

DEVELOPMENT OF SOIL MOISTURE MONITORING SYSTEM AND AUTOMATIC WATERING BASED ON WSN WITH LORA

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN KELEMBABAN TANAH DAN PENYIRAMAN AIR OTOMATIS BERBASIS WSN DENGAN LORA

Prama Hawelayuda¹, Agus Wagyuana^{2*}

¹Broadband Multimedia, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia
Email: prama.hawelayuda.te20@mhswn.pnj.ac.id

²Broadband Multimedia, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia
Email: agus.wagyuana@elektro.pnj.ac.id

Received: October 10, 2024 Revised: November 28, 2024 Published: Januari 31, 2025
DOI: <https://doi.org/10.24912/tesla.v26i2.32263>.

Abstract

In the agricultural sector, soil is one of the main factors that must be considered. So far, monitoring soil moisture content has been done manually by bringing soil samples taken in the field to the laboratory. To increase the effectiveness in monitoring and managing soil moisture content, the use of a Remote Monitoring System is needed. The design of this system uses Lynx32 device as the main microcontroller, arduino IDE to program each component. This system uses a sensor that will read soil moisture levels which will display the value and status on the LCD, then the sensor node will send data to the gateway. This sensor is placed directly on the plant soil. The average value of moisture content measurement using the sensor is 60.55 and the average value of measurement with a soil meter is 60 with an average difference of 2.35, so the results of these two measurements can be said to be appropriate. The average RSSI value of -83.3 indicates that the signal strength between the sensor node and the gateway is good and the average SNR value of 7.78 is in the good enough category. When the data received by the gateway shows humidity $\leq 50\%$, the solenoid valve turns on and will stop automatically if the soil moisture level has reached 80%. The maximum distance of the tool's measurement range is 250 meters with the presence or absence of obstructions still acceptable to the gateway.

Keywords: Antares, IoT, LoRa, Soil moisture, Wireless Sensor Network

Abstrak

Pada sektor pertanian, tanah adalah salah satu faktor utama yang harus diperhatikan. Selama ini pemantauan kadar kelembaban pada tanah dilakukan secara manual dengan membawa contoh tanah yang diambil pada ladang lalu dibawa ke laboratorium. Guna meningkatkan efektivitas dalam memantau serta mengatur kadar kelembaban tanah, maka penggunaan Sistem Monitoring Jarak Jauh sangat diperlukan. Perancangan sistem Aini menggunakan perangkat Lynx32 sebagai mikrokontroler utama, arduino IDE untuk memprogram setiap komponennya. Sistem ini menggunakan sensor yang akan membaca kadar kelembaban tanah yang nantinya menampilkan nilai dan status pada LCD, kemudian node sensor akan mengirimkan data ke gateway. Sensor ini ditempatkan langsung pada tanah tanaman. Nilai rata-rata pengukuran kadar kelembaban menggunakan sensor adalah 60,55 dan rata-rata nilai pengukuran dengan soil meter adalah 60 dengan nilai rata-rata perbedaan 2,35, maka hasil dari kedua pengukuran ini dapat dikatakan sesuai. Nilai rata-rata RSSI adalah -83,3 nilai ini menunjukkan bahwa kekuatan sinyal antara node sensor dan gateway bagus dan nilai rata-rata SNR adalah 7,78 termasuk kategori cukup bagus. Saat data yang diterima oleh gateway menunjukkan kelembaban $\leq 50\%$ maka solenoid valve menyala dan akan berhenti otomatis jika kadar kelembaban tanah sudah mencapai 80%. Jarak maksimal dari pengukuran jangkauan alat adalah 250 meter dengan ada atau tidak adanya penghalang maka tetap dapat diterima oleh gateway.

Kata Kunci: Antares, IoT, Kelembaban tanah, LoRa, Wireless Sensor Network

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN KELEMBABAN TANAH DAN PENYIRAMAN AIR OTOMATIS BERBASIS WSN DENGAN LORA

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi di Indonesia sudah dimanfaatkan hampir pada segala bidang, termasuk bidang pertanian. Indonesia merupakan negara agraris dengan kekayaan sumber daya alam yang besar dan perlu dimanfaatkan dengan optimal, salah satunya sumber daya dari sektor pertanian, kontribusi sektor pertanian Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar 12,98%. Pada sektor pertanian, tanah merupakan salah satu faktor utamanya yang diperhatikan secara khusus guna mendukung hasil tanaman yang diharapkan.[1]

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait alat pemantauan kelembaban tanah dengan penyiraman otomatis, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Eric Alfonsius dan tim yang berjudul Sistem Monitoring dan Kontroling Prototype Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IOT (*Internet of Things*) pada tahun 2024[2], penelitian tersebut menjelaskan bahwa pemberian air pada tanaman sangat rentan. Jika pemberian air dilakukan secara berlebihan maupun kekurangan akan memberikan dampak buruk untuk tanaman, maka dari itu dalam pemberian air diperlukan penjadwalan yang teratur [3]

Sensor kelembaban tanah adalah sensor yang dapat mendeteksi intensitas air di dalam tanah. Sensor kelembaban tanah terdiri dari dua probe untuk menyalurkan arus melalui tanah, kemudian membaca resistensi guna mendapatkan nilai tingkat kelembaban tanah[4]. Penggunaan sensor kelembaban tanah menyebabkan ketepatan penjadwalan dalam penyiraman air pada tanaman, sensor ini dapat membaca nilai kelembaban lebih akurat dan kecepatan dalam menampilkan hasil guna memantau perkembangan tanaman yang optimal.[5]

Wireless Sensor Network (WSN) adalah contoh sistem yang dapat digunakan untuk pemantauan ini. WSN adalah sebuah jaringan *ad-hoc* yang terdiri dari perangkat kecil dengan kapasitas energi dan sumber daya komputasi terbatas dengan sensor pengumpulan data parameter. Kemudian terdapat protokol komunikasi yang mendukung hal tersebut, yaitu teknologi LoRa yang juga merupakan bagian dari komunikasi *Low Power Wide Area Network*. [6]

Long Range (LoRa) adalah teknologi yang digunakan untuk membuat hubungan komunikasi jarak jauh. LoRa menggunakan modulasi *Chirp Spread Spectrum* dengan opsi untuk menambah *Spreading Faktor* dan *bandwidth* yang berbeda untuk mengoptimalkan modulasi untuk memenuhi kisaran dan persyaratan data sehingga dapat menjangkau area yang luas dan mempertahankan karakteristik *Low Power* [7]

Jaringan LoRa ialah jaringan pendukung dari pengembangan *Internet of Things* (IoT) dengan daya rendah yang dapat mencakup jarak komunikasi yang sangat luas hingga 15 km dan memiliki ketergantungan pada kepadatan *end device* pada jarak tersebut[8].

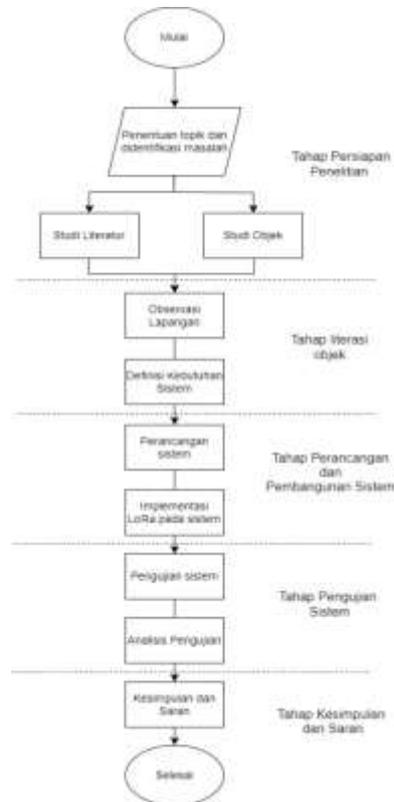
MQTT adalah *Message Queueing Telemetry Transport* yaitu protokol yang digunakan untuk keperluan *Internet of Things* yang berjalan di atas TCP/IP dan bersifat *open source*, karena pesan yang dikirim dan diterima sangat ringan, sehingga dapat mempercepat pengiriman data, *bandwidth* yang dibutuhkan kecil, dan menggunakan daya yang tidak besar[9]. MQTT menerapkan komunikasi 2 arah sehingga komunikasi tidak hanya berfokus dari mesin pada jaringan tetapi berlaku sebaliknya[10].

Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu yang dapat dijadikan

pertimbangan, maka dilakukan perancangan pemantauan kadar kelembaban tanah dan penyiraman otomatis berbasis WSN dengan LoRa.

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir dari metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema metodologi penelitian

A. Tahap Persiapan Penelitian

Tahap awal yang dilakukan penelitian ini untuk menentukan topik dan identifikasi masalah. Penentuan topik dan identifikasi bertujuan mencari hal-hal baru dibidang WSN, yang nantinya hasil dari penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam bidang pertanian. Lalu dilanjutkan dengan mempelajari literatur-literatur objek yang berhubungan dengan topik penelitian. Studi objek dilakukan dengan membaca jurnal, buku, dan referensi penelitian yang sudah ada.

B. Tahapan Literasi Objek

Observasi dilakukan untuk mengetahui informasi-informasi yang dibutuhkan pada rancang bangun pemantauan dan penyiraman otomatis berbasis WSN dengan LoRa. Tahap observasi berfokus untuk hal-hal untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan, mengamati proses, dan melakukan wawancara kepada para petani. Pada tahap ini, hasil dari observasi lapangan akan digunakan untuk memastikan hal-hal apa saja yang dibutuhkan untuk membuat sistem pemantauan dan penyiraman otomatis berbasis WSN dengan LoRa, kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem untuk diterapkan pada suatu lahan (lahan perkebunan terbuka).

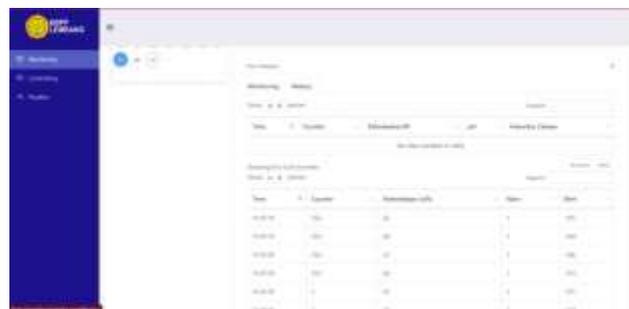
C. Tahap Perancangan dan Pembangunan Sistem

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN KELEMBABAN TANAH DAN PENYIRAMAN AIR OTOMATIS BERBASIS WSN DENGAN LORA

Pada tahap ini, hasil dari literasi objek akan dianalisis kemudian akan dilanjutkan untuk merancang sebuah arsitektur sistem yang dihasilkan dengan pertimbangan referensi. Kemudian dilanjutkan dengan pemilihan komponen yang akan dibutuhkan, apabila komponen belum sesuai maka akan dilakukannya literasi objek kembali untuk menentukan komponen kembali, jika sudah sesuai maka akan lanjut ke tahap perancangan. Kemudian setelah komponen selesai dirancang maka tahap selanjutnya pengujian komponen, pada tahap ini apabila komponen sudah memenuhi kebutuhan langkah selanjutnya ialah menguji komponen yang sudah dirancang keseluruhan.

D. Tahap Pengujian Sistem dan Analisis

Pengujian sistem ini bertujuan untuk melihat apakah sistem dapat berjalan sesuai dengan perancangan. Pengujian sistem pemantauan kelembaban tanah dan penyiraman otomatis berbasis WSN dengan LoRa dimulai dengan pemasangan sensor kelembaban tanah pada lahan. Kemudian sensor akan membaca kadar kelembaban tanah dan akan diproses oleh mikrokontroler lalu akan ditampilkan pada LCD dan akan diteruskan ke *gateway*. Setelah itu, *gateway* akan menerima data dan melanjutkan pengiriman ke *platform* Antares serta *gateway* akan memproses apabila data kelembaban tanah yang diterima kurang dari 50% maka mikrokontroler akan memberikan aksi untuk menyalakan penyiraman, dan penyiraman akan otomatis mati apabila *gateway* menerima data kelembaban tanah lebih dari 80%. Kemudian, data yang ditampung pada *platform* Antares akan ditampilkan pada halaman *website* untuk mempermudah *user* dan dapat melihat data kelembaban tanah secara *real-time* dan dapat mengoperasikan penyiraman secara manual.

Gambar 2. Halaman pemantauan pada *website*Gambar 3. Halaman riwayat pemantauan pada *website*

E. Tahap Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah kesimpulan mengenai sistem pemantauan penyiraman otomatis berbasis WSN dengan LoRa yang sudah dirancang. Poin-poin kesimpulan bertujuan untuk menjawab masalah-masalah yang telah diteruskan pada tahap sebelumnya. Kesimpulan akan dibuat sesuai dengan hasil pada saat pengujian dan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dibuat sebelumnya. Selanjutnya memberikan saran-saran yang dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Pelatihan Pertanian (BBPP) Lembang. Berdasarkan dengan hasil permasalahan, maka dirancanglah sebuah sistem pemantauan kelembaban tanah dan penyiraman otomatis berbasis WSN dengan LoRa yang dapat memantau kadar kelembaban tanah secara *real-time*. Perangkat keras yang dirancang pada penelitian ini terdiri dari dua bagian, yaitu sisi pengirim dan sisi penerima.

A. Sisi Pengirim

Perangkat yang digunakan sebagai pengirim ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perangkat pengirim

B. Sisi Penerima

Gambar 4 menunjukkan bagian dari sisi penerima



Gambar 4. Perangkat pada sisi perangkat

C. Platform Antares

Antares adalah suatu Horizontal IoT Platform. Dengan pelayanan secara umum guna membuat solusi vertical IoT dapat menyesuaikan dengan arsitektur yang umum

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN KELEMBABAN TANAH DAN PENYIRAMAN AIR OTOMATIS BERBASIS WSN DENGAN LORA

digunakan. Dengan menghilangkan kebutuhan akan infrastruktur *cloud* dan *backed API*, Antares memungkinkan pengembang mengelola aplikasi tanpa khawatir tentang infrastruktur[11].

D. Sistem Pengujian

Tabel 1 menunjukkan daftar perangkat yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Tabel daftar perangkat

No	Perangkat	Deskripsi
1	Lynx32	Sebagai mikrokontroler
2	Modul Lora RFM95	Untuk pengiriman data dari <i>node</i> sensor ke <i>gateway</i>
3	<i>Capacitive Soil Moisture</i> Sensor v1.2	Berfungsi untuk membaca kadar kelembaban tanah pada lahan pertanian
4	Modul Relay Board 2ch Channel 5V 30A Opto Aktif High Low	Berfungsi untuk menyalakan dan mematikan <i>solenoid valve</i>
5	<i>Solenoid valve</i> 24V DC	Berfungsi untuk membuka dan menutup saluran pipa untuk penyiraman pada lahan
6	<i>Power Adaptor</i> USB	Berfungsi sebagai <i>power</i> untuk mikrokontroler
7	<i>Power Supply</i>	Berfungsi untuk menyalakan <i>solenoid valve</i>
8	Panel Surya	Berfungsi untuk sumber daya pada <i>node</i> yang akan diletakkan di tengah-tengah ladang
9	<i>Platform</i> Antares	Berfungsi untuk menampung data yang dikirimkan dari <i>gateway</i>

Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan boks panel di lahan untuk memantau kelembaban tanah pada lahan, kemudian sensor akan membaca kelembaban tanah yang akan diproses oleh Lynx32 sebagai mikrokontroler, lalu akan ditampilkan pada LCD untuk melihat secara langsung pada alat kemudian sekaligus mengirimkan data ke *gateway*. Setelah itu *gateway* akan menerima data dan akan diteruskan ke *platform* Antares, apabila data kelembaban tanah yang diterima kurang dari 50%, maka akan menyalakan penyiraman otomatis, dan apabila *gateway* sudah menerima data lebih dari 80% pada saat penyiraman berjalan maka penyiraman akan mati dengan sendirinya. Kemudian data yang ditampung pada *platform* Antares dapat dilihat melalui *website* untuk mempermudah pengguna melihat kadar kelembaban secara langsung dan dapat mengontrol penyiraman.

E. Pengujian *Node* Sensor

Pengujian node sensor menguji sensor kelembaban tanah pada ladang terbuka. selama proses ini, data dari node sensor dikirim ke *gateway* untuk dilihat dan dianalisis. Dalam pengujian ini, hasil pengukuran dari node sensor akan mencakup kelembaban tanah pada lahan terbuka. data ini digunakan sebagai acuan dalam perancangan pembangunan. Pengujian keakuratan data pembaca sensor soil moisture, tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji akurasi dan persentase kekurang akuratan dibandingkan dengan soil meter. Hasil pengukuran kelembaban tanah pada tanaman lahan terbuka terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor soil moisture

NO	Waktu pengujian	Hasil <i>Capacitive Soil Moisture</i> (%)	Hasil <i>Soil Meter</i> (%)	Nilai Perbedaan (%)
1	16:54:11	63	60	3
2	16:54:31	66	60	6
3	16:54:51	59	60	1
4	16:55:11	63	60	3
5	16:55:31	62	60	2
6	16:55:51	59	60	1
7	16:56:11	62	60	2
8	16:56:31	60	60	0
9	16:56:51	58	60	2
10	16:57:11	57	60	3
11	16:57:31	62	60	2
12	16:57:51	60	60	0
13	16:58:11	60	60	0
14	16:58:31	59	60	1
15	16:58:51	60	60	0
16	16:59:11	65	60	5
17	16:59:31	52	60	8
18	16:59:51	59	60	1
19	17:00:11	59	60	1
20	17:00:31	66	60	6
Rata - Rata nilai sensor <i>soil moisture</i>		60,55	60	2,35

Berdasarkan pengujian yang didapatkan pada Tabel 2, sensor *soil moisture* berhasil menentukan kelembaban tanah dalam 20 percobaan dengan perbedaan waktu validitas data. Nilai pada sensor *soil moisture* dibandingkan dengan nilai pada *soil meter* dan menghasilkan nilai persentase perbedaan rata-rata sebesar 60,55, kemudian *pada soil meter* menunjukkan rata-rata sebesar 60, lalu pada nilai rata rata selisih senilai 2,35.

F. Pengujian Gateway

Pengujian *gateway* mengevaluasi berbagai parameter yang diterima dari node, seperti kelembaban tanah, RSSI, dan SNR. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap data sensor yang diterima oleh *gateway*. Pengujian ini dilakukan untuk

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN KELEMBABAN TANAH DAN PENYIRAMAN AIR OTOMATIS BERBASIS WSN DENGAN LORA

mengkonfirmasi bahwa sistem dapat secara konsisten menerima data dari node ke gateway tanpa kehilangan data. Lalu dengan menerima data soil moisture dari node dapat memastikan Lynx32 pada gateway dapat menganalisa jika data sensor *soil moisture*. Hasil pengujian gateway terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian gateway

NO	Waktu pengujian	Hasil <i>Capacitive Soil Moisture (%)</i>	RSSI	SNR	Relay/Solenoid Valve	Status
1	16:54:11	63	-96	2	Off	Diterima
2	16:54:31	66	-105	6.25	Off	Diterima
3	16:54:51	59	-105	4.25	Off	Diterima
4	16:55:11	63	-104	6.25	Off	Diterima
5	16:55:31	62	-104	3.5	Off	Diterima
6	16:55:51	59	-98	7	Off	Diterima
7	16:56:11	62	-97	7.75	Off	Diterima
8	16:56:31	60	-98	8.5	Off	Diterima
9	16:56:51	58	-68	9.25	Off	Diterima
10	16:57:11	57	-67	9	Off	Diterima
11	16:57:31	62	-83	9	Off	Diterima
12	16:57:51	60	-70	8.5	Off	Diterima
13	16:58:11	60	-69	9.5	Off	Diterima
14	16:58:31	59	-73	8.5	Off	Diterima
15	16:58:51	60	-74	9.25	Off	Diterima
16	16:59:11	65	-72	9	Off	Diterima
17	16:59:31	52	-71	9.25	Off	Diterima
18	16:59:51	59	-71	10	Off	Diterima
19	17:00:11	59	-71	9.25	Off	Diterima
20	17:00:31	66	-70	9.25	Off	Diterima
Rata - rata		60,55	-83,3	7,7625		

Berdasarkan pengujian yang didapat pada Tabel 3 gateway berhasil menerima nilai kelembaban tanah dalam 20 percobaan dengan perbedaan waktu validitas data. Didapatkan nilai rata rata sensor *soil moisture* yang diterima oleh gateway sebesar 60,55. kemudian gateway menerima RSSI dengan rata rata nilai – 83,3 yang berarti masuk dalam kategori bagus. Lalu gateway menerima SNR dengan rata rata nilai 7,8 dan masuk dalam kategori cukup. Setelah itu, dari 20 data percobaan status valve off dikarenakan gateway menerima data *soil moisture* di atas 50%.

G. Pengujian Penyiraman

Pengujian penyiraman otomatis dilakukan dengan memantau respons dari sistem terhadap tingkat kelembaban tanah. Ketika gateway menerima kelembaban tanah di bawah 50% maka secara otomatis gateway akan mengaktifkan relay untuk menghidupkan *solenoid valve*, kemudian penyiraman akan melakukan penyiraman hingga tingkat kelembaban tanah melebihi 80% maka penyiraman akan otomatis mati.

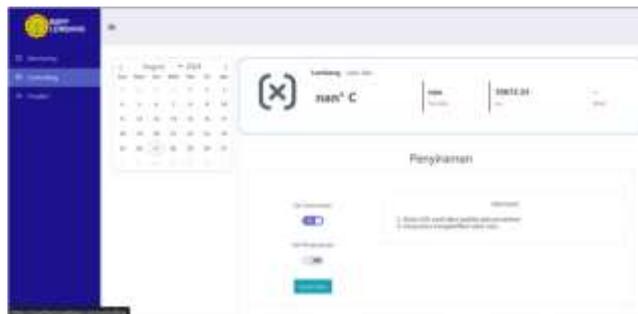
Tabel 6. Pengujian Penyiraman Otomatis

Kelembaban Tanah (%)	Relay/Solenoid valve
0 – 20	Aktif
21 – 40	Aktif
41 – 50	Aktif
51 - 60	Aktif
61 – 70	Aktif
71 – 79	Aktif
80 – 90	Tidak Aktif
90 - 100	Tidak Aktif

Berdasarkan pengujian yang didapatkan pada Tabel 6, penyiraman otomatis berhasil berjalan pada saat kelembaban di bawah 50% penyiraman akan menyala lalu pada saat kelembaban menyentuh 80% penyiraman akan mati. Gambar 6 menunjukkan tampilan LCD pada *gateway* dan Gambar 7 menunjukkan kontroling pada website.



Gambar 6. Tampilan penyiraman menyala apabila *gateway* menerima soil di bawah 50% dan akan mati apabila *gateway* menerima soil diatas 80%



Gambar 7. Halaman website bagian menu kontroling penyiraman otomatis.

KESIMPULAN

Sistem pemantauan kelembaban tanah dan penyiraman otomatis berbasis WSN dengan LoRa menggunakan protokol MQTT berhasil dirancang dengan baik. Sistem ini menggunakan sensor *soil moisture* untuk mendeteksi kelembaban tanah, dengan pengolahan data dilakukan oleh mikrokontroler Lynx32. Data dari sensor dikirimkan ke platform Antares, dan ketika data yang diterima oleh *gateway* menunjukkan kelembaban tanah kurang dari 50%, relay akan diaktifkan, menghidupkan *solenoid valve* untuk penyiraman otomatis.

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN KELEMBABAN TANAH DAN PENYIRAMAN AIR OTOMATIS BERBASIS WSN DENGAN LORA

Kinerja sistem ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata pengukuran kadar kelembaban tanah menggunakan sensor soil moisture adalah 60,55, hampir sesuai dengan nilai yang diperoleh dari Soil Meter, yaitu 60. Pada *gateway*, rata-rata kelembaban tanah tercatat 60,55%, yang termasuk kategori ideal. Nilai RSSI rata-rata adalah -83,3, tergolong bagus, dan nilai SNR rata-rata 7,78, termasuk kategori cukup. Relay atau *solenoid valve* tetap dalam kondisi off karena kelembaban tanah di atas 50%. Penyiraman otomatis berhasil aktif saat kelembaban tanah $\leq 50\%$ dan berhenti saat kelembaban tanah $\geq 80\%$. Berdasarkan hasil tersebut, sistem pemantauan kelembaban tanah dan penyiraman otomatis ini bekerja sesuai harapan, menunjukkan kinerja yang handal dan efektif dalam menjaga kelembaban tanah pada tingkat yang ideal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Limanseto, "Kembangkan Ketangguhan Sektor Pertanian, Indonesia Raih Penghargaan dari International Rice Research Institute." Accessed: May 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/4443/kembangkan-ketangguhan-sektor-pertanian-indonesia-raih-penghargaan-dari-international-rice-research-institute>
- [2] E. Alfonsius *et al.*, "SISTEM MONITORING DAN KONTROLING PROTOTYPE PENYIRAM TANAMAN OTOMATIS BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS)," 2024. [Online]. Available: <https://ejurnal.teknokrat.ac.id/index.php/teknoinfo/index>
- [3] BBPP Lembang, "BBPP Lembang." Accessed: Aug. 01, 2024. [Online]. Available: <https://bbpplembang.bppsdp.pertanian.go.id/>
- [4] T. Suryana, "Capacitive Soil Moisture Sensor Untuk Mengukur Kelembaban Tanah Mengukur kelembaban Tanah Dengan Menggunakan Moisture Sensor," 2021. [Online]. Available: <https://iot.ciwaruga.comhttp://iot.ciwaruga.com>
- [5] V. Cherlinka, "Sensor Kelembaban Tanah: Alat Cerdas untuk Pertanian Presisi." Accessed: Jul. 31, 2024. [Online]. Available: <https://eos.com/blog/soil-moisture-sensor/>
- [6] A. Patriana *et al.*, "Optimalisasi Penggunaan Sensor Pada Sistem Penyiraman Tanaman Kangkung Menggunakan Metode WSN," vol. 9, no. 1, 2024.
- [7] Andhika Arsyraf, "Wireless Sensor Network'." Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available: <https://synapsis.id/internet-of-things-vs-wireless-sensor-networks.html>
- [8] A. S. Ayuningtyas, I. Uke, K. Usman, and I. Alinursafa, "Analisis Perancangan Jaringan LoRa (Long Range) di Kota Surabaya LoRa(LongRange) Network Planning Analysis in Surabaya City," 2020.
- [9] adityaeka, "MQTT." Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available: <https://iotstudio.labs.telkomuniversity.ac.id/berkenalan-dengan-mqtt/>
- [10] M. Saiqul Umam, S. Adi Wibowo, and Y. Agus Pranoto, "Implementasi Protokol MQTT Pada Aplikasi Smart Garden Berbasis IoT (Internet of Things)," 2023.
- [11] Antares, "Antares." Accessed: Aug. 01, 2024. [Online]. Available: <https://docs.antares.id/>