berjalan sesuai aturan *fuzzy*. Umpan balik dari hasil simulasi digunakan untuk menyempurnakan kode program dan konfigurasi antarmuka, memastikan stabilitas sistem sebelum tahap implementasi fisik dilakukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Sistem dan perancangan

1. Analisa sistem

- a. Perangkat Keras (Virtual) Komponen yang digunakan dalam simulasi pada platform Wokwi meliputi:

ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengolah data dari sensor dan menjalankan logika kontrol, Potensiometer digunakan untuk merepresentasikan sensor NPK, kelembapan tanah, dan sensor panel surya, LED, LCD 20x4 digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor serta kondisi sistem secara langsung.

b. Perangkat Lunak

MicroPython digunakan sebagai bahasa pemrograman untuk menulis kode logika pada ESP32, Wokwi adalah platform simulator yang digunakan untuk menguji rangkaian elektronik dan kode program secara virtual, Firebase berperan sebagai *database real-time* yang menyimpan data hasil pemantauan dari ESP32, Kodular adalah platform yang digunakan untuk membuat antarmuka aplikasi Android agar memudahkan pemantauan kondisi tanaman secara jarak jauh.

2. Perancangan Sistem

a. Desain Arsitektur

Sistem ini menggabungkan simulator Wokwi, *database* Firebase, dan aplikasi Kodular agar bisa memantau kondisi lahan secara langsung dan *real-time*. Untuk Arsitektur Sistem terdapat pada Gambar 2.

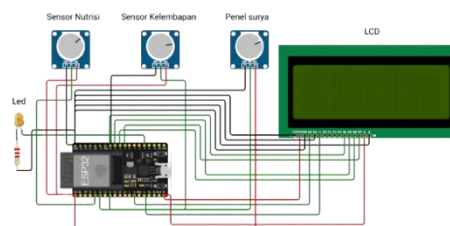


Gambar 2. Arsitektur Sistem

Pada Gambar 2 Sistem dimulai pada platform Wokwi di mana ESP32 membaca data analog dari potensiometer sebagai representasi kondisi nutrisi, kelembapan, dan cahaya. Data diproses menggunakan algoritma Fuzzy Sugeno Orde-Nol untuk menentukan tingkat intensitas penyinaran secara otomatis. Hasil keputusan berupa nilai PWM (0-1023) dikirim ke Firebase Realtime Database melalui protokol HTTP menggunakan koneksi WiFi virtual. Selanjutnya, aplikasi Android berbasis Kodular melakukan sinkronisasi data dari Firebase untuk memvisualisasikan kondisi lahan dan status lampu secara *real-time* kepada petani.

b. Desain *Hardware*

Desain perangkat keras menjelaskan struktur fisik dan cara menggabungkan berbagai komponen yang digunakan dalam penelitian ini. Komponen-komponen tersebut disusun secara terpadu untuk membentuk prototipe sistem yang digunakan untuk memantau nutrisi serta mengatur penyinaran otomatis pada tanaman buah naga, sesuai dengan ilustrasi skema rangkaian yang terdapat pada Gambar 3.



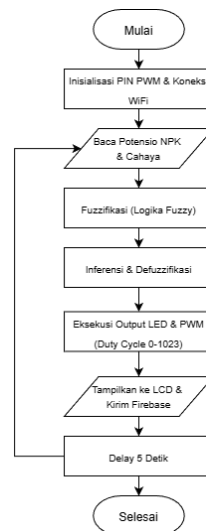
Gambar 3. Desain *Hardware*

Berdasarkan diagram rangkaian di atas dalam simulator Wokwi, konfigurasi kabel diatur sebagai berikut:

- 1) Sensor nutrisi NPK (potensiometer) terhubung ke pin ADC 34 pada ESP32.
- 2) Sensor kelembapan (potensiometer) terhubung ke pin ADC 35 pada ESP32.
- 3) Sensor panel surya (potensiometer) terhubung ke pin ADC 33 pada ESP32.
- 4) LED terhubung ke pin Digital 2 untuk memberi tahu status lampu secara visual.
- 5) LCD 20x4 terhubung secara paralel dengan konfigurasi pin RS (12), E (13), D4 (19), D5 (18), D6 (5), dan D7 (17).

c. Desain Proses

Desain ini mencakup proses membaca data dari sensor, mengambil keputusan secara otomatis dengan *fuzzy logic*, hingga menyimpan data ke layanan *cloud*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Desain Proses

Penjelasan flowchart pada Gambar 4 dimulai dengan simbol "Mulai" yang menunjukkan proses inisialisasi PIN PWM dan konfigurasi koneksi WiFi pada ESP32 di simulator Wokwi. Sistem kemudian membaca sinyal dari potensiometer yang digunakan untuk mengukur nilai nutrisi (NPK) dan intensitas cahaya matahari. Nilai tersebut diproses melalui tiga tahap yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi dengan metode Sugeno Orde-Nol untuk menentukan tingkat kecerahan lampu secara otomatis. Hasil keputusan tersebut diterapkan langsung melalui pengaturan Output LED & PWM dengan rentang *duty cycle* 0-1023, sehingga menghasilkan gradasi pencahayaan yang presisi. Data hasil keputusan beserta nilai sensor kemudian ditampilkan pada layar LCD serta dikirim ke database Firebase *Realtime Database* menggunakan protokol HTTP. Seluruh proses ini berlangsung terus-menerus dalam bentuk siklus loop dengan jeda waktu 5 detik agar pemantauan kondisi tanaman buah naga tetap *real-time* dan berkelanjutan. Untuk memperjelas basis pengetahuan dalam pengambilan keputusan otomatis, peneliti menyusun aturan (*rule base*) algoritma *fuzzy* sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Aturan (*Rule Base*)

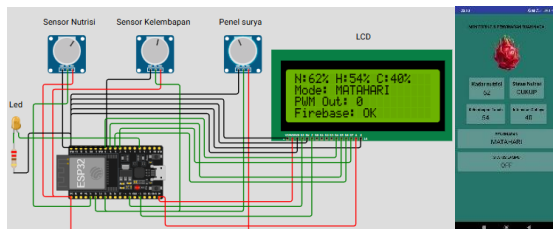
Kondisi Cahaya	Kondisi Nutrisi NPK	Output PWM	Status Lampu	Keterangan di LCD/Aplikasi
Bebas	Rendah < 50%	0	OFF	OPTIMASI-OFF
Terang $\geq 40\%$	Cukup $\geq 50\%$	0	OFF	MATAHARI
Redup $20\% \leq C < 40\%$	Cukup $\geq 50\%$	350	REDUP	LAMPU-REDUP
Gelap < 20%	Cukup $\geq 50\%$	1023	MAX	LAMPU-MAX

Tabel 1 menyajikan basis aturan (*rule base*) yang mengintegrasikan kondisi hara dan intensitas cahaya untuk menghasilkan keputusan optimasi penyinaran secara otomatis. Berbeda dengan pendekatan manual atau kontrol biner konvensional, penggunaan algoritma *fuzzy* Sugeno di sini memungkinkan sistem untuk memberikan intensitas cahaya yang proporsional melalui nilai PWM 350 pada kondisi redup $20\% \leq C < 40\%$, yang secara kualitatif meningkatkan efisiensi penggunaan daya listrik. Selain itu, mekanisme OPTIMASI-OFF saat kondisi nutrisi rendah < 50% memastikan bahwa energi tidak terbuang sia-sia pada

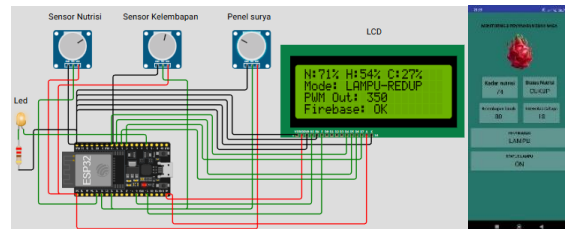
tanaman yang tidak dalam kondisi optimal untuk fotosintesis tambahan, sehingga memvalidasi efektivitas logika kontrol dalam lingkungan simulasi Wokwi.

3.2 Pengujian Simulasi Sistem

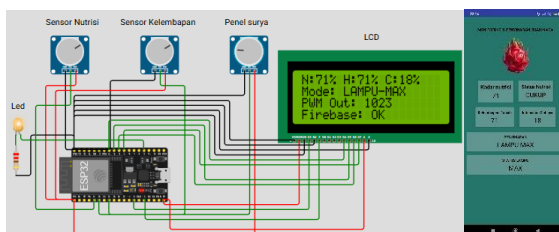
Pengujian Simulasi Sistem dilakukan pada simulator Wokwi dan Kodular. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mengeksekusi otomatisasi penyinaran secara proporsional berdasarkan kondisi hawa dan cahaya yang terbaca, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 5, 6, 7 dan 8.



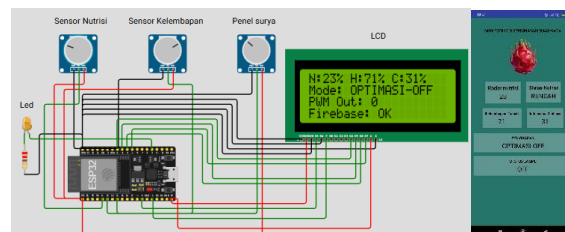
Gambar 5. Penyinaran Matahari



Gambar 6. Penyinaran Lampu Redup



Gambar 7. Penyinaran Lampu Maksimal



Gambar 8. Kondisi Optimasi OFF

Pada Gambar 5 sampai 8 menunjukkan empat skenario utama dalam validasi logika kontrol pada simulator Wokwi. Pada Gambar 5, kondisi cahaya terang $\geq 40\%$ direspon sistem dengan mematikan penyinaran (PWM 0) untuk efisiensi energi. Gambar 6 menunjukkan kondisi redup di mana sistem memberikan output PWM 350, membuktikan kemampuan algoritma dalam memberikan intensitas cahaya secara proporsional. Selanjutnya, Gambar 7 mengilustrasikan respon maksimal (PWM 1023) saat kondisi cahaya sangat rendah $< 20\%$. Sementara itu, Gambar 8 memvalidasi mekanisme Optimasi-OFF, di mana lampu tetap mati meskipun kondisi lingkungan gelap karena kadar nutrisi berada di bawah ambang batas optimal $< 50\%$. Seluruh data pada LCD simulator terbukti sinkron dengan tampilan aplikasi Kodular, yang mengonfirmasi bahwa transparansi pengujian dan pengiriman data melalui protokol HTTP berjalan stabil dan akurat.

3.3 Pengujian Sistem dan Validasi Logika

Pengujian sistem ini menggunakan metode *Black Box Testing* untuk memvalidasi fungsionalitas perangkat serta validasi logika kontrol untuk memastikan algoritma *fuzzy* berjalan sesuai rancangan. Fokus pengujian meliputi konektivitas data ke *cloud* dan akurasi *output* PWM berdasarkan variasi input sensor pada lingkungan simulasi. Hasil dari serangkaian pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji *Black Box Testing* dan Validasi Logika Kontrol

Uji	Deskripsi	Hasil yang Diharapkan	Keterangan
Konektivitas WiFi	Menghubungkan ESP32 ke WiFi virtual Wokwi.	Status "WiFi Terhubung" pada terminal/LCD.	Berhasil
Monitoring Sensor	Mengubah input potensiometer NPK/Cahaya.	Nilai tampil akurat di LCD dan aplikasi Kodular.	Berhasil

Validasi Fuzzy	Input Cahaya 30% & Nutrisi 60%.	LCD menampilkan "PWM Out: 350" (Redup).	Berhasil
Validasi Fuzzy	Input Cahaya 10% & Nutrisi 60%.	LCD menampilkan "PWM Out: 1023" (Max).	Berhasil
Validasi Optimasi	Input Nutrisi < 50% (Rendah).	LCD menampilkan "PWM Out: 0" (OFF).	Berhasil

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem berhasil memvalidasi alur logika kontrol secara transparan melalui *output* numerik PWM pada layar LCD simulator. Keberhasilan validasi pada poin 3 dan 4 membuktikan bahwa algoritma *fuzzy* tidak lagi bekerja secara biner, melainkan mampu menyesuaikan intensitas cahaya secara proporsional. Selain itu, pengujian pada skenario nutrisi rendah secara konsisten mematikan lampu (PWM 0) meskipun kondisi gelap, yang mengonfirmasi bahwa mekanisme optimasi energi telah berjalan sesuai dengan rancangan pada lingkungan simulasi Wokwi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan memvalidasi sistem otomatisasi penyinaran tambahan untuk tanaman buah naga melalui lingkungan simulasi virtual. Penggunaan algoritma *Fuzzy Logic* Sugeno Orde-Nol terbukti efektif dalam mentransformasikan parameter input hara dan cahaya menjadi respons penyinaran yang presisi. Berdasarkan hasil pengujian pada platform Wokwi, sistem mampu menghasilkan gradasi intensitas cahaya melalui nilai PWM 350 dan 1023, yang menunjukkan kemampuan adaptasi sistem terhadap kebutuhan tanaman secara proporsional. Selain itu, mekanisme Optimasi-OFF berhasil divalidasi sebagai fitur kunci dalam menjaga efisiensi energi, di mana penyinaran hanya akan aktif secara optimal jika kondisi nutrisi tanaman terpenuhi. Penting untuk ditegaskan bahwa penelitian ini merupakan studi perancangan dan simulasi sistem yang berfokus pada keandalan alur logika kontrol serta sinkronisasi data secara *real-time* ke Firebase dan aplikasi Android. Validasi yang dilakukan sepenuhnya berbasis pada lingkungan simulator untuk menguji transparansi algoritma dan belum diimplementasikan pada perangkat keras aktual di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Nasution, "Dampak Transformasi Digital pada Agribisnis : Tantangan dan Peluang bagi Petani di Indonesia," no. 2, 2024.
- [2] M. Data, W. Yahya, and A. Kurniawan, "Implementasi Teknologi Virtualisasi Berbasis Kontainer untuk Perangkat Internet of Things pada Pertanian Presisi," vol. 3, no. 01, pp. 1–7, 2019.
- [3] M. F. Zahra, "Manajemen Data Real-Time Untuk Aplikasi Internet Of Things (IOT)," no. 2, 2024.
- [4] M. D. Agustiningih *et al.*, "Nogo Osing Apps : Aplikasi Sistem Monitoring & Kontrol Buah," vol. 11, no. 1, pp. 145–154, 2024, doi: 10.25126/jtiik.20241117683.
- [5] O. Kafriandeni *et al.*, "Control and Monitoring System for Lighting on Dragon Fruit Plants," vol. 2, no. 2, 2025.
- [6] M. A. Manuhutu, A. Manuhutu, and L. J. Uktolseja, "Implementasi Metode Forward Chaining Pada Pengembangan Sistem Pakar Tani Tanaman Buah Naga," vol. 3, no. 4, pp. 1–9, 2025.
- [7] A. D. Saputra and I. G. A. Gunadi, "Efek Penggunaan Beberapa Sinar LED pada Tanaman Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) Effects of Using Multiple LED Beams on Red Dragon Fruit (*Hylocereus*," vol. 10, no. 2, pp. 201–210, 2020.
- [8] S. A. Anda, U. Fatimah, S. Sitorus, and B. Anwar, "Rancang Bangun Pencahayaan Tanaman Buah Naga Menggunakan Solar Cell Berbasis Internet Of Things," vol. 3, no. November, pp. 240–250, 2024.
- [9] D. Putri, S. Mayasari, and A. Rahman, "Implementasi Logika Fuzzy Metode Sugeno untuk Penentuan Tingkat Kepuasan Pelanggan," vol. 1, no. 2, 2025.
- [10] K. Widhiyanti, A. Karina, and P. Atmani, "Penerapan Metode Prototyping Dalam Perancangan Interface Sistem Unggah Portofolio Penerimaan Mahasiswa Baru Diploma ISI Yogyakarta Application of the Prototyping Method in Designing the Upload System Interface for Diploma New Student Admissions ISI Yogyakarta," vol. 10, no. 2, pp. 88–95, 2021, doi: 10.34148/teknika.v10i2.308.