

MONITORING PH TANAH BERBASIS IoT PADA PERTANIAN CERDAS PEMBIBITAN TANAMAN ANGGUR MERAH DI DESA KATONSARI DEMAK

Fiki Irvan Maulana¹, Adam Adi Saputra², Adhi Sulistya³, Gunawan⁴

^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung; Jl. Kaligawe Raya No. Km 04, Semarang

Keywords:

Internet of Things, ESP32, pH tanah, kelembapan tanah, Blynk, smart farming.

Correspondent Email:

30602200001@std.unissula.a
c.id

Abstrak. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong penerapan konsep *smart farming* dalam mendukung pengelolaan budidaya tanaman. Pembibitan tanaman anggur merah (*Red Globe*) di desa Katonsari Demak seperti pada umumnya daerah pertanian, kondisi pH dan kelembapan tanah merupakan parameter penting yang memengaruhi ketersediaan unsur hara, pertumbuhan akar, dan kualitas bibit. Di lapangan, proses pemantauan kedua parameter tersebut masih dilakukan secara manual sehingga kurang efisien, membutuhkan waktu dan tenaga, serta belum mampu menyediakan informasi secara berkelanjutan. Rancang bangun ini bertujuan mengimplementasikan sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32. Pengembangan pertanian cerdas ini menggunakan Metode Waterfall, yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem dengan *black box testing*, serta evaluasi hasil. Sistem mengintegrasikan sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah YL-69 sebagai perangkat akuisisi data, LCD I2C 16×4 sebagai media tampilan lokal, serta aplikasi Blynk sebagai media monitoring jarak jauh melalui jaringan Wi-Fi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH memiliki tingkat kesalahan maksimum sebesar 2,5% dibandingkan alat referensi, sedangkan sensor kelembapan mampu membedakan kondisi tanah kering, normal, dan basah dengan nilai pembacaan masing-masing 13%, 45%, dan 90%. Sistem berfungsi dengan menampilkan data secara real-time pada LCD maupun aplikasi Blynk.



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 development of the Internet of Things (IoT) has encouraged the adoption of smart farming to improve agricultural management. In Red Globe grape seedling cultivation in Katonsari Village, Demak, as in many agricultural areas, soil pH and soil moisture are essential parameters that influence nutrient availability, root development, and seedling quality. However, these parameters are still commonly monitored manually, making the process inefficient, time-consuming, labor-intensive, and unable to provide continuous real-time information. This work aims to implement an IoT-based soil pH and soil moisture monitoring system using the ESP32 microcontroller. The system was developed using the Waterfall methodology, which consists of requirements analysis, system design, hardware and software implementation, system testing using the black-box testing method, and system evaluation. The proposed system integrates a soil pH sensor and a YL-69 soil moisture sensor as data acquisition devices, a 16×4 I2C LCD for local data display, and the Blynk application for remote monitoring through a Wi-Fi network. Experimental results show that the soil pH sensor achieved a maximum measurement error of 2.5% compared with the reference instrument, while the soil moisture sensor successfully distinguished dry,

normal, and wet soil conditions with readings of 13%, 45%, and 90%, respectively. Furthermore, the system successfully operated by displaying monitoring data in real time on both the LCD and the Blynk application.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi pada sektor pertanian menuju konsep *smart farming* [8]. Melalui integrasi sensor, mikrokontroler, dan jaringan internet, kondisi lingkungan budidaya dapat dipantau secara *real-time* sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat [1]. Salah satu parameter penting dalam budidaya tanaman adalah kondisi tanah, terutama nilai pH dan kelembapan tanah yang berpengaruh terhadap penyerapan unsur hara, pertumbuhan akar, serta produktivitas tanaman [15].

Pada budidaya tanaman anggur, kondisi pH dan kelembapan tanah perlu dipertahankan pada kisaran tertentu agar pertumbuhan tanaman berlangsung optimal [13]. Namun, pemantauan kondisi tanah di lapangan masih banyak dilakukan secara manual menggunakan alat ukur konvensional. Metode tersebut memerlukan waktu, tenaga, dan hanya memberikan informasi sesaat sehingga kurang efektif untuk pemantauan secara berkelanjutan. Akibatnya, petani sering mengalami keterlambatan dalam menentukan tindakan penyiraman maupun pengelolaan media tanam [11].

Ella *et al.* mengembangkan sistem SMARTSOIL berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor *soil moisture* yang mampu melakukan monitoring kelembapan tanah secara *real-time* [1]. Roziqin *et al.* merancang sistem penyiraman otomatis berbasis ESP32 yang memanfaatkan sensor kelembapan tanah untuk mendukung proses irigasi secara otomatis [2]. Selain itu, penulis pada referensi [4] mengembangkan sistem monitoring pH, suhu, dan kelembapan tanah berbasis IoT yang terhubung dengan *web dashboard* sehingga kondisi media tanam dapat dipantau dari jarak jauh [4]. Meskipun demikian, sebagian besar sistem yang telah dikembangkan masih berfokus pada satu parameter utama atau menggunakan konfigurasi sensor yang relatif kompleks sehingga meningkatkan biaya implementasi dan pemeliharaan sistem [6].

Berdasarkan berbagai studi tersebut, sebagian besar sistem monitoring masih berfokus pada satu parameter tanah atau menggunakan konfigurasi sensor yang cukup kompleks. Selain itu, implementasi sistem monitoring yang mengintegrasikan sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah pada pembibitan tanaman anggur Red Globe masih sangat terbatas. Oleh karena itu, rancang bangun sistem yang diusulkan mengintegrasikan kedua sensor tersebut menggunakan mikrokontroler ESP32 sehingga mampu memantau kondisi media tanam secara *real-time* untuk mendukung pengelolaan pembibitan yang lebih efektif.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah dalam satu titik pengukuran (*single-line monitoring*) berbasis Internet of Things (IoT). Data hasil pembacaan sensor dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju platform monitoring sehingga dapat diakses secara *real-time* menggunakan *smartphone* [5]. Pendekatan ini menghasilkan sistem yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan pada lahan pembibitan dengan karakteristik tanah yang relatif homogen.

Kontribusi utama rancang bangun ini adalah menghasilkan sistem monitoring yang mampu mengukur dua parameter penting tanah secara simultan, menampilkan data secara *real-time*, serta menyediakan alternatif solusi dengan kompleksitas perangkat yang lebih rendah dibandingkan sistem multi-sensor. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat membantu petani dalam memantau kondisi tanah secara lebih efektif, meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan, serta mendukung implementasi *smart farming* berbasis Internet of Things [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga perangkat tersebut mampu mengumpulkan, mengirimkan,

dan menerima data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung [8]. Sistem IoT umumnya terdiri atas sensor sebagai perangkat akuisisi data, mikrokontroler sebagai pusat pemrosesan, media komunikasi, layanan penyimpanan data (*cloud*), serta aplikasi yang digunakan untuk menampilkan informasi kepada pengguna [1].

Dalam bidang pertanian, teknologi IoT telah banyak dimanfaatkan untuk mendukung penerapan konsep *smart farming* [11]. Melalui teknologi ini, berbagai parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan pH tanah dapat dipantau secara *real-time* sehingga petani dapat mengambil keputusan secara lebih cepat dan tepat. Penerapan IoT juga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, pupuk, serta tenaga kerja sehingga produktivitas pertanian dapat ditingkatkan.

2.2 Tanaman Anggur

Tanaman anggur merupakan tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan sebagai buah konsumsi maupun bahan baku industri makanan dan minuman [12]. Tanaman ini mampu tumbuh pada daerah beriklim tropis maupun subtropis dengan syarat lingkungan tertentu. Di Indonesia, budidaya anggur terus berkembang seiring meningkatnya minat masyarakat terhadap komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi.

Menurut Xiang et al., pertumbuhan dan perkembangan tanaman anggur dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti intensitas cahaya matahari, suhu udara, kelembapan, serta kondisi fisik dan kimia tanah [12]. Sementara itu, Kavitha dan Shamini menjelaskan bahwa media tanam yang memiliki aerasi baik, drainase yang memadai, serta kandungan unsur hara yang cukup akan mendukung pertumbuhan akar dan meningkatkan kualitas tanaman anggur [13]. Selain itu, penggunaan batang bawah (*rootstock*) yang sesuai juga berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif dan kualitas buah anggur [14].

2.3 Kualitas Tanah pada Budidaya Anggur

Kualitas tanah merupakan salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan budidaya

tanaman anggur [15]. Parameter yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman adalah nilai pH dan kelembapan tanah.

Menurut Cataldo et al., nilai pH tanah menentukan ketersediaan unsur hara yang dapat diserap oleh akar tanaman [15]. Tanaman anggur umumnya tumbuh optimal pada kisaran pH 5,5–7,0. Tanah yang terlalu asam dapat meningkatkan kelarutan logam seperti aluminium yang bersifat toksik bagi akar tanaman, sedangkan tanah yang terlalu basa menyebabkan beberapa unsur hara mikro sulit diserap sehingga pertumbuhan tanaman menjadi kurang optimal.

Selain nilai pH, kelembapan tanah juga berperan penting dalam menjaga aktivitas fisiologis tanaman [13]. Tanah yang terlalu kering dapat menyebabkan tanaman mengalami kekurangan air sehingga proses fotosintesis menurun. Sebaliknya, tanah yang terlalu basah dapat mengurangi kandungan oksigen di sekitar akar dan meningkatkan risiko pembusukan akar maupun serangan penyakit. Oleh karena itu, kondisi pH dan kelembapan tanah perlu dipantau secara berkala agar pertumbuhan tanaman anggur tetap optimal.

2.4 ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler 32-bit yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan telah dilengkapi modul Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n serta Bluetooth sehingga sangat sesuai digunakan pada aplikasi Internet of Things (IoT) [8].

Menurut Roziqin et al., ESP32 memiliki prosesor *dual-core* Tensilica LX6 dengan frekuensi kerja hingga 240 MHz, memori SRAM sebesar 520 KB, serta mendukung berbagai antarmuka komunikasi seperti GPIO, ADC, DAC, UART, SPI, PWM, dan I2C [2]. Kemampuan tersebut memungkinkan ESP32 melakukan pembacaan data sensor, pengolahan data, sekaligus pengiriman informasi menuju platform monitoring secara *real-time*.

Pada sistem yang dikembangkan, ESP32 digunakan sebagai pusat kendali untuk membaca data dari sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah, kemudian mengirimkan hasil pengukuran menuju aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi [5].



Gambar 1 Modul ESP32

2.5 Sensor pH Tanah

Sensor pH tanah merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan tanah berdasarkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) [3]. Nilai pH berada pada rentang 0–14, dengan pH kurang dari 7 menunjukkan kondisi asam, pH sama dengan 7 bersifat netral, dan pH lebih dari 7 menunjukkan kondisi basa.

Menurut referensi [3], sensor pH menghasilkan sinyal tegangan analog yang berubah sesuai kondisi kimia tanah, kemudian dikonversi menjadi data digital untuk diproses oleh mikrokontroler. Informasi nilai pH berperan penting dalam menentukan kemampuan akar tanaman menyerap unsur hara yang tersedia di dalam tanah [15].



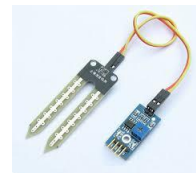
Gambar 2 Sensor pH tanah

2.6 Sensor Kelembapan Tanah

Sensor kelembapan tanah (*soil moisture sensor*) merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam media tanam [10]. Sensor bekerja berdasarkan perubahan resistansi atau konduktivitas listrik yang terjadi akibat perubahan kandungan air di dalam tanah.

Semakin tinggi kadar air, konduktivitas listrik tanah akan meningkat sehingga nilai resistansi menjadi lebih kecil. Sebaliknya, pada kondisi tanah kering nilai resistansi akan meningkat. Informasi tersebut dimanfaatkan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan penyiraman tanaman sehingga penggunaan air dapat dilakukan secara lebih efisien [6].

Pada sistem yang dikembangkan digunakan sensor kelembapan tanah tipe YL-69 yang menghasilkan keluaran analog sehingga tingkat kelembapan media tanam dapat diproses oleh mikrokontroler ESP32 [5].



Gambar 3 Sensor Moisture

2.7 LCD 16X4 I2C

LCD 16×4 I2C merupakan perangkat keluaran (*output device*) yang digunakan untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor secara langsung kepada pengguna. LCD ini mampu menampilkan empat baris karakter dengan masing-masing enam belas karakter sehingga informasi yang ditampilkan menjadi lebih lengkap.

Penggunaan modul I2C (Inter-Integrated Circuit) memungkinkan komunikasi antara LCD dan mikrokontroler hanya menggunakan dua jalur, yaitu Serial Data (SDA) dan Serial Clock (SCL). Metode komunikasi tersebut mengurangi penggunaan pin pada ESP32 sehingga masih tersedia pin untuk menghubungkan sensor maupun perangkat lainnya [2].

Pada sistem yang dikembangkan, LCD 16×4 digunakan untuk menampilkan nilai pH tanah, kelembapan tanah, status baterai, serta status koneksi sistem sehingga kondisi perangkat dapat dipantau secara langsung tanpa harus membuka aplikasi Blynk [5].



Gambar 4 LCD I2 16X4

2.8 Platform Blynk

Blynk merupakan platform Internet of Things (IoT) yang menyediakan layanan komunikasi antara perangkat keras dan aplikasi pada *smartphone* melalui jaringan internet. Platform ini menyediakan antarmuka (*dashboard*) yang mudah dikonfigurasi sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan data sensor secara *real-time* tanpa perlu mengembangkan aplikasi secara mandiri [5].

Menurut Aisyah et al., platform Blynk memungkinkan pengguna memantau data sensor secara jarak jauh serta mendukung

pengambilan keputusan yang lebih cepat melalui tampilan data yang tersaji secara langsung pada perangkat bergerak [11].

Pada sistem yang dikembangkan, platform Blynk dimanfaatkan sebagai media monitoring nilai pH tanah, kelembapan tanah, dan status baterai. Data yang dikirimkan oleh ESP32 ditampilkan dalam bentuk nilai numerik sehingga kondisi media tanam dapat dipantau secara *real-time* melalui *smartphone* [5].

2.9 Penelitian yang Berhubungan

Ella et al. mengembangkan sistem SMARTSOIL berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor *soil moisture* yang mampu melakukan monitoring kelembapan tanah secara *real-time* [1].

Roziqin et al. merancang sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis ESP32 dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah sehingga proses irigasi dapat dilakukan secara lebih efisien [2].

Selain itu, penulis pada referensi [4] mengembangkan sistem monitoring pH, suhu, dan kelembapan tanah berbasis IoT yang dilengkapi *web dashboard* sehingga kondisi media tanam dapat dipantau dari lokasi yang berbeda [4].

Pereira et al. juga mengembangkan sistem *smart drip irrigation* berbasis ESP32 yang mampu mendukung pengelolaan irigasi secara otomatis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air pada sektor pertanian [8].

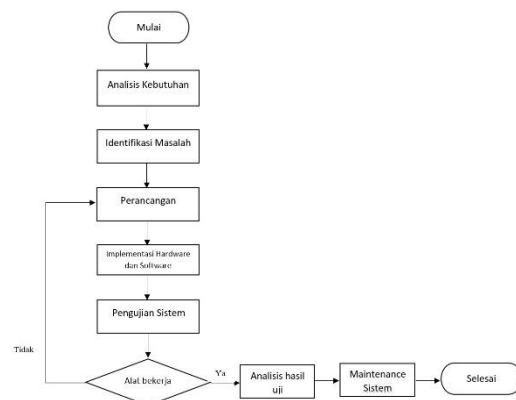
Berdasarkan berbagai studi tersebut, sebagian besar sistem monitoring masih berfokus pada satu parameter utama atau menggunakan konfigurasi sensor yang relatif kompleks sehingga biaya implementasi dan pemeliharaan sistem menjadi lebih tinggi [6].

Berdasarkan hasil kajian tersebut, sistem monitoring yang diusulkan mengintegrasikan sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah menggunakan mikrokontroler ESP32 pada pembibitan tanaman anggur Red Globe. Hasil pengukuran ditampilkan secara langsung pada LCD 16×4 dan dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi sehingga kondisi media tanam dapat dipantau secara *real-time*. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan solusi monitoring yang lebih sederhana, praktis, dan efisien untuk mendukung pengelolaan pembibitan tanaman anggur.

3. METODE PENGEMBANGAN SISTEM

Metode yang digunakan pada implementasi sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) adalah Waterfall Engineering. Metode Waterfall dipilih karena memiliki tahapan yang sistematis dan berurutan, sehingga sesuai untuk pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak yang memiliki kebutuhan sistem yang telah ditentukan sejak awal. Setiap tahapan diselesaikan terlebih dahulu sebelum dilanjutkan ke tahapan berikutnya sehingga proses pengembangan dapat dilakukan secara terstruktur dan terdokumentasi dengan baik [2].

Tahapan metode Waterfall pada implementasi sistem ini meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Seluruh tahapan tersebut dilakukan secara berurutan untuk menghasilkan sistem monitoring yang mampu melakukan pemantauan kondisi pH dan kelembapan tanah secara *real-time* pada media pembibitan tanaman anggur berbasis IoT [6]. Secara umum tahapan implementasi sistem menggunakan metode Waterfall ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Tahapan penelitian

3.1 Analisis Kebutuhan (Requirement Analysis)

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem berdasarkan kondisi yang ditemukan pada lokasi implementasi. Pada pembibitan tanaman anggur, nilai pH dan kelembapan tanah merupakan parameter penting yang memengaruhi penyerapan unsur hara, pertumbuhan akar, serta perkembangan bibit

tanaman [15]. Oleh karena itu, kedua parameter tersebut perlu dipantau secara berkala agar kondisi media tanam tetap berada pada kisaran yang optimal [13].

Berdasarkan hasil observasi, proses pemantauan kondisi tanah masih dilakukan secara manual menggunakan alat ukur konvensional. Metode tersebut hanya memberikan informasi pada saat pengukuran dilakukan sehingga perubahan kondisi tanah tidak dapat diketahui secara berkelanjutan. Selain itu, proses pengukuran mengharuskan pengguna datang langsung ke lokasi sehingga kurang efisien dari segi waktu maupun tenaga [11].

Berdasarkan kebutuhan tersebut, dirancang sebuah sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang mampu membaca data dari sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah YL-69, kemudian menampilkan hasil pengukuran pada LCD 16×4 I2C serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi secara real-time [5].

3.2 Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan ilmiah yang mendukung proses perancangan dan pengembangan sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) pada media tanam anggur [1]. Tahap ini bertujuan mengidentifikasi konsep, metode, teknologi, serta berbagai karya ilmiah terdahulu yang relevan sehingga sistem yang dikembangkan memiliki dasar teoritis yang kuat dan sesuai dengan perkembangan teknologi saat ini. Selain itu, studi literatur juga dimanfaatkan untuk menganalisis kelebihan, keterbatasan, dan peluang pengembangan dari berbagai sistem yang telah ada sehingga dapat dirumuskan aspek kebaruan (research gap) dari rancang bangun yang dilakukan.

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan berbagai referensi yang berasal dari jurnal nasional maupun internasional, prosiding ilmiah, buku referensi, *datasheet* komponen, serta dokumentasi resmi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Literatur difokuskan pada implementasi sistem monitoring berbasis IoT, penggunaan mikrokontroler ESP32, sensor pH tanah, sensor kelembapan tanah, aplikasi Blynk, serta

penerapan teknologi IoT pada bidang pertanian (*smart farming*) [7]. Seluruh referensi kemudian dianalisis sebagai dasar dalam menentukan metode perancangan, pemilihan komponen, arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak, serta metode pengujian yang sesuai dengan tujuan pengembangan sistem.

Tabel 1 Perbandingan penelitian terdahulu

No	Peneliti	Metode/Sistem	Hasil Penelitian	Kekurangan	Kebaruan Penelitian ini
1	Ella et al. (2026) SMARTS OIL	Sistem monitoring kelembapan tanah berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor soil moisture. Data dikirim secara real-time.	Sistem mampu memantau kelembapan tanah secara real-time sehingga memudahkan proses monitoring.	Hanya memantau kelembapan tanah, tidak mengukur pH tanah sehingga informasi kondisi media tanam belum lengkap.	penelitian ini mengintegrasikan monitoring pH tanah dan kelembapan tanah pada media tanam anggur menggunakan ESP32 serta menampilkan data pada LCD dan aplikasi Blynk.
2	Jaelani et al. (2026)	Sistem monitoring IoT menggunakan ESP32 untuk memantau pH tanah, suhu tanah, dan kelembapan tanah melalui web dashboard.	Sistem mampu membaca dan menampilkan parameter tanah secara real-time sebagai pendukung precision agriculture.	Menggunakan dashboard web, belum memanfaatkan aplikasi Blynk sebagai media monitoring bergerak, serta objek penelitian tidak berfokus pada tanaman anggur.	Penelitian ini menggunakan Blynk sebagai media monitoring melalui smartphone sehingga lebih praktis untuk pengguna.
3	Andre William et al. (2024)	Sistem deteksi kesuburan tanah berbasis IoT menggunakan ESP32 dengan sensor pH, suhu, dan kelembapan tanah.	Sistem mampu mengelompokkan tingkat kesuburan tanah berdasarkan parameter yang diukur.	Fokus pada klasifikasi tingkat kesuburan tanah, bukan monitoring kondisi media tanam secara spesifik untuk budidaya tanaman tertentu.	Penelitian ini difokuskan pada monitoring kondisi tanah tanaman anggur dengan parameter pH dan kelembapan sebagai dasar pemantauan media tanam.
4	Tafrikhatin et al. (2024)	Monitoring kelembapan tanah berbasis NodeMCU menggunakan aplikasi Blynk.	Data kelembapan dapat dipantau melalui aplikasi Blynk secara real-time.	Tidak mengukur nilai pH tanah dan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan kemampuan lebih terbatas dibanding ESP32.	Penelitian ini menggunakan ESP32 yang memiliki performa lebih baik serta mengintegrasikan dua parameter utama, yaitu pH dan

5	Penelitian ini	Monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis IoT menggunakan ESP32, Sensor pH tanah, Sensor V2, YL-69, LCD I2C 16×2, dan Blynk.	Sistem mampu menampilkan hasil pengukuran secara lokal pada LCD dan secara real-time melalui aplikasi Blynk sehingga memudahkan pemantauan kondisi media tanam anggur.	-	Menggabungkan dua parameter penting (pH dan kelembapan), menggunakan ESP32, monitoring melalui LCD dan Blynk, serta diterapkan pada media tanam anggur.
---	----------------	--	--	---	---

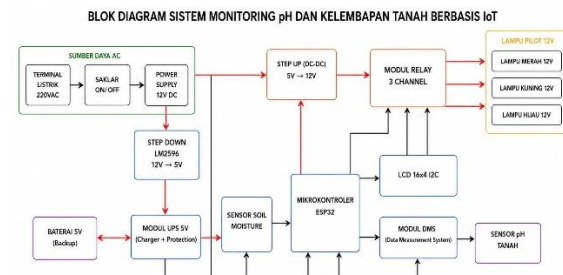
3.3 Perancangan Sistem (System Design)

Perancangan sistem merupakan tahapan yang bertujuan menghasilkan sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran secara *real-time* pada media tanam anggur. Tahap ini disusun berdasarkan hasil identifikasi permasalahan dan studi literatur sehingga diperoleh rancangan sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna [1].

Sistem yang dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi mengolah seluruh data hasil pembacaan sensor. Data diperoleh dari sensor pH tanah untuk mengukur tingkat keasaman media tanam dan sensor kelembapan tanah YL-69 untuk mengukur kadar air tanah. Selanjutnya, hasil pengukuran ditampilkan secara lokal pada LCD 16×4 I2C dan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju aplikasi Blynk sehingga pengguna dapat memantau kondisi media tanam secara *real-time* menggunakan *smartphone* [5].

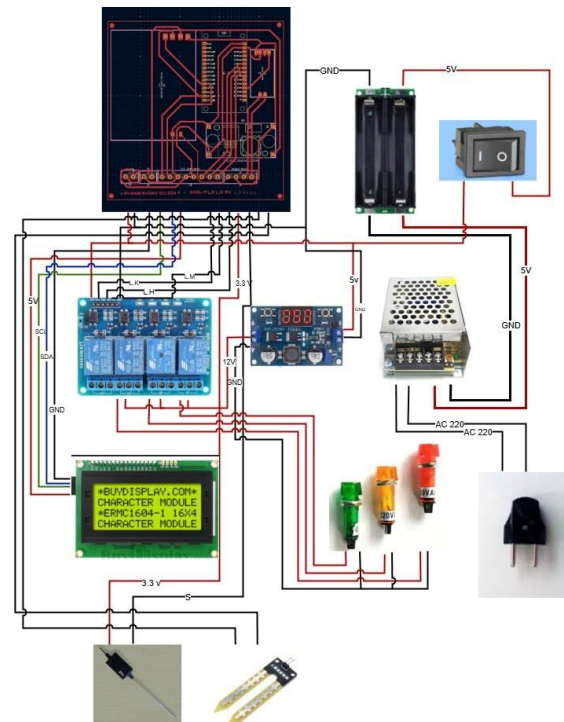
Tahap perancangan terdiri atas tiga bagian utama, yaitu perancangan arsitektur sistem, perancangan perangkat keras (*hardware*), dan perancangan perangkat lunak (*software*). Arsitektur sistem menjelaskan hubungan antar komponen yang digunakan, sedangkan perancangan perangkat keras menjelaskan konfigurasi koneksi setiap komponen. Selanjutnya, perancangan perangkat lunak menjelaskan algoritma kerja sistem mulai dari proses inisialisasi hingga pengiriman data ke aplikasi Blynk.

3.3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 6 Blok diagram system

3.3.2 Skematik Rangkaian Sistem



Gambar 7 skematik rangkaian system

3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak bertujuan mengatur alur kerja ESP32 dalam mengendalikan seluruh proses monitoring pH dan kelembapan tanah. Program yang ditanamkan pada ESP32 dirancang untuk menginisialisasi seluruh komponen, membaca data dari sensor, mengolah hasil pembacaan, menampilkan informasi pada LCD 16×4 I2C, serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi secara *real-time* [7].

Proses kerja sistem diawali dengan inisialisasi pin masukan dan keluaran, konfigurasi komunikasi I2C pada LCD, serta proses koneksi ESP32 ke jaringan Wi-Fi dan server Blynk. Setelah koneksi berhasil

dilakukan, ESP32 membaca data analog dari sensor pH tanah dan sensor kelembapan tanah YL-69 melalui kanal Analog-to-Digital Converter (ADC). Nilai analog yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi nilai pH tanah dan persentase kelembapan berdasarkan hasil kalibrasi sensor [3].

Selanjutnya, hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 16×4 I2C sebagai media monitoring lokal. Pada saat yang sama, data juga dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet sehingga pengguna dapat memantau kondisi media tanam secara *real-time* menggunakan *smartphone* [5].

Selama sistem memperoleh catu daya dan koneksi internet tersedia, proses pembacaan sensor, pengolahan data, penampilan hasil, dan pengiriman data dilakukan secara berulang dengan interval waktu tertentu sehingga kondisi media tanam dapat dipantau secara kontinu.

3.4 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Tahap ini bertujuan mengevaluasi kemampuan sistem dalam membaca nilai pH tanah dan kelembapan tanah, menampilkan hasil pengukuran pada LCD 16×4 I2C, serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet secara *real-time* [5].

Metode pengujian yang digunakan adalah black box testing, yaitu metode pengujian yang dilakukan berdasarkan fungsi setiap komponen tanpa memperhatikan struktur internal program. Pengujian difokuskan pada kesesuaian antara masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang dihasilkan oleh sistem [2].

Setiap komponen diuji secara bertahap, meliputi sensor pH tanah, sensor kelembapan tanah YL-69, LCD 16×4 I2C, koneksi Wi-Fi pada ESP32, serta komunikasi data menuju aplikasi Blynk.

3.5 Pengujian Sistem (Testing)

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Pengujian menggunakan metode Black Box Testing, yaitu metode pengujian yang berfokus pada kesesuaian antara masukan (*input*) dan

keluaran (*output*) tanpa memperhatikan struktur internal program [2].

Pengujian dilakukan terhadap sensor pH tanah, sensor kelembapan tanah YL-69, LCD I2C 16×4, koneksi Wi-Fi ESP32, komunikasi data menuju aplikasi Blynk, serta integrasi seluruh komponen sistem. Selain itu dilakukan pengujian terhadap hasil pembacaan sensor dengan membandingkan nilai sensor pH terhadap alat ukur referensi guna mengetahui tingkat kesalahan pengukuran [4].

3.6 Pemeliharaan Sistem (Maintenance)

Tahap pemeliharaan dilakukan untuk menjaga agar sistem tetap bekerja secara optimal setelah proses implementasi dan pengujian selesai. Pemeliharaan meliputi kalibrasi sensor pH secara berkala, pemeriksaan kondisi elektroda sensor kelembapan tanah YL-69 yang berpotensi mengalami korosi akibat penggunaan jangka panjang, pemeriksaan koneksi jaringan Wi-Fi, serta pembaruan perangkat lunak apabila diperlukan.

Selain itu, evaluasi terhadap performa sistem dilakukan berdasarkan hasil monitoring selama penggunaan sehingga apabila ditemukan ketidaksesuaian fungsi atau penurunan performa, dapat dilakukan perbaikan baik pada perangkat keras maupun perangkat lunak untuk menjaga keandalan sistem dalam jangka panjang [5].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan tahap penerapan dari hasil perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah disusun pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini seluruh komponen dirakit dan diintegrasikan menjadi sebuah sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran kondisi media tanam anggur secara *real-time*. Sistem terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor pH tanah untuk mengukur tingkat keasaman media tanam, sensor kelembapan tanah YL-69 untuk mendeteksi kadar air dalam tanah, LCD I2C 16×4 sebagai media tampilan lokal, serta aplikasi Blynk yang berfungsi sebagai media pemantauan jarak jauh.

4.1.1 Implementasi Perangkat Keras

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh perangkat keras telah terhubung dengan baik sesuai rancangan. Sensor pH tanah mampu mendeteksi tingkat keasaman media tanam, sedangkan sensor YL-69 berhasil mengukur perubahan kadar air pada tanah. Seluruh data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 kemudian diteruskan ke perangkat keluaran. Selama proses implementasi tidak ditemukan kendala yang memengaruhi kinerja sistem sehingga setiap komponen dapat menjalankan fungsinya secara optimal



Gambar 8 Rangkaian system pada alat



Gambar 9 Tampak depan pada alat



Gambar 10 Pengujian sensor pada tanah

4.1.2 Implementasi Tampilan LCD

Berdasarkan hasil implementasi, LCD I2C 16×4 mampu menampilkan informasi hasil

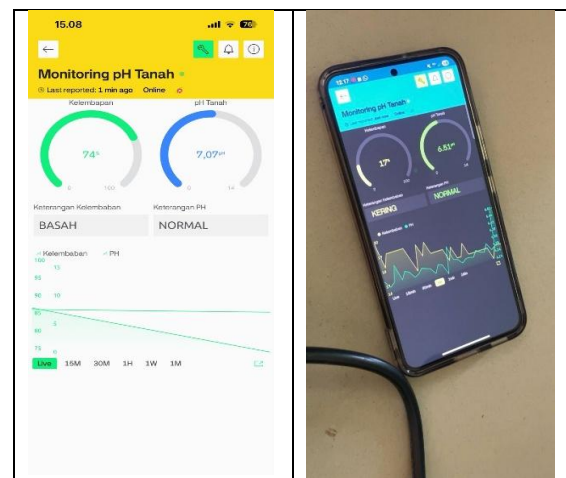
pembacaan sensor secara jelas dan mudah dibaca. Nilai pH tanah dan kelembapan diperbarui secara otomatis mengikuti interval pembacaan yang telah diprogram pada ESP32. Informasi yang ditampilkan pada LCD juga sesuai dengan data yang diperoleh dari sensor sehingga dapat digunakan sebagai media monitoring secara langsung di lokasi pengukuran



Gambar 11 Tampilan pada LCD

4.1.3 Implementasi Monitoring Menggunakan Blynk

Hasil implementasi menunjukkan bahwa ESP32 berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi dan mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke server Blynk. Nilai yang ditampilkan pada dashboard Blynk sesuai dengan data yang ditampilkan pada LCD, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi kondisi tanah baik secara lokal maupun dari jarak jauh. Proses pembaruan data berlangsung secara berkala sesuai interval pengiriman data yang telah ditentukan dalam program ESP32.



Gambar 12 Tampilan pada dashboard blynk

4.1.4 Hasil Implementasi Secara Keseluruhan

Berdasarkan hasil implementasi yang telah dilakukan, sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan. Seluruh komponen mampu bekerja secara terintegrasi, mulai dari proses pembacaan data menggunakan Sensor pH tanah dan sensor YL-69, pengolahan data oleh ESP32, penampilan informasi pada LCD I2C, hingga pengiriman data ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi.

Implementasi ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi fungsi utama yang dirancang, yaitu menyediakan informasi kondisi pH dan kelembapan tanah secara real-time baik melalui tampilan lokal maupun melalui aplikasi Blynk. Dengan demikian, sistem dapat digunakan sebagai media monitoring kondisi media tanam anggur yang lebih praktis dibandingkan metode pengukuran manual.

4.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang telah diimplementasikan. Pengujian dilakukan terhadap seluruh komponen sistem, meliputi Sensor pH tanah, sensor kelembapan tanah YL-69, LCD I2C 16×4, dan aplikasi Blynk. Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang serta mampu menghasilkan data yang ditampilkan secara real-time baik pada LCD maupun aplikasi Blynk.

4.2.1 Hasil Pengujian Sensor pH Tanah

Pengujian sensor pH dilakukan dengan mengukur beberapa sampel media tanam anggur menggunakan Gravity Analog Soil pH Sensor V2. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai pengukuran menggunakan alat ukur pH sebagai acuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran.



Gambar 13 Sampel tanah untuk kalibrasi

Tabel 2 Hasil nilai kalibrasi pada sampel

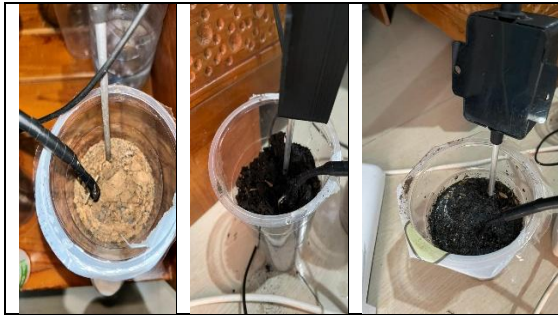
No	Jenis Tanah	Nilai Referensi	Nilai Sensor	Selisih	Error (%)
1	Tanah Asam	4,0	4,1	0,1	2,5%
2	Tanah Normal	6,0	6,0	0	0%
3	Tanah Basa	8,5	8,3	0,2	2,35%

Berdasarkan Tabel 2, sensor pH tanah mampu membaca perubahan nilai pH dengan cukup stabil dan mendekati hasil pembacaan alat ukur referensi. Nilai selisih pembacaan rata-rata berada pada rentang $\pm 0,1$ dengan persentase error rata-rata di bawah 3%, sehingga masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk sistem monitoring pertanian berbasis IoT.

Sensor mampu membaca perubahan nilai pH tanah pada setiap sampel pengujian. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari sensor memiliki perbedaan yang relatif kecil terhadap nilai acuan sehingga sensor dapat digunakan untuk memantau kondisi tingkat keasaman media tanam anggur.

4.2.2 Hasil Pengujian Kelembapan Tanah

Pengujian sensor kelembapan dilakukan pada beberapa kondisi media tanam yang memiliki tingkat kadar air berbeda, yaitu kondisi kering, lembap, dan basah. Tujuannya untuk mengetahui respons sensor YL-69 terhadap perubahan kelembapan tanah.



Gambar 14 Jenis jenis tanah

Tabel 3 Hasil nilai kelembapan tanah

No	Kondisi Tanah	Presentase (%)	Keterangan
1	Tanah Kering	13%	Kering
2	Tanah Normal	45%	Normal
4	Tanah Basah	90%	Basah

Berdasarkan hasil pengujian, sensor YL-69 mampu membedakan tingkat kelembapan tanah berdasarkan perubahan nilai yang diperoleh dari sensor. Nilai kelembapan meningkat seiring bertambahnya kadar air pada media tanam, sehingga sensor dapat digunakan sebagai indikator kondisi kelembapan tanah.

4.2.3 Hasil Pengujian Tampilan LCD

LCD I2C 16×4 diuji untuk memastikan hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa LCD berhasil menampilkan nilai pH tanah dan kelembapan tanah secara bersamaan serta diperbarui sesuai interval pembacaan sensor.



Gambar 15 Hasil tampilan LCD

Berdasarkan hasil implementasi, tidak ditemukan kesalahan tampilan selama proses pengujian sehingga LCD dapat digunakan sebagai media monitoring lokal.

4.2.4 Hasil Pengujian Monitoring Menggunakan Blynk

Pengujian dilakukan untuk mengetahui keberhasilan ESP32 dalam mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi.



Gambar 16 Tampilan dashboard blynk

Tabel 4 Pengujian sistem IoT pada blynk

No	Parmeter Pengujian	Hasil
1	ESP32 Terkoneksi Wifi	Berhasil
2	ESP32 Terkoneksi Blynk	Berhasil
3	Pengiriman data sensor Ph	Berhasil
4	Pengiriman data Kelembapan	Berhasil
5	Tampilan data pada aplikasi	Berhasil
6	Monitoring grafik	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa data pH tanah dan kelembapan tanah berhasil dikirim dan ditampilkan pada dashboard Blynk. Nilai yang ditampilkan pada aplikasi sesuai dengan data yang ditampilkan pada LCD sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi media tanam secara real-time menggunakan smartphone.

4.2.5 Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan mengoperasikan seluruh komponen secara bersamaan pada media tanam anggur. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa proses pembacaan sensor, pengolahan data oleh ESP32, penampilan hasil pada LCD, dan pengiriman data ke aplikasi Blynk dapat berjalan secara terintegrasi.



Gambar 17 Pengujian alat di media tanah

Tabel 5 Hasil pengujian fungsional sistem

No	Komponen	Status	Keterangan
1	Sensor pH tanah	Berhasil	Membaca nilai pH tanah
2	Sensor YL-69	Berhasil	Membaca kelembapan tanah
3	ESP32	Berhasil	Mengolah data sensor
4	LCD I2C	Berhasil	Menampilkan hasil pengukuran
5	Wifi ESP32	Berhasil	Terhubung ke jaringan
6	Blynk	Berhasil	Menampilkan data secara real-time

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh komponen berhasil bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang. Sistem mampu membaca parameter pH dan kelembapan tanah, mengolah data menggunakan ESP32, menampilkan hasil pada LCD, serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet.

4.3 Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem monitoring pH dan kelembapan tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan. Evaluasi dilakukan terhadap kemampuan sistem dalam membaca nilai pH tanah dan kelembapan tanah, menampilkan hasil pengukuran pada LCD I2C 16×4, serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk secara real-time. Selain itu, analisis juga dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan integrasi

seluruh komponen sehingga sistem dapat digunakan sebagai media monitoring kondisi media tanam anggur.

4.3.1 Analisis Pengukuran pH

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Sensor pH tanah mampu mendeteksi perubahan tingkat keasaman tanah pada setiap sampel pengujian. Nilai pH yang ditampilkan pada LCD maupun aplikasi Blynk mengikuti perubahan kondisi media tanam yang diukur. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk memberikan informasi mengenai tingkat keasaman tanah secara real-time.

Perbedaan nilai pengukuran yang masih ditemukan dibandingkan dengan alat ukur acuan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain proses kalibrasi sensor, kondisi media tanam, suhu lingkungan, serta posisi probe saat pengambilan data. Walaupun demikian, perbedaan tersebut masih berada pada batas yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring sehingga sistem tetap mampu memberikan informasi kondisi tanah secara representatif.

Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan Sensor pH tanah cukup efektif untuk sistem monitoring kondisi media tanam anggur yang tidak memerlukan tingkat akurasi laboratorium, tetapi lebih menekankan pada pemantauan kondisi tanah secara berkelanjutan.

4.3.2 Analisis Pengukuran Kelembapan

Sensor kelembapan tanah YL-69 mampu mendeteksi perubahan kadar air pada media tanam dengan baik. Nilai kelembapan meningkat ketika kondisi tanah semakin basah dan menurun ketika tanah mengalami kekeringan. Respons tersebut menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan sebagai indikator kondisi kelembapan tanah selama proses monitoring.

Meskipun demikian, sensor YL-69 bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas sehingga hasil pembacaan dapat dipengaruhi oleh kandungan mineral tanah, suhu, dan kondisi elektroda sensor. Selain itu, penggunaan dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan korosi pada elektroda sehingga diperlukan proses kalibrasi dan perawatan secara berkala agar hasil pengukuran tetap stabil.

4.3.3 Analisis Monitoring Blynk

Hasil implementasi menunjukkan bahwa komunikasi data antara ESP32 dan aplikasi Blynk berjalan dengan baik selama perangkat memperoleh koneksi internet yang stabil. Data hasil pembacaan sensor berhasil dikirimkan ke dashboard Blynk dan ditampilkan secara real-time sesuai dengan interval pembacaan yang telah diprogram.

Nilai yang ditampilkan pada aplikasi Blynk juga sesuai dengan nilai yang muncul pada LCD I2C sehingga pengguna dapat melakukan monitoring baik secara langsung di lokasi maupun dari jarak jauh menggunakan smartphone. Dengan demikian, penerapan teknologi IoT pada sistem berhasil meningkatkan kemudahan dalam proses pemantauan kondisi media tanam.

4.3.4 Analisis Kinerja Sistem

Berdasarkan seluruh tahapan implementasi dan pengujian, sistem mampu menjalankan fungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Integrasi antara ESP32, Sensor pH tanah, Sensor kelembapan tanah YL-69, LCD I2C, dan aplikasi Blynk menghasilkan sistem monitoring yang mampu melakukan pembacaan sensor, pengolahan data, penampilan hasil, serta pengiriman data secara otomatis.

Tabel 6 Ringkasan analisis kerja

Aspek yang Dianalisis	Hasil Analisis
Pembacaan sensor pH	Sensor mampu membaca perubahan nilai pH tanah dan menampilkan hasil secara real-time.
Pembacaan sensor kelembapan	Sensor YL-69 mampu membedakan kondisi tanah kering, lembap, dan basah.
Tampilan LCD	Nilai pH dan kelembapan berhasil ditampilkan dengan jelas serta diperbarui secara berkala.
Komunikasi Wi-Fi	ESP32 berhasil terhubung dengan jaringan Wi-Fi selama proses pengujian.
Monitoring Blynk	Data berhasil dikirim dan ditampilkan pada aplikasi Blynk sesuai

	hasil pembacaan sensor.
Integrasi sistem	Seluruh komponen bekerja secara terpadu tanpa kendala yang berarti selama pengujian.

4.3.5 Kelebihan dan Keterbatasan Sistem

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem memiliki beberapa kelebihan. Sistem mampu mengintegrasikan dua parameter penting, yaitu pH tanah dan kelembapan tanah, dalam satu perangkat monitoring berbasis IoT. Informasi hasil pengukuran dapat diakses secara langsung melalui LCD maupun dari jarak jauh menggunakan aplikasi Blynk, sehingga proses pemantauan menjadi lebih praktis dan efisien.

Di sisi lain, terdapat beberapa keterbatasan yang masih perlu diperhatikan. Sensor kelembapan tanah YL-69 memiliki elektroda berbahan logam yang rentan mengalami korosi apabila digunakan secara terus-menerus pada media yang lembap. Selain itu, kualitas koneksi internet juga memengaruhi kelancaran proses pengiriman data ke aplikasi Blynk. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan sensor kelembapan tipe kapasitif yang lebih tahan terhadap korosi, menambahkan fitur penyimpanan data (*data logging*), serta mengimplementasikan sistem notifikasi otomatis apabila nilai pH atau kelembapan berada di luar kisaran yang diinginkan.

5. KESIMPULAN

- Sistem monitoring berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang terintegrasi dengan sensor pH tanah, sensor kelembapan tanah YL-69, LCD I2C 16×4, dan aplikasi Blynk. Integrasi seluruh komponen mampu bekerja dengan baik sehingga sistem dapat melakukan pembacaan parameter pH dan kelembapan tanah, mengolah data, menampilkan hasil pada LCD, serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk secara real-time.
- Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem berfungsi sesuai

dengan rancangan. Sensor pH tanah mampu mendeteksi perubahan tingkat keasaman tanah, sedangkan sensor YL-69 mampu mendeteksi perubahan kelembapan media tanam. Data hasil pembacaan berhasil ditampilkan secara konsisten pada LCD dan aplikasi Blynk, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi media tanam anggur secara langsung maupun dari jarak jauh melalui jaringan internet.

- Berdasarkan analisis hasil, sistem yang dikembangkan mampu menjadi solusi monitoring kondisi media tanam anggur yang lebih praktis, efisien, dan mendukung penerapan teknologi IoT di bidang pertanian. Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan berupa ketergantungan pada kualitas koneksi internet serta penggunaan sensor YL-69 yang berpotensi mengalami korosi dalam penggunaan jangka panjang. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada penggunaan sensor kelembapan tipe kapasitif yang lebih tahan lama, penambahan fitur data logging dan notifikasi otomatis, serta integrasi dengan sistem penyiraman otomatis (smart irrigation) untuk meningkatkan kinerja dan fungsionalitas sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. O. D. M. Ella, F. Biabdillah, A. Wajiansyah, and A. Mulia, "SMARTSOIL: Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan ESP32 dan Sensor Soil Moisture," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 14, no. 1, 2026, doi: 10.23960/jitet.v14i1.8788.
- [2] M. Roziqin, A. F. Kabes, and S. Z. N. Haq, "Rancang Bangun Penyiraman Tanaman Cabe Otomatis Menggunakan ESP32 dan Sensor Kelembaban Tanah," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 13, no. 3S1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3S1.7966.
- [3] "Automation of Orchid Soil pH Using IoT-Based Soil pH Sensor," *Jurnal Penelitian Sains Indonesia (JPSI)*, vol. 1, no. 2, 2025, doi: 10.35895/jpsi.1.2.98-115.2025.
- [4] "Sistem Monitoring Kondisi Kelembapan dan pH Tanah Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Tanaman Hias," *Jurnal Ilmiah Manajemen Informatika dan Komputer (JIMIK)*, vol. 6, no. 3, 2025, doi: 10.63447/jimik.v6i3.1569.
- [5] "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32, Moisture Sensor, DHT22 dan Blynk," *Jurnal Teknologi Manajemen Informatika dan Elektronika (JTMEI)*, vol. 3, no. 4, 2025, doi: 10.55606/jtmei.v3i4.4941.
- [6] "IoT-Based Soil Moisture Monitoring and Automatic Watering System," *Journal of Technology and Open System (JTOS)*, vol. 9, no. 1, 2025, doi: 10.36378/jtos.v9i1.5300.
- [7] "Pengembangan Sistem Penyiraman dan Pemupukan Otomatis Berbasis ESP32 dengan RTC dan Blynk," *TELSINAS: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, 2025, doi: 10.38043/telsinas.v8i1.6020.
- [8] G. P. Pereira, M. Z. Chaari, and F. Daroge, "IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32," *IoT*, vol. 4, no. 3, pp. 221–243, 2023, doi: 10.3390/iot4030012.
- [9] A. Rodríguez *et al.*, "Soil Water Status Monitoring System with Proximal Low-Cost Sensors and LoRa Technology for Smart Water Irrigation in Woody Crops," *Sensors*, vol. 24, no. 24, Art. no. 8104, 2024, doi: 10.3390/s24248104.
- [10] "Soil Moisture Monitoring Using NodeMCU Based Soil Moisture Sensor With Blynk Application Output," *E-KOMTEK*, vol. 8, no. 2, 2024, doi: 10.37339/e-komtek.v8i2.2120.
- [11] N. Aisyah, E. D. Ulhaq, A. Dharmawan, and R. Purbakawaca, "Design of an IoT-Based Smart Irrigation System Using Soil Moisture Sensors for Water Efficiency," *Journal Online of Physics*, vol. 11, no. 1, 2025, doi: 10.22437/jop.v11i1.48928.
- [12] N. Xiang, H. Xie, L. Qin, M. Wang, X. Guo, and W. Zhang, "Effect of Climate on Volatile Metabolism in 'Red Globe' Grapes (*Vitis vinifera* L.) during Fruit Development," *Foods*, vol. 11, no. 10, Art. no. 1435, 2022, doi: 10.3390/foods11101435.

- [13] C. Kavitha and M. Shamini, "Standardization of Nutrient Requirement for Enhancing Yield and Quality in Grape (*Vitis vinifera* L.) Var. Red Globe," *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 35, no. 21, pp. 1250–1256, 2023, doi: 10.9734/IJPSS/2023/v35i214103.
- [14] Y. Yin, J. Yuan, N. Jia, M. Li, *et al.*, "Grafting 'Red Globe' (*Vitis vinifera*) onto Multiple Rootstocks: A Systematic, Multi-Year Evaluation Focusing on Graft Compatibility, Vegetative Growth, and Fruit Characteristics," *Horticulturae*, vol. 11, no. 9, Art. no. 1006, 2025, doi: 10.3390/horticulturae11091006.
- [15] E. Cataldo, M. Fucile, and G. B. Mattii, "A Review: Soil Management, Sustainable Strategies and Approaches to Improve the Quality of Modern Viticulture," *Agronomy*, vol. 11, no. 11, Art. no. 2359, 2021, doi: 10.3390/agronomy11112359.