

Monitoring Kelembapan Tanah Tanaman Cabai Katokkon Dengan Konsep Wireless Sensor Network

¹Samrius Upa', ²Juprianus Rusman, ³Amsal Tandi Pakendek

^{1, 2, 3}Fakultas Teknik, Teknik Informatika, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Indonesia

*Korespondensi: samrius@ukitoraja.ac.id

Submit : 06 Mei 2026 | Diterima : 28 Jun 2026 | Terbit : 02 Jul 2026

ABSTRACT

Proper soil moisture plays a crucial role in chili pepper cultivation as it directly affects plant growth and yield. However, traditional manual observation methods often lead to errors in irrigation due to inaccurate visual assessments or reliance on previous watering estimates. This research aims to develop a more accurate and efficient soil moisture monitoring system using Wireless Sensor Network (WSN) technology. The system employs five sensor nodes connected in a mesh topology, with the MQTT protocol to ensure efficient data communication. Each sensor is designed to measure soil moisture levels in real-time and transmit this data to a gateway. The gateway then forwards the data to the ThingSpeak server via Wi-Fi for processing and visualization. System testing, based on Quality of Service (QoS) parameters and TIPHON standards, shows a packet loss of 3.0% categorized as "satisfactory", a delay of 358ms (categorized as "fairly satisfactory"), and a throughput of 0.00279 kbps categorized as "unsatisfactory". Although throughput results are not yet optimal, the system remains an effective solution for farmers to monitor soil moisture in real-time and wirelessly. With further optimization, this system has the potential to significantly improve performance and support more efficient agricultural management.

Keywords: Soil Moisture, MQTT, Monitoring, Quality of Service (QoS), Mesh Topology.

ABSTRAK

Kelembapan tanah yang tepat berperan signifikan dalam budidaya cabai karena secara langsung memengaruhi pertumbuhan dan hasil panen tanaman. Namun, metode pengamatan manual yang selama ini digunakan sering kali menyebabkan kesalahan dalam penyiraman, baik karena penilaian visual yang kurang akurat maupun ketergantungan pada estimasi waktu penyiraman sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kelembapan tanah yang lebih akurat dan efisien menggunakan teknologi Wireless Sensor Network (WSN). Sistem ini memanfaatkan lima node sensor yang terhubung dalam topologi mesh, dengan protokol MQTT untuk memastikan komunikasi data yang efisien. Setiap sensor dirancang untuk mengukur tingkat kelembapan tanah secara real-time dan mengirimkan data tersebut ke gateway. Gateway kemudian meneruskan data ke server ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi untuk pemrosesan dan visualisasi. Hasil pengujian sistem berdasarkan parameter Quality of Service (QoS) dan standarisasi TIPHON menunjukkan packet loss sebesar 3.0% dalam kategori "memuaskan", delay 358ms dalam kategori "cukup memuaskan", dan throughput 0.00279 kbps (dalam kategori "kurang memuaskan"). Meskipun hasil throughput belum optimal, sistem ini tetap memberikan solusi yang efektif bagi petani untuk memantau kelembapan tanah secara real-time dan nirkabel. Dengan optimalisasi lebih lanjut, sistem ini memiliki potensi untuk meningkatkan kinerja secara signifikan dan mendukung pengelolaan pertanian yang lebih efisien.

Kata Kunci: Kelembapan tanah, MQTT, Monitoring, Quality of Service (QoS), Topologi Mesh.

PENDAHULUAN

Cabai menjadi komponen penambah rasa vital dalam hidangan tradisional Indonesia. Salah satu varian cabai yang memiliki tingkat kepedasan tinggi di daerah Toraja Utara dan Tana Toraja dikenal dengan sebutan *Lada Katokko* cabai ini memiliki ciri khas yang membedakannya dari jenis cabai lainnya, termasuk bentuknya yang menyerupai pabrika dengan ukuran yang kecil, rasa pedas manis yang khas, dan aroma harum yang khas[1].

Dengan usaha pembudidayaan komoditas ini mempunyai peluang cerah karena sangat bisa menyokong upaya peningkatan pendapatan petani dengan permintaan cabai terus meningkat setiap tahun yang dimana pada tahun 2016 - 2017 mengalami kenaikan sebesar 15,37%, sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan berkembangnya industri yang membutuhkan bahan baku cabai (Badan Pusat Statistik dalam Putri 2020)[2]. Pengentasan kemiskinan, perluasan kesempatan kerja, pengurangan impor dan peningkatan ekspor non migas karena kebutuhan akan cabai terus naik setiap tahun sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan perekonomian nasional. Budidaya cabai rawit menjadi keharusan dan penerapan budidaya yang terukur dengan metode tanam yang modern dan berkelanjutan, dengan memanfaatkan lahan di sekitar masyarakat, memiliki potensi untuk memberikan nilai ekonomis yang signifikan bagi mereka. Selain itu, hal ini juga dapat memastikan bahwa pasokan cabai di pasar tetap mencukupi[3].

Kondisi kelembapan tanah memiliki dampak signifikan pada proses budidaya cabai. Pentingnya kelembapan tanah sebagai faktor kunci dalam kegiatan pertanian menegaskan perlunya pertimbangan yang cermat untuk mencapai hasil yang diinginkan karena kelembapan tanah adalah salah satu elemen lingkungan yang secara langsung memengaruhi pertumbuhan kebun dan tanaman[4]. Dalam proses mengamati kelembapan tanah tanaman cabai, Selama ini petani masih menggunakan cara seperti mengamati keadaan tanah secara *visual* seperti tanah yang kering atau terlalu basah dan juga dengan perkiraan rentang waktu penyiraman sebelumnya. Ini dapat mengakibatkan ketidakpastian dalam penilaian kondisi kelembapan tanah sehingga petani cenderung menyiram tanaman cabai berlebihan atau kurang[5].

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka peneliti akan memberikan solusi yaitu monitoring kelembapan tanah dengan konsep *wireless sensor network* dimana *wireless sensor network* merupakan konsep pengiriman data dengan mengaplikasikan sensor-sensor di area tertentu untuk mengumpulkan data lingkungan atau informasi khusus yang dihasilkan oleh sensor tanpa menggunakan kabel. Dengan sistem ini, perangkat keras akan mendeteksi ketersediaan air dalam tanah tanaman cabai, hasil dari deteksi sensor tersebut dapat diteruskan ke aplikasi *mobile* atau web yang dirancang khusus. Ini memberikan kemudahan akses dan visualisasi data kepada pengguna yang memungkinkan pemantauan dan analisis data yang cepat dan akurat, melalui pemanfaatan sistem ini diharapkan petani dapat mengelola tanaman cabai lebih baik.

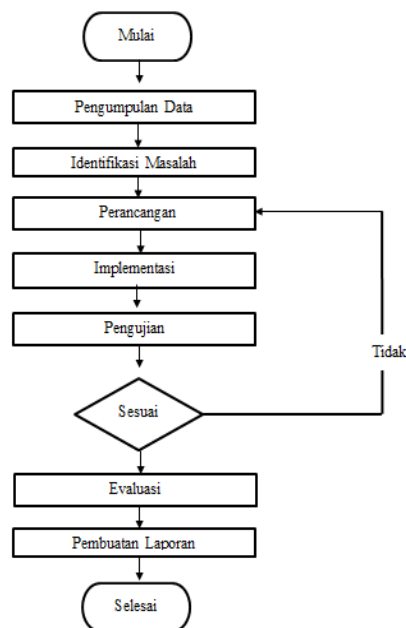
METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

1. Waktu Penelitian
Waktu penelitian direncanakan yaitu terhitung dari bulan Juli 2023 sampai Mei 2024.
2. Lokasi Penelitian
Penelitian dilakukan di kebun cabai Katokkon Panga', Kecamatan Kesu', Kabupaten Toraja Utara, Sulawesi Selatan.

Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan sekaligus menggambarkan tahapan penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini:



Gambar 1 Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan Data

Dalam tahap pengumpulan data untuk mengenai monitoring kelembapan tanah tanaman cabai *katokkon*, peneliti secara cermat melakukan observasi lapangan, wawancara serta studi literatur pertanian untuk memahami keterkaitan kelembapan tanah dalam pertumbuhan tanaman, serta literatur teknologi sensor guna mengenal prinsip kerja dan jenis sensor yang relevan. Selain itu, buku-buku elektronika dan mikrokontroler juga menjadi acuan untuk memahami teknologi pengukuran dan pemrosesan data dari sensor yang dihubungkan dengan mikrokontroler. Pemahaman tentang monitoring juga diperoleh dari literatur terkait, memberikan dasar bagi peneliti untuk merancang sistem pemantauan kelembapan tanah yang berbasis *wireless sensor network* yang efektif.

2. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, peneliti berfokus untuk mengidentifikasi permasalahan atau isu yang akan menjadi fokus penelitian. Peneliti dapat menghasilkan pernyataan masalah yang jelas dan terdefinisi dengan baik. Dimana Permasalahan yaitu bagaimana konfigurasi infrastruktur, metode pengiriman data dan menampilkan visualisasi data.

3. Perancangan

Dalam penelitian ini, perancangan sistem untuk monitoring kelembapan tanah dengan desain perangkat keras dan protokol MQTT dilakukan melalui tahap menentukan perangkat lunak, perangkat keras, konfigurasi jaringan *wireless sensor network*, *broker mqtt*, visualisasi hasil monitoring dan parameter pengujian yang sesuai untuk penerapan monitoring kelembapan tanah.

4. Implementasi

Tahapan ini diawali dengan perakitan alat-alat perangkat keras serta desain jaringan yang digunakan untuk menentukan langkah yang bisa diambil oleh *soil moisture* sensor kemudian nilai yang dibaca oleh sensor akan dikirimkan ke gateway dan ditampilkan di platform yaitu *thingSpeak* untuk visualisasi dan analisis lebih lanjut.

Pada tahap implementasi perangkat keras serta perangkat lunak akan dirancang sedemikian rupa agar sesuai dengan tahap perancangan sistem yang telah dibuat. Perangkat keras, perangkat lunak dan jaringan harus berpadu berjalan beriringan agar dapat membentuk sebuah sistem monitoring yang memastikan komponen berfungsi dengan baik dan menghasilkan output yang akurat.

5. Pengujian

Tahapan ini akan dilakukan setelah tahap implementasi telah selesai. Tahapan ini dilakukan dengan metode pengamatan dalam menguji topologi yaitu *Quality of service (QoS)* dengan *software wireshark* untuk mengevaluasi parameter *packet loss*, *delay* dan *throughput* pada jaringan melalui hasil capture untuk mengetahui tingkat akurasi dan kecepatan pengiriman yang terjadi secara keseluruhan. Jika terjadi kegagalan yang bersumber dari kesalahan yang ada, maka perancangan dan implementasi akan kembali diulangi tetapi jika berhasil maka lanjut ke tahap selanjutnya.

6. Evaluasi

Evaluasi dilaksanakan setelah semua tahapan mulai dari perancangan, implementasi dan pengujian serta analisis sistem telah selesai dilakukan. Kesimpulan ini diambil dari hasil pengujian dan analisis terhadap sistem yang dibuat. Tahap evaluasi penting dilaksanakan berguna untuk mengetahui tingkat akurasi jaringan pengiriman data dan ketetapan dalam pembacaan oleh sensor serta rangkaian lainnya tertanam pada alat secara keseluruhan. Dalam Tahap ini juga dapat menghasilkan saran yang digunakan untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut dan memperbaiki kesalahan sistem yang telah ada.

7. Pembuatan Laporan

Tahap pembuatan laporan merupakan proses di mana peneliti menggabungkan semua hasil penelitian dan langkah-langkah yang telah dilakukan selama proses penelitian menjadi sebuah dokumen tertulis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

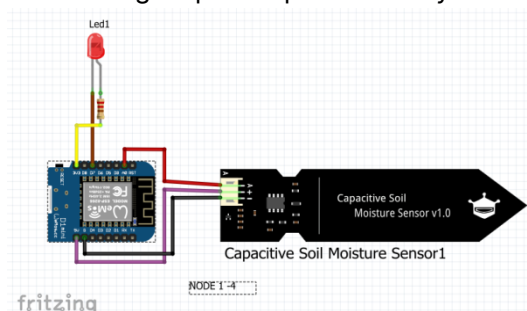
Sistem mikrokontroler yang dibuat untuk monitoring kelembapan tanah berbasis *wireless sensor network*. Sistem desain di untuk menampilkan informasi kondisi kelembapan tanah tanaman cabai yang akan ditampilkan pada melalui *thingspeak*. Dalam penelitian ini yang dijadikan parameter pembacaan sensor adalah kelembapan tanah.

Sistem mikrokontroler yang dibuat untuk dapat memonitoring kelembapan tanah tanaman cabai katokkon secara otomatis melalui jaringan internet, sensor-sensor membaca kelembapan tanah kemudian data tersebut dikirim ke server thingspeak sekaligus kemudian akan divisualisasikan di thingspeak. Sistem ini telah diatur untuk memonitoring kelembapan agar dapat mempermudah petani dalam memonitoring secara otomatis tanpa perlu mengecek secara manual kelembapan tanah tanaman cabai setiap saat sehingga dapat meminimalisir pekerjaan petani.

1. Desain Perangkat Keras

a. Pembuatan Skema Rangkaian Perangkat Keras

Aplikasi *fritzing* versi 0.9.4 merupakan aplikasi yang digunakan penulis untuk membuat skema rangkaian dari sistem monitoring kelembapan tanah berbasis *internet of things* yang dibuat yang dengan menggunakan 5 perangkat node sensor. Komponen pertama yang dirangkai yaitu rangkaian node 1 sampai node 4 yang memiliki desain yang sama. Wemos D1 mini dan sensor kelembapan lalu VCC pada sensor kelembapan tersambung dengan 5v di wemos d1 mini. Selanjutnya, pin GND pada sensor kelembapan terhubung dengan pin GND di Wemos D1 mini. Pin Data A pada sensor berat tersambung dengan pin *analog A0* di Wemos D1 mini. Pin 3V3 pada wemos D1 mini terhubung ke resistor lalu dihubungkan salah satu pin led dan Pin D7 tersambung ke pin lampu led satunya .

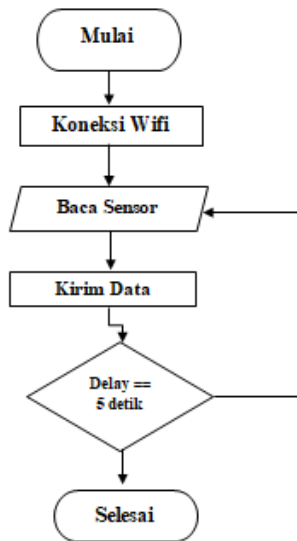


Gambar 2 Skema Rangkaian Node

Untuk rincian dari skema rangkaian pada gambar 2 terdapat pada tabel 1

Tabel 1 Koneksi Kabel Node Sensor *Aggregator* dan *Gateway*

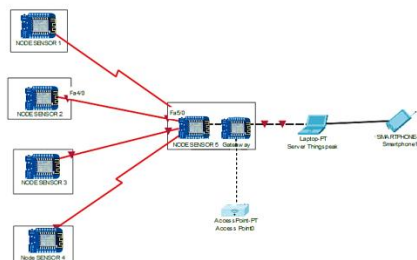
Wemos D1 Mini Center	Wemos D1 Mini Server	Led	Sensor Kelembapan
5V	5V	-	VCC
GND	GND	-	GND
3V3	-	Transistor Led	-
D7	-	Pin Led	-
D6	D5	-	-
D5	D6	-	-
A0	-	-	Data A



Gambar 1 Flowchart Sistem

Tiga pustaka yang diinisialisasi yaitu *painlessmesh*, *arduino_json*, *softwareserial* untuk deklarasi pin data pada mikrokontroler wemos D1 mini yang terhubung dengan sensor kelembapan tanah. Sensor ini berfungsi sebagai pembaca data kelembapan tanah di beberapa titik yang berbeda yang akan menampilkan perubahan pada *linechart* berdasarkan pembacaan sensor dan mikrokontroler gateway menerima data dari sensor dan mengirimkannya ke Thingspeak melalui *cloud* dengan menggunakan *api Key* khusus. Pada Thingspeak, data dari 5 node sensor direkam dan disajikan dalam bentuk *linechart*, sistem akan memberikan perubahan antar waktu dengan menampilkan perubahan pada *linechart*. Cara kerja dari sistem ini dapat dilihat pada *flowchart* sistem gambar 3.

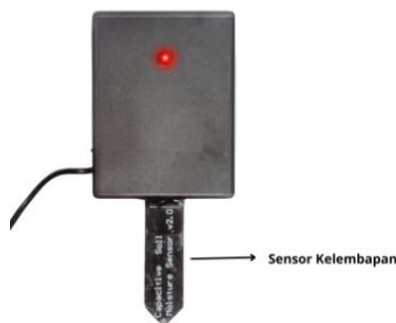
b. Skema Topologi Mesh



Gambar 2 Gambaran Topologi Mesh

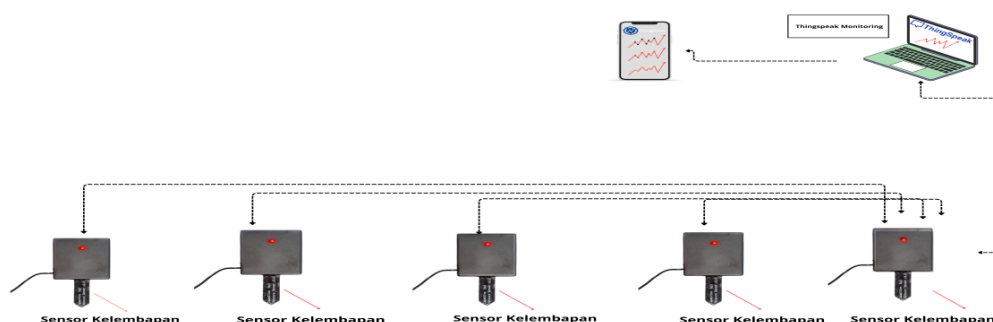
Pada topologi *mesh* yang telah dibuat, terdapat lima node sensor yang ditempatkan sesuai dengan denah perancangan. Node-node sensor ini berfungsi sebagai pemantau kelembapan tanah dan ditempatkan di berbagai lokasi, dengan node 5 berperan sebagai node *aggregator* yang mengumpulkan data dari node 1 hingga node 4. Data yang dikumpulkan oleh node 5 kemudian diteruskan ke *gateway* yang terhubung ke jaringan Wi-fi. Setelah itu, data dikirim ke server ThingSpeak menggunakan protokol MQTT. Dengan demikian, jaringan mesh ini memungkinkan setiap node untuk berkomunikasi dan mengirimkan data secara efisien,

c. Desain Perangkat Keras



Gambar 3 Desain Sistem Monitoring Kelembapan Tanah

Tanaman Cabai *Katokkon* Dengan Konsep *Wireless Sensor Network*



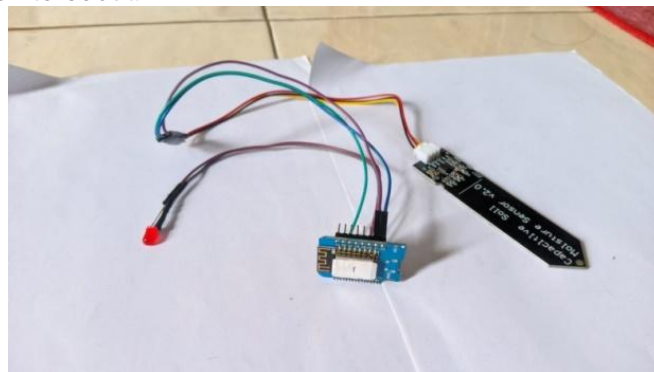
Gambar 4 Monitoring Kelembapan Tanah Tanaman Cabai *Katokkon* Dengan Konsep *Wireless Sensor Network*

Sistem ini menggunakan tegangan 5V DC untuk mengaktifkan sistem yang bersumber dari adaptor 5V DC

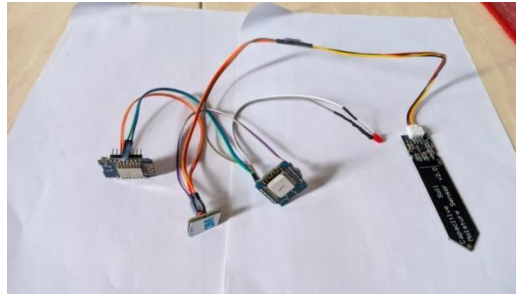
d. Perakitan Komponen

Menyatukan semua komponen merupakan langkah yang selanjutnya dilakukan penulis setelah pembuatan skema diagram selesai dibuat. Semua komponen yang telah diuraikan dan dibuatkan sebuah sistem (diagram) seperti pada gambar 6, selanjutnya dilakukan penerapan secara langsung pada komponen (*hardware*). Berdasarkan gambar 7, komponen utama seperti wemos d1 mini, sensor kelembapan.

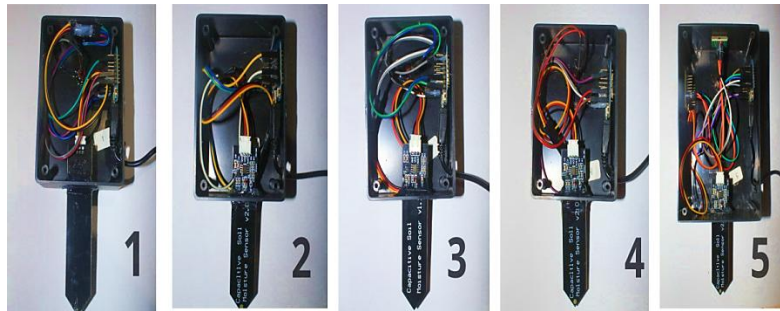
Wemos sebagai controller utama dengan pin yang telah disesuaikan. Penulis memilih wemos dibandingkan dengan mikrokontroler lain dikarenakan wemos lebih mudah digunakan dan dinilai lebih efektif diimplementasikan pada penelitian yang sedang dilakukan yaitu sistem monitoring kelembapan tanah cabai katokkon berbasis *wireless sensor network*. Digunakan kabel jumper yang terdiri dari *jumper male-to-male*, *female-to-male*, dan *female-to-female*. Kabel jumper ini berfungsi sebagai penghubung yang memungkinkan komunikasi antara komponen-komponen tersebut.



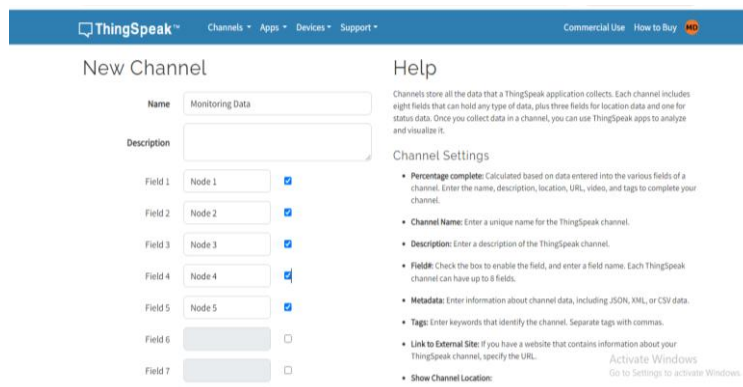
Gambar 7 Koneksi Kabel Wemos Dan Node Sensor Kelembapan



Gambar 5 Koneksi Kabel Wemos Dan Node Sensor Kelembapan Pada Node Sensor Aggregator Dan Gateway.



Gambar 6 Perakitan Keseluruhan Komponen



Gambar 10 Proses Pembuatan *Channel* dan *Widget* Parameter Di *Thingspeak*

Pada gambar 10, terlihat beberapa pengaturan untuk membuat channel beserta *widget* parameter-nya di *Thingspeak*. Hasil dari proses pada gambar 10 terdapat pada gambar 9 yang menampilkan 5 *widget* parameter yang masing-masing menunjukkan nilai grafik tiap sensornya.

e. Implementasi



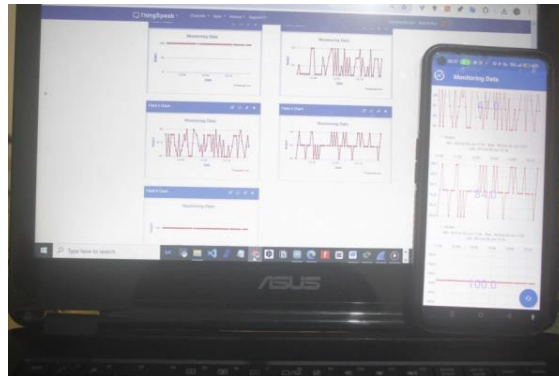
Gambar 11 Implementasi Sensor

Hasil akhir dari perakitan dan pemasangan node sensor yang digunakan untuk memonitor kelembapan tanah di beberapa titik penelitian dimana node sensor dihubungkan dengan adaptor 5V dari sumber listrik.



Gambar 12 Tampilan Fisik Keseluruhan

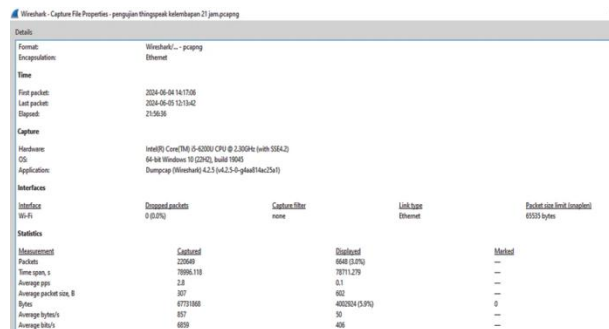
Berdasarkan desain sistem pada gambar 4.5, maka bentuk fisik dari monitoring kelembapan tanah tanaman cabai *katokkon* dengan konsep *wireless sensor network* terdapat pada gambar 12.



Gambar 13 Tampilan Visual Monitoring Thingspeak

f. Pengujian

Pengujian *QOS(Quality Of Service)* parameter *Packet Loss, Delay dan Througput* terhadap monitoring kelembapan tanah tanaman cabai *katokkon* dengan konsep *wireless sensor network* menggunakan metode pengamatan dengan wireshark. Awalnya sistem akan diaktifkan dengan cara menghubungkan semua node sensor dengan menggunakan adaptor 5V Selanjutnya, laptop diaktifkan untuk membuka thingspeak di *browser* kemudian dilakukan uji coba monitoring dan menganalisis jaringan menggunakan *software* wireshark selama 21 jam 56 menit.



Measurement	Captured	Displayed	Method
Packets	220649	6648 (3.0%)	—
Total bytes	76986116	30711279	—
Average packet size, B	347	462	—
Bytes	87721660	4022024 (4.59%)	—
Average bytes/s	857	50	—
Average bits/s	6859	406	—

Gambar 14 Statistik Hasil Pengujian *Wireshark*

Aplikasi *Wireshark* pada Gambar 14 ini kemudian digunakan untuk mengetahui nilai *Packet Loss, Delay dan Througput* yang didapatkan ketika melakukan pengiriman data. Kemudian dari hasil *capture* *Wireshark* di analisis menggunakan persamaan standar TIPHON, seperti berikut:

Persamaan (1) untuk mencari *packet loss* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Packet Loss} &= \frac{(\text{Packet Data Dikirim} - \text{Packet Data Diterima})}{\text{Paket Data yang dikirim}} : x 100 = \\
 &= \frac{(220,649 - 214,001)}{220,649} : x 100 \\
 &= \frac{6,648}{220,649} : x 100 = \mathbf{3,0}
 \end{aligned}$$

Persamaan (2) untuk mencari *delay* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Delay} &= \frac{\text{Total Waktu Pengiriman Data}}{\text{Total Paket Data}-1} = \\ &= \frac{78996.118}{220.649-1} = 358,0 \text{ ms} \end{aligned}$$

Persamaan (3) untuk mencari *throughput* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Throughput} &= \frac{\text{Jumlah paket dikirim}}{\text{Waktu Pengiriman}} = \\ &= \frac{220.649}{78996.118} = 0,00279 \text{ kbps} \end{aligned}$$

Adapun hasil dari pengujian *QoS(Quality Of Service)* parameter *packet loss*, *delay* dan *throughput* pada sistem dengan mengikuti standar TIPHON dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2 Hasil Pengujian Parameter QoS(*Quality Of Service*)

No	Parameter	Persentase Hasil Pengamatan	Kategori
1	<i>Packet Loss</i>	6648(3,0%)	Memuaskan
2	<i>Delay</i>	358ms	Cukup memuaskan
3.	<i>Throughput</i>	0,00279 kbps	Kurang memuaskan

Pembahasan

Dari tahap perancangan sistem dimulai dengan pemilihan komponen yang akan digunakan kemudian dilanjutkan dengan perancangan perangkat keras menggunakan beberapa *software*. Alat ini menggunakan 5 node sensor kelembapan tanah yang terhubung dalam topologi *mesh* untuk komunikasi perangkatnya dan menggunakan *protokol* MQTT , di mana setiap sensor dilengkapi dengan lampu LED sebagai penanda status, dan node kelima berfungsi sebagai sensor *aggregator* yang terhubung ke *gateway* wemos d1 mini melalui kabel. Sistem ini dihubungkan ke sumber daya dan membentuk jaringan mesh untuk pengiriman data kelembapan tanah cabai katokkon secara nirkabel. Setiap node sensor mengukur kelembapan tanah secara periodik dan mengirim data ke *node aggregator* yang kemudian mengirimkannya ke *gateway ESP8266*. *Gateway* ini mengirimkan data ke server ThingSpeak melalui Wi-Fi, di mana data diolah dan divisualisasikan dalam bentuk *line chart* secara *real-time*.

Selanjutnya pengujian *QoS(Quality Of Service)* parameter *packet loss*, *delay* dan *throughput* dilakukan menggunakan aplikasi wireshark yang kemudian hasil dari capture *Wireshark* dianalisis. Berdasarkan hasil pengujian *QoS(Quality Of Service)* dari pernyataan persamaan nomor 1 persentase *packet loss* yang didapatkan yaitu 3.0% dari 0% yang diharapkan sehingga dikategorikan "memuaskan", untuk pernyataan persamaan nomor 2 persentase *delay* yang didapatkan yaitu 358ms dari 0% yang diharapkan sehingga dikategorikan "cukup memuaskan", pernyataan nomor 3 persentase *throughput* yang didapatkan yaitu 0,00279 kbps dari 100% yang diharapkan sehingga dikategorikan "kurang memuaskan" yang dapat dipengaruhi oleh interfensi jaringan, *bandwidth*, *delay* dan *packet loss*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa meskipun pada pengujiannya menunjukkan indikator kurang memuaskan pada *throughput* sistem ini dapat digunakan sebagai monitoring kelembapan tanah tanaman cabai *katokkon* dengan konsep *wireless sensor network* dengan memaksimalkan perangkat yang digunakan untuk monitoring oleh petani.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kelembapan tanah berbasis jaringan sensor nirkabel dengan lima node sensor dan topologi mesh menggunakan protokol MQTT berfungsi dengan baik untuk mengukur dan mengirim data kelembapan tanah cabai katokkon secara real-time. Setiap sensor dilengkapi dengan lampu LED sebagai penanda status, dan satu node bertindak sebagai sensor *aggregator* yang terhubung ke *gateway* Wemos D1 Mini. Hasil pengujian *Quality of Service (QoS)* menunjukkan variasi dengan *packet loss* sebesar 3.0% "memuaskan", *delay* sebesar 358ms "cukup memuaskan", dan *throughput* sebesar 0.00279 kbps "kurang memuaskan". Meskipun pada pengujian *throughput* masuk kategori kurang memuaskan tapi sistem ini tetap dapat memberikan solusi efektif bagi petani untuk memantau kelembapan tanah secara *real-time* dan nirkabel. Dengan optimalisasi lebih lanjut, sistem ini berpotensi meningkatkan kinerja dan

mendukung pengelolaan pertanian yang lebih efisien.

Penelitian ini kiranya dapat dikembangkan dengan beberapa saran Menggunakan energi terbarukan panel panel surya untuk daya sensor untuk memaksimalkan monitoring yang jauh dari sumber listrik dan menerapkan pemantauan multi-parameter dengan menambahkan sensor ph, suhu, dan nutrisi tanah. Melakukan integrasi dengan sistem irigasi.

REFERENSI

- A. S. Iryani and A. D. M. Bali, "Farmer Group of Cabe Bakul (Lada Katokkon) in Rantepao District, North Toraja Regency," *Mattawang J. Pengabd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–35, 2021, doi: 10.35877/454ri.mattawang204.
- K. Suci and I. K. Putri, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Cabe Merah (Studi Kasus Di Kecamatan Kuranji, Kota Padang) Factors Affecting Red Branch Production (Case Study in Kuranji District, Padang City)," *Unes J. Mhs. Pertan.*, vol. 4, no. 2, pp. 132–141, 2020, [Online]. Available: <http://faperta.ekasakti.org>
- W. Ziaulhaq and D. R. Amalia, "Pelaksanaan Budidaya Cabai Rawit sebagai Kebutuhan Pangan Masyarakat," *Indones. J. Agric. Environ. Anal.*, vol. 1, no. 1, pp. 27–36, 2022, doi: 10.55927/ijaea.v1i1.812.
- V. A. Rahardjo and D. Setiyadi, "Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering Implementasi Sensor Pengukur Kelembapan Tanah Dan Penyiraman Otomatis Serta Monitoring Pada Kebun Tanaman Cabai Rawit," *Homepage*, vol. 3, no. 2, pp. 106–115, 2021, [Online]. Available: <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- A. Suryaningrat, D. Kurnianto, And R. A. Rochmanto, "Sistem Monitoring Kelembaban Tanaman Cabai Rawit menggunakan Irigasi Tetes Gravitasi berbasis Internet Of Things (IoT)," *Elkomika J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 3, p. 568, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i3.568.
- N. P. K. Tanaman et al., "Sistem Pemantau Kondisi Lingkungan Pertanian Tanaman Pangan dengan NodeMCU ESP8266 dan Raspberry Pi Berbasis IoT," *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 1, p. 28, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.55650.
- A. Rabak et al., "Sensor system for precision agriculture smart watering can," *Results Eng.*, vol. 19, no. May, p. 101297, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101297.
- W. P. Putra, E. Ismantohadi, M. Qomarrudin, T. Informatika, P. Negeri, and I. Pendahuluan, "Sistem Monitoring Tanaman Hortikultura Pertanian," *J. Teknol. dan Inf. UNIKOM*, vol. 9, no. 1, pp. 45–54, 2019.
- A. Kurniawan, S. Sulitiadi, and A. Ristiono, "Monitoring Iklim Mikro pada Greenhouse Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT) Berbasis Thingspeak Microclimate Monitoring of Greenhouse in Real Time Using Thingspeak-Based Internet of Things (IoT)," *J. Tek. Pertan. Lampung*, vol. 10, no. 4, pp. 468–480, 2021, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v10.i4.468-480>
- T. Vissenno and N. Fath, "Monitoring Sistem Kelembapan Tanah Pada Tanaman Tomat Berbasis IoT (Internet Of Things)," *Maestro*, vol. 3, no. 1, pp. 107–115, 2020.
- A. Morchid, R. El Alami, A. A. Raezah, and Y. Sabbar, "Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges," *Ain Shams Eng. J.*, no. September, p. 102509, 2023, doi: 10.1016/j.asej.2023.102509.
- C. Wibisono Darmawan, S. R. U A Sompie, and F. D. Kambey, "Implementasi Internet of Things pada Monitoring Kecepatan Kendaraan Bermotor," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 9, no. 14, pp. 91–100, 2020.
- S. Megawati, "Pengembangan Sistem Teknologi Internet of Things Yang Perlu Dikembangkan Negara Indonesia," *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 19–26, 2021, doi: 10.26740/jjeet.v5n1.p19-26.
- A. Arafat, S. Ratna, W. Wagino, and I. Ibrahim, "Perancangan Dan Pengujian Alat Untuk Monitoring Kelembapan Tanah Dan Pemberian Pupuk Cair Pada Tanaman Cabai Berbasis Internet Of Things," *Technol. J. Ilm.*, vol. 12, no. 4, p. 286, 2021, doi: 10.31602/tji.v12i4.5639.
- E. F. Dwi Permatasari, A. G. Putrada, and M. Abdurrohman, "Analisis Perbandingan Performansi MQTT dan HTTP pada Platform IoT Node-Red," *e-Proceeding Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 8559–8569, 2019.

- dan M. Y. Ainun Arsyi Sahifa, Rachmad Setiawan, "Pengiriman Data Berbasis Internet of Things untuk Monitoring Sistem Hemodialisis Secara Jarak Jauh," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 1, p. 6, 2020.
- H. H. Abrianto and K. Sari, "Sistem Monitoring Dan Pengendalian Data Suhu Ruang Navigasi Jarak Jauh Menggunakan WEMOS D1 Mini," vol. 4, no. 1, pp. 38–49, 2021.
- N. P. K. Tanaman et al., "Design and Build a Soil Nutrient Measurement Tool for Citrus Plants Using NPK Soil Sensors Based on the Internet of Things," *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 1, p. 28, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.55650.
- B. Ferdian Hutabarat, M. Peslinof, M. F. Afrianto, and Y. Fendriani, "Sistem Basis Data Pemantauan Parameter Air Berbasis Internet Of Things (Iot) Dengan Platform Thingspeak," *J. Online Phys.*, vol. 8, no. 2, pp. 42–50, 2023, doi: 10.22437/jop.v8i2.24365.
- F. Saputra, B. Cut, and F. Nilamsari, "Analisis Perbandingan Tiga Software Terhadap Pengukuran Quality Of service (QoS) Pada Pengukuran Jaringan Wireless Internet," *J. Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 33–40, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/JTI/article/view/7275>
- S. Prahara, Martanto, and I. Ali, "Optimalisasi Jaringan Internet Dengan Optimalisasi Load Balancing Menggunakan Parameter QOS (Studi Kasus: SMK Bina Warga Lemahabang)," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 1, p. 212, 2023.