

IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS PADA KENDALI PENCAHAYAAN SPEKTRUM DAN MONITORING pH TANAH UNTUK PERAWATAN BONSAI BERINGIN FICUS

Fazar Fasca Gumilang^{1*}, Iwan Rizal Setiawan², Agung Pambudi

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi; Jl. R. Syamsudin, S.H. No. 50, Sukabumi 43113 ; 0266-218345

³

Keywords:

ESP32;
Internet of Things;
Moving Average Filter;
Smart-Bonsai System.

Correspondent Email:

fazarfg25@gmail.com

Abstrak. Perawatan bonsai beringin (*Ficus*) di dalam ruangan menghadapi dua kendala utama, yaitu keterbatasan intensitas cahaya untuk fotosintesis dan pemantauan derajat keasaman (pH) media tanam yang masih dilakukan secara manual. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan Smart-Bonsai System, yaitu sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang mengendalikan pencahayaan spektrum secara otomatis sekaligus memantau pH tanah secara real-time. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor cahaya BH1750, sensor pH tanah, modul relay, dan lampu grow light, dengan pengembangan mengikuti model Prototyping. Data sensor dikirim melalui protokol HTTP POST ke basis data MySQL dan divisualisasikan pada dashboard web berbasis PHP Native. Hasil pengujian menunjukkan aktuator grow light aktif secara otomatis ketika intensitas cahaya berada di bawah ambang batas 485 lux hasil kalibrasi empiris, dan padam kembali ketika kebutuhan cahaya terpenuhi. Penerapan Moving Average Filter dengan ukuran jendela $N = 3$ meredam lonjakan pembacaan pH sebesar 2,1 satuan menjadi hanya 0,6 satuan pada keluaran terfilter. Pengujian transmisi menghasilkan rata-rata waktu respons 4,10 detik tanpa kehilangan paket data, sedangkan pengujian penerimaan pengguna memperoleh skor rata-rata 4,17 dari 5 atau 83,33% dengan kategori sangat baik, sehingga sistem dinilai layak diterapkan pada skala rumah tangga.



Copyright © 2026 The Author(s),
Published by Jurnal Informatika
dan Teknik Elektro Terapan. This
is an open-access article
distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. The maintenance of banyan bonsai (*Ficus*) in indoor environments faces two main obstacles, namely the limited light intensity required for photosynthesis and the manual monitoring of the growing medium acidity (pH). This study designs and implements the Smart-Bonsai System, an Internet of Things (IoT) based system that automatically controls spectrum lighting while monitoring soil pH in real time. The system was built using an ESP32 microcontroller, a BH1750 light sensor, a soil pH sensor, a relay module, and a grow light, and was developed following the Prototyping model. Sensor data are transmitted through the HTTP POST protocol into a MySQL database and visualised on a PHP Native web dashboard. The test results show that the grow light actuator is automatically activated when the light intensity falls below the empirically calibrated threshold of 485 lux and switched off once the light requirement is fulfilled. Applying a Moving Average Filter with a

window size of $N = 3$ reduced a pH reading spike of 2.1 units to only 0.6 units in the filtered output. Transmission testing produced an average response time of 4.10 seconds without packet loss, while user acceptance testing obtained an average score of 4.17 out of 5 or 83.33% in the very good category, indicating that the system is feasible for household-scale implementation.

1. PENDAHULUAN

Sektor pertanian dan perawatan tanaman hias terus mengalami transformasi melalui pemanfaatan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan. Perkembangan tersebut mendorong tumbuhnya budidaya tanaman hias bernilai ekonomi tinggi seperti bonsai pada skala rumah tangga, yang bahkan telah menjadi alternatif sumber pendapatan bagi petani milenial [1]. Bonsai beringin (*Ficus*) memiliki karakteristik unik yang menuntut standar perawatan sangat spesifik, terutama pada aspek pencahayaan dan kondisi media tanam [2]. Namun, sebagian besar penghobi menempatkan koleksinya di dalam ruangan (*indoor*) sehingga tanaman kehilangan paparan sinar matahari langsung, sementara proses pemeliharannya masih bergantung pada konsistensi dan estimasi visual pemiliknya.

Ditinjau dari fisiologi botani, tanaman hias berkayu jenis beringin memerlukan ambang batas iluminasi minimal agar fotosintesis tetap berlangsung. Kondisi ruang kerja maupun ruang keluarga dengan intensitas cahaya di bawah 500 lux dikategorikan sebagai defisiensi cahaya yang memerlukan pencahayaan tambahan (*supplemental lighting*) [3], [4]. Di sisi lain, derajat keasaman media tanam menentukan ketersediaan unsur hara bagi akar; pH yang terlalu asam maupun terlalu basa menghambat penyerapan nutrisi dan berujung pada kerusakan perakaran. Kedua parameter tersebut sulit dinilai secara kasat mata sehingga rawan menimbulkan kesalahan tindakan perawatan.

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi atas persoalan tersebut. Kemajuan teknologi sensor, jaringan komunikasi, dan komputasi memungkinkan perangkat saling terhubung, bertukar data, serta melakukan otomatisasi secara efisien pada berbagai sektor, termasuk pertanian dan rumah pintar [5], [6]. Sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis sensor kelembapan [7],

monitoring suhu dan pH air kolam budidaya [8], pemantauan kualitas tanah tanaman hias [9], maupun otomatisasi pH media tanam anggrek [10]. Pada aspek pencahayaan, penerapan IoT untuk kendali penyinaran *greenhouse* juga terbukti meningkatkan produktivitas tanaman [11], [12].

Meskipun demikian, terdapat kesenjangan yang belum terjawab oleh penelitian-penelitian tersebut. Pertama, sebagian besar sistem hanya memantau satu kelompok parameter, yaitu kelembapan atau pH saja, dan berhenti pada fungsi *monitoring* tanpa aktuasi balik terhadap kebutuhan cahaya tanaman. Kedua, penelitian pada objek bonsai umumnya masih terbatas pada penyiraman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah [13], sehingga kebutuhan spektrum cahaya untuk fotosintesis di lingkungan *indoor* belum tertangani. Ketiga, penentuan ambang batas (*threshold*) pencahayaan pada sistem terdahulu sering kali mengacu pada nilai literatur secara langsung tanpa kalibrasi empiris di lokasi penempatan tanaman. Keempat, laporan mengenai kinerja transmisi data, khususnya waktu respons pengiriman melalui protokol HTTP hingga data tervisualisasi pada antarmuka pengguna, masih jarang disajikan secara terukur padahal parameter ini menentukan kelayakan klaim *real-time* sebuah sistem IoT [14].

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan *Smart-Bonsai System*, yaitu sistem terintegrasi berbasis IoT yang menggabungkan kendali pencahayaan spektrum otomatis dan pemantauan pH tanah secara *real-time* pada bonsai beringin *indoor*. Tujuan penelitian ini adalah: (1) merancang dan membangun kendali otomatis lampu *grow light* berdasarkan ambang batas intensitas cahaya hasil kalibrasi empiris; (2) membangun sistem pemantauan pH media tanam berbasis ESP32 yang tervisualisasi pada *dashboard* web *PHP Native*; (3) menerapkan model *Prototyping* secara iteratif dalam pengembangan sistem; serta (4) menganalisis efisiensi transmisi data melalui protokol HTTP *POST* dengan

mengukur waktu respons sistem. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi dua parameter kendali dan pemantauan dalam satu purwarupa bonsai *indoor*, penetapan ambang batas cahaya melalui kalibrasi lapangan, serta penerapan *Moving Average Filter* pada sisi *firmware* untuk menstabilkan pembacaan sensor pH analog.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things merupakan paradigma yang menghubungkan objek fisik dengan jaringan sehingga mampu mengakuisisi, mengirim, dan memproses data tanpa intervensi manusia secara terus-menerus [5], [15]. Pada penelitian ini, unit pemroses utama menggunakan ESP32, yaitu mikrokontroler berbasis *System on Chip* yang telah dilengkapi modul Wi-Fi dan Bluetooth serta kanal *Analog to Digital Converter* sehingga sesuai untuk aplikasi akuisisi data nirkabel berdaya rendah [16]. Akuisisi intensitas cahaya dilakukan oleh sensor digital BH1750 yang berkomunikasi melalui protokol I2C dan memiliki karakteristik pembacaan linier pada rentang iluminasi ruangan [17], sedangkan derajat keasaman media tanam dibaca oleh sensor pH tanah bertipe analog.

Keluaran sensor analog rentan terhadap derau (*noise*) akibat ketidakmerataan kelembapan di sekitar *probe*. Salah satu teknik penapisan paling sederhana namun efektif untuk mengatasinya adalah *Moving Average Filter* (MAF), yang bekerja dengan meratakan sejumlah sampel terakhir sehingga lonjakan sesaat teredam tanpa membebani komputasi mikrokontroler [18]. Pada sisi komunikasi, protokol HTTP dipilih karena bersifat *request-response*, mudah diintegrasikan dengan peladen web, dan memadai untuk pengiriman data periodik dengan interval detik [14]. Data yang diterima disimpan pada basis data MySQL dan diolah oleh skrip PHP *Native*, kombinasi yang lazim digunakan pada aplikasi web ringan karena tidak memerlukan kerangka kerja tambahan [19], [20].

Pengembangan sistem menggunakan model *Prototyping*, yaitu pendekatan rekayasa perangkat lunak yang membangun purwarupa secara bertahap dan menyempurnakannya berdasarkan umpan balik pengguna. Model ini sesuai untuk sistem yang memadukan perangkat keras dan perangkat lunak karena

kesalahan integrasi dapat teridentifikasi sejak dini [21], [22]. Kelayakan hasil akhir diukur melalui pengujian fungsional *black box* dan *User Acceptance Testing* dengan instrumen skala Likert, yang banyak dipakai untuk mengukur persepsi pengguna terhadap sistem informasi [23].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan model *Prototyping* sebagai kerangka kerja pengembangan *Smart-Bonsai System*. Tahapan yang dijalankan meliputi analisis kebutuhan (*requirements analysis*), perancangan (*design*), pembuatan purwarupa (*prototyping*), evaluasi pengguna (*customer evaluation*), persetujuan pengguna (*customer approval*), tinjauan dan penyempurnaan (*review and refine*), pengembangan menyeluruh (*develop*), pengujian akhir (*test*), dan rilis (*release*). Siklus bersifat iteratif: hasil evaluasi purwarupa dikembalikan ke tahap penyempurnaan sebelum sistem dikembangkan secara penuh.

1. Perangkat dan Konfigurasi Sistem

Perangkat keras yang digunakan terdiri atas mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai unit pemroses, sensor cahaya BH1750, sensor pH tanah analog, modul *relay* satu kanal, lampu *grow light*, serta catu daya. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman *firmware*, MySQL sebagai basis data, dan PHP *Native* untuk *dashboard* pemantauan. Konfigurasi sambungan pin antara komponen dan mikrokontroler ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi pin perangkat keras

Komponen	Pin komponen	Pin ESP32	Keterangan
Sensor BH1750	VCC / GND	3V / GND	Catu daya sensor
	SCL / SDA	GPIO 22 / 21	Jalur I2C
Modul relay	VCC / GND	5V / GND	Catu daya modul
	IN	GPIO 26	Pemicu kendali
	COM & NO	Kabel lampu	Saklar beban

Komponen	Pin komponen	Pin ESP32	Keterangan
Sensor pH tanah	VCC (kontrol)	GPIO 13	Saklar daya sensor
	Analog out	GPIO 34	Pembacaan ADC

2. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui empat teknik. Observasi dilakukan terhadap praktik perawatan bonsai konvensional untuk mengidentifikasi kendala pemilik. Wawancara dilaksanakan bersama penghobi bonsai guna memahami kebutuhan durasi penyinaran dan gejala tanaman pada kondisi media tanam yang tidak ideal. Studi pustaka digunakan untuk menetapkan rentang pH ideal dan ambang iluminasi acuan. Kuesioner disebarkan dalam dua tahap, yaitu pra-survei kepada 33 responden penghobi tanaman hias di wilayah Sukabumi untuk memvalidasi urgensi masalah, dan *User Acceptance Testing* kepada pengguna utama purwarupa setelah sistem terpasang.

3. Metode Pengujian

Pengujian fungsional dilakukan dengan pendekatan *black box testing*, yaitu memberikan variasi masukan fisik pada lingkungan sensor dan mengamati kesesuaian keluaran sistem tanpa menelaah kode internal. Pengujian kinerja jaringan dilakukan dengan mencatat selisih waktu antara pengiriman *payload* oleh ESP32 dan tampilnya data pada peramban pengguna selama sepuluh percobaan. Untuk menstabilkan pembacaan sensor pH analog diterapkan *Moving Average Filter* dengan ukuran jendela N sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (1).

$$pH_{\text{filter}}(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} pH(n-i), \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

dengan $pH(n)$ adalah sampel pembacaan ke- n dan N adalah jumlah sampel dalam jendela penapisan. Pada penelitian ini digunakan $N = 3$ agar respons sistem tetap cepat namun lonjakan sesaat teredam. Selanjutnya, hasil kuesioner dihitung menggunakan Persamaan (2).

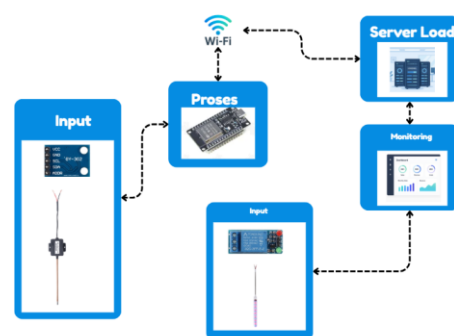
$$\text{Persentase} = \frac{(\text{Total Skor} / \text{Skor Maksimal}) \times 100\%}{(2)}$$

Skor maksimal pra-survei adalah 165, diperoleh dari skor tertinggi skala Likert (5) dikalikan jumlah responden (33). Sistem dinyatakan diterima apabila persentase yang diperoleh berada pada kategori baik, yaitu tidak kurang dari 80%.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Arsitektur Sistem

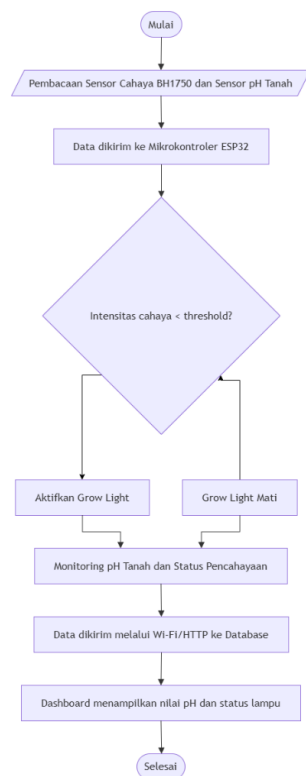
Arsitektur sistem dirancang dengan memisahkan fungsi akuisisi data di sisi tanaman dan fungsi visualisasi di sisi peladen. Blok masukan terdiri atas sensor pH tanah dan sensor BH1750 yang terhubung langsung ke ESP32; blok pemrosesan berupa ESP32 yang mengevaluasi logika ambang batas; blok keluaran berupa modul *relay* dan lampu *grow light*; serta blok pemantauan berupa peladen web lokal, basis data MySQL, dan *dashboard*. Seluruh pertukaran data antarblok berlangsung melalui jaringan Wi-Fi lokal dengan protokol HTTP. Gambaran menyeluruh arsitektur sistem disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur Smart-Bonsai System

2. Logika Kendali Pencahayaan

Logika program pada mikrokontroler disusun secara berurutan. Proses diawali dengan inisialisasi pin dan koneksi Wi-Fi, dilanjutkan pembacaan intensitas cahaya dari BH1750 dan tegangan analog dari sensor pH. Logika bersyarat mengevaluasi apakah nilai iluminasi berada di bawah ambang batas. Apabila terpenuhi, ESP32 mengirim sinyal digital untuk mengaktifkan *relay* sehingga lampu *grow light* menyala; sebaliknya *relay* dinonaktifkan. Seluruh parameter beserta status lampu kemudian dikirim ke basis data melalui HTTP *POST*. Alur logika tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir logika kendali sistem

3. Implementasi Perangkat Keras

Realisasi perangkat keras dilakukan dengan menyusun komponen elektronik di atas papan sirkuit yang kemudian dimasukkan ke dalam kotak pelindung (*enclosure*) berbahan plastik tertutup. Perlindungan ini merupakan hasil penyempurnaan pada iterasi kedua setelah ditemukan risiko korsleting akibat air siraman pada purwarupa pertama. Sensor BH1750 ditempatkan menghadap tajuk daun agar merepresentasikan cahaya yang benar-benar diterima tanaman, sedangkan *probe* sensor pH ditancapkan tegak lurus ke media tanam. Lampu *grow light* dipasang pada jarak 15–30 cm di atas kanopi daun. Hasil perakitan akhir ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Purwarupa akhir dengan enclosure pelindung

4. Antarmuka Dashboard Pemantauan

Antarmuka *dashboard* dibangun menggunakan kombinasi HTML, CSS, dan PHP *Native* tanpa kerangka kerja tambahan demi menjaga efisiensi penggunaan memori peladen. Halaman utama menampilkan indikator numerik intensitas cahaya, nilai pH tanah, dan status operasional lampu dalam bentuk *gauge chart* yang diperbarui secara dinamis dari basis data MySQL. Halaman riwayat menyajikan grafik garis parameter cahaya dan pH beserta tabel sepuluh data terakhir lengkap dengan penanda waktu. Tampilan *dashboard* utama ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Antarmuka dashboard web berbasis PHP Native

5. Penetapan Ambang Batas Sistem

Ambang batas pH tanah ditetapkan berdasarkan rentang ideal pertumbuhan bonsai beringin. Sistem mengklasifikasikan pembacaan ke dalam tiga kategori beserta indikator warna pada *dashboard* sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi ambang batas pH media tanam

Nilai pH	Status	Tindakan sistem
< 5,5	Asam	Menampilkan status kritis karena penyerapan unsur hara terganggu (indikator merah)
5,5 – 6,5	Optimal	Menampilkan kondisi stabil karena pH berada pada rentang ideal (indikator hijau)
> 6,5	Basa	Menampilkan status waspada karena ketersediaan unsur hara menurun (indikator oranye)

Ambang batas intensitas cahaya ditetapkan sebesar 485 lux. Nilai ini diperoleh melalui kalibrasi dan pengukuran empiris menggunakan sensor BH1750 pada lokasi penempatan bonsai, kemudian diselaraskan dengan rujukan fisiologis yang menyatakan bahwa iluminasi di bawah 500 lux tergolong defisiensi cahaya bagi tanaman hias *indoor* [3], [4]. Penetapan berbasis kondisi riil ini penting karena tingkat iluminasi ruangan sangat bervariasi antarlokasi. Logika kendali yang dihasilkan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Logika ambang batas intensitas cahaya

Intensitas	Status	Tindakan sistem
< 485 lux	Kurang cahaya	ESP32 mengaktifkan relay sehingga lampu grow light berstatus ON
≥ 485 lux	Cahaya optimal	Relay dinonaktifkan sehingga lampu grow light berstatus OFF

6. Penerapan Moving Average Filter

Pada evaluasi purwarupa pertama teridentifikasi lonjakan tajam pada grafik pembacaan sensor pH analog yang disebabkan ketidakmerataan kelembapan di sekitar *probe*. Untuk meredam gangguan tersebut diterapkan MAF dengan ukuran jendela $N = 3$ sesuai Persamaan (1). Hasil penapisan terhadap sepuluh sampel berurutan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil penapisan data pH dengan MAF ($N = 3$)

No	Waktu	pH asli	pH terfilter
1	20:40:50	6,7	—
2	20:41:55	6,0	—
3	20:43:00	7,4	6,70
4	20:44:06	6,9	6,77

No	Waktu	pH asli	pH terfilter
5	20:45:11	5,8	6,70
6	20:46:16	7,1	6,60
7	20:47:21	6,5	6,47
8	20:48:27	6,2	6,60
9	20:49:22	6,2	6,30
10	20:50:38	8,3	6,90

Sebagai contoh perhitungan, data ketiga memiliki pH asli 7,4 dengan dua sampel sebelumnya 6,7 dan 6,0 sehingga menghasilkan keluaran terfilter $(6,7 + 6,0 + 7,4)/3 = 6,70$. Efek penapisan paling terlihat pada data kesepuluh: sensor mendeteksi lonjakan dari 6,2 menjadi 8,3 atau sebesar 2,1 satuan, sedangkan keluaran terfilter hanya bergerak dari 6,30 menjadi 6,90 atau 0,6 satuan. Dengan demikian MAF berhasil menekan amplitudo derau hingga sekitar 71% tanpa menghilangkan kecenderungan data, sejalan dengan karakteristik penapis rata-rata bergerak sebagai peredam derau acak yang optimal pada domain waktu [18].

7. Pengujian Fungsional

Pengujian *black box* dilakukan terhadap lima skenario utama yang mewakili keseluruhan alur kerja sistem, mulai dari inisialisasi perangkat hingga penyajian data pada peramban. Rangkuman hasil pengujian disajikan pada Tabel 5. Pada skenario otomasi, sensor BH1750 ditutup secara fisik hingga pembacaan iluminasi turun di bawah 485 lux; ESP32 seketika mengirim logika HIGH ke modul *relay* sehingga lampu menyala dan status pada halaman web berubah menjadi ON. Pada saat yang sama sensor pH mencatat nilai 6,2 yang termasuk kategori optimal bagi *Ficus*.

Tabel 5. Hasil pengujian fungsional (black box testing)

Skenario uji	Hasil aktual	Status
Inisialisasi perangkat	Perangkat berhasil booting dan memperoleh alamat IP lokal	Berhasil
Akuisisi nilai pH	Nilai pH berubah responsif pada serial monitor dan halaman web	Berhasil
Otomasi grow light	Lampu menyala seketika dan status web berubah menjadi ON	Berhasil

Skenario uji	Hasil aktual	Status
Transmisi HTTP POST	Query INSERT tereksekusi tanpa kehilangan paket data	Berhasil
Akses dashboard web	Seluruh data log dan grafik tren tertampil dinamis	Berhasil

8. Pengujian Waktu Respons Transmisi Data

Kinerja transmisi diukur dengan mencatat selisih waktu antara pengiriman data oleh ESP32 dan tampilnya data pada peramban. Hasil sepuluh percobaan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian waktu respons transmisi data

Percobaan	Waktu kirim	Waktu tampil	Respons (detik)
1	14:30:00	14:30:04	4
2	14:35:00	14:35:03	3
3	14:40:00	14:40:04	4
4	14:45:00	14:45:05	5
5	14:50:00	14:50:03	3
6	14:55:00	14:55:04	4
7	15:00:00	15:00:06	6
8	15:01:12	15:01:16	4
9	15:01:20	15:01:25	5
10	15:02:10	15:02:13	3
Rata-rata	—	—	4,10

Rata-rata waktu respons sebesar 4,10 detik dengan simpangan yang sempit, yaitu antara 3 hingga 6 detik, dan seluruh percobaan berlangsung tanpa kehilangan paket data. Nilai ini konsisten dengan karakteristik protokol HTTP yang bersifat *request-response* sehingga menanggung *overhead* pembentukan koneksi pada setiap pengiriman [15]. Interval pengiriman ditetapkan 5 detik setelah pada iterasi pertama interval 1 detik terbukti menimbulkan penumpukan antrian permintaan dan beban berlebih pada peladen MySQL lokal. Dengan demikian, penyesuaian interval pada tahap *review and refine* tidak hanya menurunkan beban jaringan, tetapi juga menjaga konsistensi penyimpanan data.

9. Pengujian Penerimaan Pengguna

Pra-survei terhadap 33 responden dilakukan sebelum purwarupa diperlihatkan, dengan tujuan memvalidasi urgensi permasalahan perawatan bonsai konvensional. Rekapitulasi hasilnya disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil pra-survei (n = 33)

Pernyataan	Total skor	Persentase
Manfaat sistem IoT bagi tanaman bonsai	136	82,42%
Otomasi grow light menggantikan peran sinar matahari	127	76,97%
Pemantauan pH melalui dashboard lebih akurat	127	76,97%
Sistem membantu mengetahui kondisi media tanam	135	81,82%
Sistem memudahkan perawatan saat pemilik bepergian	142	86,06%
Rata-rata keseluruhan	133,40	80,85%

Nilai rata-rata 80,85% menunjukkan bahwa mayoritas responden menyepakati adanya kebutuhan nyata terhadap sistem otomasi perawatan bonsai. Selanjutnya, *User Acceptance Testing* dilaksanakan terhadap pengguna utama, yaitu pemilik bonsai beringin tempat purwarupa dipasang, setelah pengguna mengoperasikan sistem secara langsung. Enam aspek dinilai menggunakan skala Likert 1–5 seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil User Acceptance Testing

Aspek yang diukur	Skor	Kategori
Akurasi sensor pH	4	Baik
Kepekaan sensor cahaya	3	Cukup
Ketepatan otomasi aktuator	5	Sangat baik
Kemudahan penggunaan dashboard	4	Baik
Efektivitas fungsional sistem	5	Sangat baik
Kelayakan penerapan sistem	4	Baik
Total / rata-rata	25 / 4,17	83,33%

Total skor yang diperoleh adalah 25 dari skor maksimal 30, atau rata-rata 4,17 dari 5 yang setara dengan 83,33% dan termasuk kategori sangat baik. Penilaian tertinggi

diberikan pada ketepatan otomasi aktuator dan efektivitas fungsional sistem, yang menegaskan bahwa logika kendali pada ESP32 telah berjalan sesuai perancangan. Catatan evaluasi terdapat pada aspek kepekaan sensor cahaya dengan skor 3, karena pembacaan iluminasi masih memerlukan penyesuaian ketika posisi sensor bergeser terhadap tajuk daun.

10. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi kendali pencahayaan dan pemantauan pH dalam satu purwarupa dapat berjalan stabil pada skala rumah tangga. Dibandingkan penelitian terdahulu yang menerapkan IoT pada bonsai namun terbatas pada penyiraman berbasis sensor kelembapan [14], sistem yang dikembangkan menambahkan dimensi aktuasi cahaya yang justru menjadi faktor pembatas utama pada penempatan *indoor*. Dibandingkan sistem pemantauan pH pada komoditas lain yang berhenti pada fungsi *monitoring* [9], [10], [11], sistem ini melengkapinya dengan aktuasi otomatis sehingga informasi yang ditampilkan langsung berkorelasi dengan tindakan perawatan.

Kontribusi metodologis penelitian ini terletak pada dua penyempurnaan yang lahir dari siklus *Prototyping*. Pertama, penerapan MAF pada sisi *firmware* menekan derau pembacaan pH sebesar 71% sehingga grafik riwayat menjadi layak dibaca oleh pengguna awam; pendekatan ini lebih hemat sumber daya dibandingkan penapisan di sisi peladen karena data yang dikirim sudah bersih. Kedua, penetapan ambang batas 485 lux melalui kalibrasi empiris di lokasi penempatan menghasilkan pemicuan yang lebih presisi dibandingkan penggunaan nilai literatur secara langsung, mengingat kondisi iluminasi tiap ruangan berbeda. Rata-rata waktu respons 4,10 detik juga memberikan bukti terukur bahwa klaim penyajian *real-time* pada sistem ini dapat dipertanggungjawabkan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu dicatat. Pengujian penerimaan pengguna pasca implementasi hanya melibatkan satu responden sebagai pengguna utama purwarupa, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi meskipun telah didahului pra-survei terhadap 33 responden. Selain itu, sensor pH tanah bertipe analog belum dikalibrasi terhadap larutan buffer standar sehingga akurasi

absolutnya belum terverifikasi, dan sistem masih bergantung sepenuhnya pada ketersediaan jaringan Wi-Fi lokal serta pasokan listrik jala-jala.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Sistem kendali otomatis lampu *grow light* berhasil dibangun menggunakan ESP32 dan modul *relay* satu kanal. Sistem mengaktifkan lampu ketika sensor BH1750 membaca intensitas cahaya di bawah ambang batas 485 lux hasil kalibrasi empiris, dan mematikannya kembali ketika kebutuhan cahaya telah terpenuhi.
2. Sistem pemantauan pH media tanam berhasil diimplementasikan dan divisualisasi secara *real-time* melalui *dashboard* berbasis PHP *Native* dengan penyimpanan riwayat pada basis data MySQL. Penerapan *Moving Average Filter* $N = 3$ meredam lonjakan pembacaan dari 2,1 satuan menjadi 0,6 satuan atau sekitar 71%.
3. Model *Prototyping* terbukti efektif memandu pengembangan sistem. Melalui siklus evaluasi dan penyempurnaan, kendala derau data, beban peladen akibat interval pengiriman yang terlalu rapat, serta kerentanan perangkat terhadap air berhasil diatasi sebelum sistem dioperasikan penuh.
4. Transmisi data melalui protokol HTTP *POST* menunjukkan kinerja yang stabil dengan rata-rata waktu respons 4,10 detik tanpa kehilangan paket data, sedangkan penerimaan pengguna memperoleh skor 4,17 dari 5 atau 83,33% dengan kategori sangat baik.

Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan sumber daya mandiri berbasis panel surya, redundansi jaringan melalui modul seluler atau LoRa, kalibrasi sensor pH terhadap larutan buffer standar, serta penggantian ambang batas tetap dengan pendekatan adaptif berbasis *machine learning* atau logika *fuzzy*. Pengujian penerimaan pengguna juga perlu diperluas kepada jumlah responden yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas

Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi atas dukungan fasilitas selama penelitian, serta kepada para penghobi bonsai di wilayah Sukabumi yang telah bersedia menjadi responden dan menyediakan objek penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. dewi O. Sativa and A. D. Serdani, "Bonsai Beringin Dan Serut Sebagai Alternatif Pendapatan Petani Milenial Di Masa Pandemi Covid 19," *VIABEL J. Ilm. Ilmu-Ilmu Pertan.*, vol. 16, no. 1, pp. 21–28, 2022, doi: 10.35457/viabel.v16i1.1800.
- [2] Y. M. Pratama, "Potensi Desa Agrowisata Bonsai Kalurahan Tepus, Kapanewon Tepus, Kabupaten Gunungkidul, D. I. Yogyakarta," *J. Atma Inovasia*, vol. 3, no. 6, pp. 455–462, Nov. 2023, doi: 10.24002/jai.v3i6.5944.
- [3] S. Sugano, M. Ishii, and S. I. Tanabe, "Adaptation of indoor ornamental plants to various lighting levels in growth chambers simulating workplace environments," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-67877-y.
- [4] Mobilane, "The Importance of Light for Interior Planting."
- [5] R. Chataut, A. Phoummalayvane, and R. Akl, "Unleashing the Power of IoT: A Comprehensive Review of IoT Applications and Future Prospects in Healthcare, Agriculture, Smart Homes, Smart Cities, and Industry 4.0," *Sensors*, vol. 23, no. 16, 2023, doi: 10.3390/s23167194.
- [6] U. Iot, "Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors," 2020.
- [7] N. Effendi, W. Ramadhani, and F. Farida, "Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT," *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.)*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, Aug. 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [8] N. Badruzzaman, H. Bhakti, and O. S. Bachri, "Implementasi Sistem Monitoring Suhu Dan Ph Air Kolam Budidaya Ikan Lele Menggunakan Arduino Esp8266 Dan Arduino Ide," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.5355.
- [9] Z. R. Tembusai and B. Armando, "Sistem Monitoring Kualitas Tanah Tanaman Hias Berbasis IoT dengan Sensor pH," *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. 2, pp. 2030–2035, 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i2.14364.
- [10] P. N. H. Komaria *et al.*, "Automation of Orchid Soil pH Using IoT-Based Soil pH Sensor (SKJ-001)," *J. Phys. Soc. Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 98–115, 2025, [Online]. Available: <https://journal.fisika.or.id/index.php/jpsi/article/view/47>
- [11] Melani Widyaningsih, Priswanto, and H. Susilawati, "Peningkatan Produktivitas Tanaman Melalui Sistem Pencahayaan Greenhouse Berbasis Internet of Things," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 24, no. 2, pp. 189–200, 2025, doi: 10.31358/techne.v24i2.594.
- [12] M. Suhairi and Halimah Tuzsakhiah, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Intensitas Cahaya dan Suhu Pada Greenhouse BerBasis IoT," *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 86–93, 2023, doi: 10.35143/elementer.v9i1.5888.
- [13] A. R. Al-amin, S. Nugraha, R. Iman, and Paduloh, "APPLICATION OF AUTOMATIC WATERING SYSTEM BASED ON SOIL MOISTURE SENSOR FOR BONSAI PLANTS," *Int. J. Soc. Rev.*, vol. 2, no. 1, pp. 245–257, 2026, [Online]. Available: <https://injoqast.net/index.php/INJOSER/article/view/857>
- [14] W. Łasocha and M. Badurowicz, "Comparison of WebSocket and HTTP protocol performance," *J. Comput. Sci. Inst.*, vol. 19, no. January, pp. 67–74, Jun. 2021, doi: 10.35784/jcsi.2452.
- [15] T. L. Narayana *et al.*, "Advances in real time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors," *Heliyon*, vol. 10, no. 7, p. e28195, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28195.
- [16] S. A. Arrahma and R. Mukhaiyar, "Pengujiian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 60–66, Feb. 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.347.
- [17] D. Hidayat and P. E. Broto, "Analisis Karakteristik Sensor BH1750 Berbasis Mikrokontroler pada Pengukuran Intensitas Cahaya," *J. Sains Fis.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–11, 2025, doi: 10.24252/sainfis.v5i2.63950.
- [18] S. W. Smith, "Moving Average Filters," *Digit. Signal Process.*, pp. 277–284, 2003, doi: 10.1016/b978-0-7506-7444-7/50052-2.
- [19] F. Sinlae, I. Maulana, F. Setiyansyah, and M. Ihsan, "Pengenalan Pemrograman Web: Pembuatan Aplikasi Web Sederhana Dengan PHP dan MYSQL," *J. Siber Multi Disiplin*, vol. 2, no. 2, pp. 68–82, 2024, doi: 10.38035/jsmd.v2i2.156.
- [20] A. D. F. Fikri, "PENGEMBANGAN

- SISTEM PERIZINAN SANTRI BERBASIS WEBSITE MENGGUNAKAN PHP NATIVE DI PONDOK PESANTREN RAUDLATUL MUSTHOFA,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, Jul. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.7108.
- [21] K. A. Obayes and A. Hamzah, “Using of prototyping in develop an employee information management,” *Meas. Sensors*, vol. 24, no. November, p. 100557, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.measen.2022.100557.
- [22] A. H. Obaid, “Using Prototypes in Agile Software Development,” no. 3, pp. 23–38.
- [23] N. Alamsyah, M. Muflih, M. E. Rosadi, A. Ariani, and R. Agustina, “Analisis Kepuasan Pengguna (User-Centered) Sistem E-Commerce Terhadap Keputusan Pembelian Online Pada Mahasiswa FTI UNISKA Banjarmasin,” *Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput.*, vol. 13, no. 1, pp. 104–112, 2024, doi: 10.30591/smartcomp.v13i1.5933.