

**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* KETINGGIAN AIR
BERBASIS *WIRELESS SENSOR NETWORK* DI AGROWISATA BANJARSARI
JOMBANG**

Muhammad Hildan Saputra

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
email : muhammadhildan.22107@mhs.unesa.ac.id

Sayyidul Aulia Alamsyah¹, Rifqi Firmansyah¹, Dwi Anggorowati Rahayu²

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

²Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
email : sayyidulalamsyah@unesa.ac.id, rifqifirmansyah@unesa.ac.id, dwirahayu@unesa.ac.id

Abstrak

Pemantauan ketinggian air di Desa Banjarsari Kecamatan Bandarkedungmulyo Kabupaten Jombang masih dilakukan secara manual, sehingga tidak responsif terhadap perubahan cepat yang merugikan ekosistem perairan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring ketinggian air berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) dengan komunikasi LoRa. Sistem terdiri dari water level sensor, ESP32, modul LoRa E220-400T22D, dan dashboard web berbasis MQTT, dengan topologi komunikasi point-to-point yang sederhana dan efisien. Hasil pengujian menunjukkan sensor water level mencapai akurasi 96,54% dengan error 3,46%, komunikasi LoRa stabil hingga jarak 147 meter dengan RSSI optimal -34 dBm, dan dashboard menampilkan data real-time dengan latency rata-rata 110–200 ms. Sistem WSN-LoRa ini terbukti feasible dan reliable untuk monitoring ketinggian air real-time dan layak diterapkan sebagai solusi pengelolaan air sawah yang berkelanjutan.

Kata Kunci: *Wireless Sensor Network, LoRa, Monitoring Ketinggian Air, IoT.*

Abstract

Water level monitoring in Banjarsari Village, Bandarkedungmulyo Sub-district, Jombang Regency, is still performed manually, resulting in low responsiveness to rapid changes that may negatively impact aquatic ecosystems. This study aims to develop a *Wireless Sensor Network* (WSN)-based water level monitoring system using LoRa communication. The system integrates a water level sensor, ESP32 microcontroller, LoRa E220-400T22D (400 MHz) transceiver module, and an MQTT-based web monitoring dashboard using a simple and efficient point-to-point communication topology. Experimental results demonstrate that the water level sensor achieved 96.54% accuracy with a 3.46% error rate, LoRa communication remained stable up to 147 meters with an optimal RSSI of -34 dBm, and real-time data delivery to the dashboard exhibited an average latency of 110–200 ms. The proposed WSN-LoRa system is proven to be feasible and reliable for real-time water level monitoring and is suitable for deployment as a sustainable solution for long-term rice field water management.

Keywords: *Wireless Sensor Network, LoRa, Water level Monitoring, IoT.*

PENDAHULUAN

Air merupakan komponen esensial dalam kehidupan makhluk hidup karena mendukung hampir seluruh proses biologis, termasuk metabolisme, pertanian, industri, dan ekosistem secara keseluruhan (Rao et al., 2024). Air sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman melalui sistem irigasi (Desti & Ula,

2021). Air yang baik memiliki kualitas yang sesuai untuk mendukung berbagai kebutuhan, baik bagi makhluk hidup maupun dalam sektor pertanian (Anatolia S.M. Exposto et al., 2021). Kualitas air irigasi yang optimal ditentukan oleh beberapa faktor, seperti pH, kandungan mineral, tingkat salinitas, serta keberadaan zat berbahaya yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman (W. A. F. Damiba et al., 2025). Air irigasi yang bersih dan memiliki

keseimbangan mineral yang tepat akan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman serta mengurangi risiko penyakit akibat kontaminasi pathogen (Gupta & Kumar, 2024). Ketersediaan air yang cukup dan berkelanjutan menjadi tantangan utama dalam meningkatkan produktivitas lahan pertanian, terutama di daerah rentan kekeringan. Oleh karena itu, pengelolaan kualitas dan kuantitas air irigasi menjadi hal krusial dalam mendukung ketahanan pangan nasional (Gupta & Kumar, 2024).

Irigasi yang efektif berkontribusi langsung pada peningkatan hasil panen dan efisiensi air, dengan menjaga kelembapan tanah pada tingkat optimal (Vallejo-Gómez et al., 2023). Namun, di Indonesia, sistem irigasi pertanian masih banyak yang bergantung pada metode manual yang tidak efisien dan menyita banyak waktu serta tenaga (Fatmawati et al., 2024). Keterbatasan akses terhadap informasi *real-time* mengenai kondisi lahan dan kebutuhan air tanaman menjadi kendala dalam pengambilan keputusan yang tepat waktu (Bouali et al., 2022).

Berbagai teknologi banyak yang membantu meringankan beban pengelolaan sumber daya alam dan meningkatkan efisiensi dalam berbagai sektor (Bredikhina, 2023). Salah satu penerapan teknologi seperti sistem *Wireless Sensor Network* (WSN) dan *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi solusi yang efektif khususnya di sektor pertanian (García et al., 2020). *Wireless Sensor Network* (WSN) adalah sebuah sistem jaringan *sensor* yang terdiri dari sejumlah *node sensor* nirkabel yang saling terhubung. Secara umum, WSN digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan pemantauan kondisi lingkungan secara berkelanjutan dan *real-time*, seperti dalam bidang pertanian, industri, kesehatan, dan *smart city* (Pratama & Suakanto, 2015). WSN memainkan peran penting dalam pemantauan berbagai parameter lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan tanaman dan kinerja sistem irigasi. Sebagai contoh dalam sistem irigasi berbasis WSN, *sensor-sensor* yang terpasang pada *node* dapat mengukur parameter seperti kelembapan tanah, suhu, dan ketinggian air. Data yang dikumpulkan oleh *sensor* kemudian dikirimkan menggunakan teknologi komunikasi nirkabel, seperti LoRa (*Long Range*) ke sebuah perangkat di *Base station*. Setelah data terkumpul di *gateway*, informasi ini akan diteruskan ke *server* untuk dianalisis lebih lanjut. Proses analisis ini memastikan bahwa tanaman mendapatkan air yang cukup dan sesuai dengan kebutuhan

mereka. Jika data menunjukkan kondisi yang tidak sesuai misalnya tanah terlalu kering atau tanah terlalu lembap, sistem memberi sinyal untuk memulai atau menghentikan aliran air untuk mencegah kekeringan atau *over-irigasi*.

Teknologi LoRa dipilih dalam banyak aplikasi WSN karena kemampuannya dalam mengirimkan data jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah, menjadikannya cocok untuk digunakan di area pertanian yang luas dan terisolasi, di mana pasokan energi terbatas (Pitu & Gaitan, 2025; Singh & Jain, 2024). Implementasi LoRa dalam sistem irigasi pertanian memberikan keuntungan tambahan dengan memfasilitasi pengumpulan data dari *sensor* yang tersebar di seluruh lahan dan mengontrol tiap katup irigasi dengan cara yang lebih efisien, mengurangi pemborosan energi serta meningkatkan produktivitas pertanian secara keseluruhan (Obaideen et al., 2022). Pengambilan keputusan yang didukung oleh data *real-time* memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi lapangan, sehingga potensi masalah seperti kekeringan atau *over-irigasi* dapat diminimalisir (Mohsin Tahir & Omran Al-Sulttani, 2024). Implementasi sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan WSN diharapkan dapat meningkatkan produktivitas pertanian di Indonesia untuk memastikan keberlanjutan sumber daya air, dan mendukung ketahanan pangan nasional (Badreldeen et al., 2022).

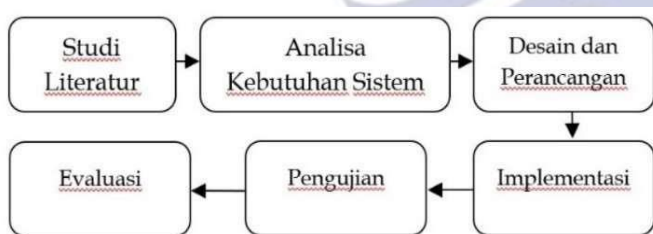
Di Desa Banjarsari Kecamatan Bandarkedungmulyo Kabupaten Jombang, sistem pemantauan ketinggian air sawah masih dilakukan secara manual tanpa dukungan teknologi, sehingga responsivitas terhadap perubahan cepat kondisi air menjadi rendah dan rentan terhadap gagal panen akibat kekeringan atau *over-irigasi*. Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan mengembangkan sistem monitoring ketinggian air berbasis *Wireless Sensor Network* dan komunikasi LoRa yang dapat beroperasi mandiri di area terpencil tanpa ketergantungan pada infrastruktur jaringan konvensional, sehingga memungkinkan petani Banjarsari untuk melakukan pemantauan *real-time*, pengambilan keputusan berbasis data yang cepat dan akurat, meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi, serta mengurangi beban kerja manual dalam pengelolaan sawah secara berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem (*engineering research*) dengan metode Rancang Bangun (*Research and Development/R&D*), yang

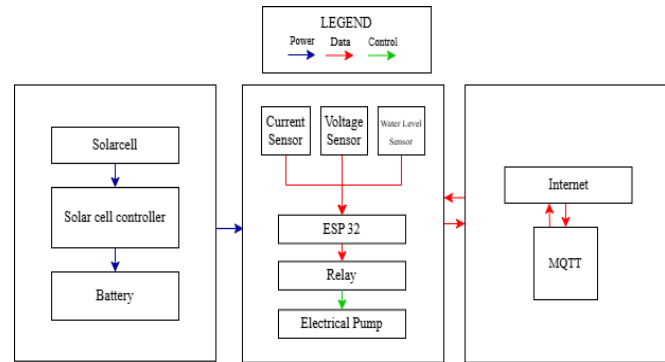
Rancang Bangun Sistem Ketinggian Air Berbasis *Wireless Sensor Network* Di Agrowisata Banjarsari Jombang

bertujuan untuk mengembangkan sebuah prototipe sistem *monitoring* irigasi air sawah berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Wireless Sensor Network* (WSN) menggunakan komunikasi nirkabel LoRa. Desain penelitian ini berfokus pada proses perancangan, implementasi, serta pengujian sistem yang terdiri dari dua elemen utama, yaitu *Wireless Sensor Node* dan *Base station*, yang saling terhubung melalui jaringan LoRa. *Wireless Sensor Node* dilengkapi dengan *sensor* ketinggian air untuk memantau kondisi sawah secara *real-time*, sedangkan *Base station* berfungsi sebagai penerima data, pengolah informasi. Pendekatan rancang bangun digunakan karena penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memahami fenomena, tetapi juga menciptakan solusi teknologi dalam bentuk sistem fungsional yang dapat diuji dan dievaluasi. Oleh karena itu, penelitian ini menitikberatkan pada tahapan perencanaan sistem, integrasi perangkat keras dan lunak, komunikasi data nirkabel, serta analisis kinerja sistem terhadap parameter-parameter tertentu, seperti akurasi pembacaan *sensor*, keandalan pengiriman data, dan respons sistem dalam pengendalian irigasi otomatis. Penelitian ini bersifat terapan dan berorientasi pada pengembangan solusi teknologi tepat guna dalam bidang pertanian, khususnya dalam pengelolaan sumber daya air secara efisien dan berkelanjutan melalui pemanfaatan teknologi IoT dan LoRa. Rancangan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Rancangan Penelitian

Pada Gambar 2 perancangan komunikasi menggunakan *base station* dan *node sensor* dengan sisi *base station* yang menerima data melalui modul LoRa kemudian diolah ulang oleh unit mikrokontroler untuk memastikan informasi yang dikirimkan sesuai dengan format yang dibutuhkan oleh sistem pemantauan berbasis internet.



Gambar 2. Diagram Blok Perancangan Alat

Base station juga ditenagai oleh *solar cell*, modul *charger*, dan baterai yang bekerja dengan prinsip yang sama pada *Wireless Sensor Node*, sehingga mampu beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada sumber daya eksternal. Setelah data diterima, diolah, dan divalidasi, *Base station* mengunggah data tersebut ke *server* internet menggunakan protokol MQTT. Protokol MQTT dipilih karena ringan, efisien, dan dirancang untuk komunikasi IoT yang membutuhkan konsumsi *bandwidth* rendah. Melalui koneksi internet, *Base station* mengirimkan data ketinggian air ke *broker* MQTT, sehingga informasi dapat diakses secara jarak jauh melalui *dashboard monitoring* maupun aplikasi yang mendukung protokol tersebut. Pengujian terhadap setiap *sensor* dan komponen yang digunakan bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh perangkat dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Perhitungan dalam pengujian alat dirancang menggunakan rumus :

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{NilaiSensor} - \text{NilaiAlatUkur}|}{\text{Nilai Alat Ukur}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Rata Rata} = \frac{\sum \text{Jumlah Data Hasil Uji}}{\text{Banyak Data Uji}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100\% - \text{Rata-rata Error \%} \quad (3)$$

$$\text{Latency} = \text{waktu dashboard} - \text{waktu node} \quad (4)$$

Kinerja komunikasi LoRa antar *node* dan *gateway* dievaluasi melalui parameter utama, yaitu kekuatan sinyal (RSSI). Nilai RSSI dicatat pada setiap jarak pengujian untuk mengetahui kestabilan transmisi data dalam berbagai kondisi lingkungan, di mana semakin kecil (lebih negatif) nilai RSSI menandakan sinyal semakin lemah. Pengujian *dashboard* dengan platform MQTT dilakukan untuk memastikan bahwa proses pengiriman data *water level* dari LoRa *transmitter* menuju *Base station*, kemudian diteruskan ke *server* melalui protokol MQTT, dapat berlangsung secara stabil tanpa mengalami *node* yang

signifikan. Pengujian ini mencakup pengamatan waktu respons antara data yang diterima oleh *Base station* melalui modul LoRa dengan waktu data tersebut tampil pada *dashboard website*, serta memastikan bahwa nilai ketinggian air yang diukur *sensor* dapat dipublikasikan dan diterima secara konsisten melalui *broker MQTT* menggunakan MQTT.js pada sisi *web*. Analisis terhadap ketiga parameter ini memberikan gambaran mengenai keandalan, jangkauan efektif, kualitas layanan komunikasi LoRa, dan kelayakan sistem *monitoring* ketinggian air secara keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi perangkat keras pada sistem *monitoring* ketinggian air dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen utama ke dalam satu rangkaian yang tersusun secara rapi dan efisien. *Water level Sensor* dihubungkan ke ESP32 sebagai pusat pengolahan data, di mana sinyal analog dari *sensor* dikonversi menjadi data digital untuk selanjutnya dikirimkan melalui modul LoRa. Seluruh rangkaian, termasuk ESP32, modul LoRa, dan sistem catu daya berbasis *solar cell-charger*-baterai, ditempatkan dalam satu layout PCB yang dibuat kompak untuk memudahkan pemasangan di lapangan.



Gambar 3. Implementasi Alat

Pada Gambar 3, desain PCB berukuran kecil memungkinkan perangkat ditempatkan di dalam kotak pelindung sehingga aman dari debu, percikan air, dan gangguan lingkungan lainnya. Sistem juga dirancang fleksibel dengan dukungan suplai daya antara 5–12 volt, menyesuaikan dengan karakteristik ESP32 yang digunakan pada *node sensor*. Proses pengambilan data pada sistem *monitoring* ketinggian air dilakukan secara otomatis melalui *sensor water level* yang

terhubung ke mikrokontroler ESP32. *Sensor* ini membaca perubahan ketinggian permukaan air dalam bentuk sinyal analog, kemudian dikonversi menjadi nilai digital oleh ADC internal ESP32. Pengambilan sampel dilakukan secara periodik sesuai interval yang telah ditentukan, sehingga data yang dikirimkan merepresentasikan kondisi aktual di lapangan.

1. Pengujian *Water level Sensor*

Pengujian akurasi dilakukan untuk menilai kinerja *Sensor Water level* dalam membaca ketinggian air yang kemudian ditampilkan secara *real-time* pada *Web Dashboard*. *Sensor* melakukan pembacaan nilai ketinggian air dalam satuan sentimeter dan mengirimkan data tersebut ke *Base station* melalui LoRa sebelum dipublikasikan ke *server MQTT*.

Tabel 1. Pengujian Sensor Ketinggian Air

No	Waktu	Sensor (cm)	Penggaris	Error (%)
1	5/12/202516:00	1.02	1	2
2	5/12/202516:05	2.06	2	3
3	5/12/202516:10	3.09	3	3
4	5/12/202516:15	3.13	3	4.5
5	5/12/202516:20	3.14	3	4.8
Rata Rata Error				3.46
Akurasi				96,54

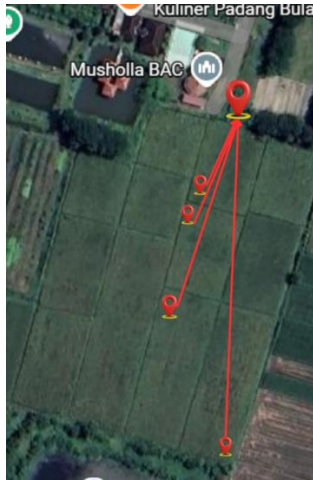
Berdasarkan Tabel 1, sensor menunjukkan rata-rata error sebesar 3,46% ditunjukkan oleh persamaan (1) dan (2) yang mengindikasikan bahwa sensor memiliki akurasi pengukuran sebesar 96,54% dengan persamaan (3) dan termasuk dalam kategori akurasi yang baik untuk aplikasi pemantauan level air. *Sensor* memang memiliki karakteristik bahwa nilainya dapat sedikit berubah akibat faktor lingkungan seperti kelembaban, suhu air, dan karakteristik *dielektrik media* (Ding et al., 2025). Meski demikian, seluruh error masih berada di bawah 5%, sehingga *sensor* dapat dikategorikan layak digunakan dalam sistem *monitoring* level air.

2. Pengujian Kinerja LoRa

Pengujian LoRa difokuskan pada parameter RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) untuk mengevaluasi kualitas sinyal antara *Wireless Sensor*

Rancang Bangun Sistem Ketinggian Air Berbasis *Wireless Sensor Network* Di Agrowisata Banjarsari Jombang

Node dan *Base station*. Setiap kali *sensor* mengirimkan data ketinggian air, *Base station* mencatat nilai RSSI untuk mengetahui kekuatan sinyal pada jarak yang ditentukan pada Gambar 4.



Gambar 4. Jarak Pengukuran RSSI *Node*

Tabel 2. Pengujian Kinerja LoRa

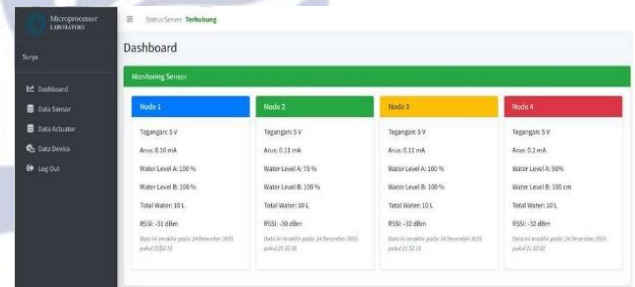
No	Jarak Pengujian (m)	Waktu Pengambilan	RSSI (dBm)
1	40	5/12/2025 17:01	-36
2	40	5/12/2025 17:02	-34
3	40	5/12/2025 17:03	-40
4	43	5/12/2025 17:05	-38
5	43	5/12/2025 17:06	-42
6	43	5/12/2025 17:07	-34
7	86	5/12/2025 17:10	-34
8	86	5/12/2025 17:11	-34
9	86	5/12/2025 17:12	-38
10	147	5/12/2025 17:15	-36
11	147	5/12/2025 17:16	-44
12	147	5/12/2025 17:17	-50

Dari Tabel 2, terlihat sistem LoRa point-to-point pada penelitian ini mencapai RSSI optimal -34 dBm pada jarak 40-86 meter, dan masih mempertahankan sinyal yang dapat diterima dengan nilai -50 dBm hingga jarak 147 meter. Dibandingkan dengan penelitian (Pitu & Gaitan, 2025), LoRaWAN dengan gateway

mencapai RSSI -120 dBm pada jangkauan 2-5 km dengan dukungan network server terpusat. Sementara itu, (Singh & Jain, 2024) melaporkan bahwa LoRaWAN di area urban dapat mencapai RSSI -137 dBm pada jangkauan 10-15 km Sino-Inst. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem LoRa point-to-point memberikan sinyal yang lebih kuat pada jarak dekat (40-86 meter) dibanding LoRaWAN yang menggunakan gateway dan network server yang memperluas cakupan sinyal hingga kilometer. Karakteristik RSSI yang kuat pada jarak dekat ini sangat sesuai untuk aplikasi monitoring ketinggian air di area pertanian yang terbatas secara geografis.

3. Pengujian *Dashboard*

Pengujian *Dashboard* dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem *monitoring* berbasis web dalam menampilkan data *sensor* secara *real-time*. Parameter yang diukur adalah *latency*, yaitu selisih waktu antara data diterima di *Node* dan data tampil di *dashboard* dengan persamaan (4).



Gambar 5. *Dashboard Monitoring*

Selama pengujian, *latency* dicatat setiap kali *Node* mengirimkan data *water level* ke *Base station* dan diteruskan ke *server* MQTT, kemudian ditampilkan pada *dashboard* menggunakan MQTT.js

Tabel 3 Pengujian *Node Node Sensor* dan *Dashboard*

No	Waktu Pada Node	Waktu Pada Dashboard	Latency (ms)
1	08:00:00.500	08:00:00.650	150
2	08:00:05.500	08:00:05.620	120
3	08:00:10.500	08:00:10.700	200
4	08:00:15.500	08:00:15.630	130
5	08:00:20.500	08:00:20.690	190
6	08:00:25.500	08:00:25.610	110

Berdasarkan Tabel 3, nilai latency berada dikisaran 110–200 ms yang menunjukkan sistem mampu menampilkan data dengan delay minimal dan konsisten. Standar industri untuk *real-time* monitoring air pertanian menetapkan threshold latency 2–3 detik untuk deteksi perubahan kondisi yang signifikan (Borankulova et al., 2025), sehingga latency 110–200 ms pada penelitian ini jauh lebih baik dan termasuk dalam kategori aman untuk aplikasi monitoring *real-time*. Perubahan kondisi *water level* dapat terlihat hampir seketika tanpa keterlambatan signifikan, memastikan alur komunikasi data dari *Node*, *Base Station*, *server* MQTT, hingga dashboard web berjalan stabil dan handal

PENUTUP

Telah berhasil dirancang dan dibangun prototipe sistem *monitoring* ketinggian air *real-time* berbasis *Wireless Sensor Network* menggunakan teknologi LoRa sebagai media komunikasi nirkabel utama. Sistem terdiri atas beberapa *Wireless Sensor Node* yang dilengkapi *sensor water level* dan satu *Base station* berbasis ESP32 yang berfungsi sebagai *gateway* LoRa sekaligus penghubung ke internet melalui *protokol* MQTT. Mekanisme komunikasi LoRa dengan *topologi point-to-point* menunjukkan keandalan yang tinggi dalam pengiriman data dari *node sensor* ke *Base station* hingga jarak 147 meter di lingkungan sawah, dengan nilai RSSI terbaik –34 dBm dan terendah –50 dBm, sehingga terbukti stabil dan dapat diandalkan untuk mendukung *monitoring* ketinggian air berbasis WSN.

Performa prototipe WSN yang dikembangkan menunjukkan hasil evaluasi yang baik, dengan akurasi *sensor water level* menghasilkan rata-rata kesalahan pengukuran 3,46% dibanding pengukuran manual pada rentang 0–5 cm. Komunikasi LoRa bertopologi *point-to-point* mampu mengirim data secara stabil hingga 147 meter di lingkungan uji, dengan nilai RSSI terbaik –34 dBm dan terendah –50 dBm. Selain itu, integrasi sistem berbasis MQTT dan *dashboard web* berhasil menampilkan data ketinggian air secara *real-time* dengan latensi rata-rata 110–200 ms, menandakan pengiriman data yang andal dan memenuhi kebutuhan *monitoring* pada skala pengujian. Sistem *monitoring* ketinggian air yang telah dibangun sangat disarankan untuk diperluas dengan penambahan *sensor* kualitas air sehingga dapat memberikan gambaran menyeluruh terhadap kondisi lahan pertanian. *Sensor* pH,

Dissolved Oxygen (DO), temperatur air, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan *turbidity* sangat relevan untuk lahan pertanian yang rentan tercemar limbah domestik dan industri. Dengan data *multi-parameter* ini, sistem tidak lagi hanya mendeteksi fluktuasi tinggi muka air, tetapi juga dapat memberikan peringatan dini terhadap penurunan kualitas air yang berpotensi membahayakan produktivitas tanaman atau mengganggu sistem irigasi. Untuk menjamin keandalan jangka panjang di lingkungan pertanian yang beragam kondisinya, pemilihan *sensor* harus mengutamakan tipe *industrial-grade* dengan housing *stainless steel* 316L atau titanium, dilengkapi isolasi gel dan kalibrasi digital. *Sensor* DO berbasis *optical* (*luminescence*) lebih dianjurkan daripada tipe *galvanic* karena tidak memerlukan penggantian membran secara rutin dan tetap akurat meskipun terdapat *biofilm*. Integrasi semua *sensor* tersebut dapat dilakukan pada *node* yang sama atau pada *node* khusus yang ditempatkan di titik-titik kritis lahan pertanian, dengan komunikasi tetap memanfaatkan LoRa agar konsumsi daya tetap rendah dan jangkauan tetap luas. Pada sisi perangkat lunak, *dashboard* berbasis web perlu dikembangkan menjadi platform *monitoring multi-parameter* yang dilengkapi grafik historis, tren 24 jam/7 hari, serta notifikasi otomatis melalui WhatsApp, Telegram, dan email ketika salah satu parameter melewati ambang batas aman (contoh: DO < 3 mg/L, pH < 6 atau > 9, *turbidity* > 50 NTU). Penambahan fitur *machine learning* sederhana berbasis *threshold* atau *regresi* juga dapat dipertimbangkan untuk memprediksi risiko penurunan kualitas air atau gangguan irigasi beberapa jam ke depan berdasarkan pola historis data.

DAFTAR PUSTAKA

- Anatolia S.M. Exposto, L., Nahak Lino, M., A.C. Quim, J., Juvi Goncalves, M., & Pereira Vicente, H. (2021). Efforts To Improve Clean Water Quality To Support Community Health. *KESANS: International Journal of Health and Science*, 1(3), 236–251. <https://doi.org/10.54543/kesans.v1i3.24>
- Badreldeen, men M., Ragab, M. A., Sedhom, A., Mamdouh, W. M., & Ali Ragab, M. (2022). IoT based Smart Irrigation System. *International Journal of Industry and Sustainable Development (IJISD)*, 3(1). <http://ijisd.journals.ekb.eg>
- Borankulova, G., Altybayev, G., Tungatarova, A., Yeraliyeva, B., Dulatbayeva, S., Murzakhmetov, A., & Bekbolatov, S. (2025). Development of Real-Time Water-Level Monitoring System for Agriculture.

Rancang Bangun Sistem Ketinggian Air
Berbasis *Wireless Sensor Network* Di Agrowisata Banjarsari Jombang

- Sensors*, 25(17), 5564.
<https://doi.org/10.3390/s25175564>
- Bouali, E. T., Abid, M. R., Boufounas, E. M., Hamed, T. A., & Benhaddou, D. (2022). Renewable Energy Integration into Cloud IoT-Based Smart Agriculture. *IEEE Access*, 10, 1175–1191.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138160>
- Bredikhina, V. (2023). Legal support of the use of Industry 4.0 technologies in the field of natural resource management and environmental protection. *Law and Innovations*, 4 (44), 40–48.
[https://doi.org/10.37772/2518-1718-2023-4\(44\)-6](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2023-4(44)-6)
- Desti, I., & Ula, A. (2021). ANALISIS SUMBER DAYA ALAM AIR. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, 3(2), 17–24.
- Ding, N., Zhu, Q., Cherqui, F., Walcker, N., Bertrand-Krajewski, J.-L., & Hamel, P. (2025). Laboratory performance assessment of low-cost water level sensor for field monitoring in the tropics. *Water Research X*, 27, 100298.
<https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100298>
- Fatmawati, T., Syaifudin, Y. W., Rahmadani, A., Rosandy, M., & Kyaw, H. H. S. (2024). Optimizing Irrigation Infrastructure Management with Web-Based Technologies and OpenStreetMap Integration. *International Journal of Frontier Technology and Engineering*, 3(1), 54–68.
<https://doi.org/10.33795/ijfte.v3i1.6280>
- García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and iot systems for irrigation in precision agriculture. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 4). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/s20041042>
- Gupta, S. K., & Kumar, V. (2024). Critical Review of Irrigation Water Quality Parameters for Assessing Sodium and Bicarbonate Hazards and Gypsum Application for Quality Improvement. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 16(2), 194–206.
<https://doi.org/10.56093/jsswq.v16i2.158032>
- Mohsin Tahir, D., & Omran Al-Sulttani, A. (2024). Smart Irrigation Technique in the Fixed Irrigation System Based on Soil Moisture Content. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1374(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1374/1/012061>
- Obaideen, K., Yousef, B. A. A., AIMallahi, M. N., Tan, Y. C., Mahmoud, M., Jaber, H., & Ramadan, M. (2022). An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus*, 7.
<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>
- Pitu, F., & Gaitan, N. C. (2025). Implementing a Wide-Area Network and Low Power Solution Using Long-Range Wide-Area Network Technology. *Technologies*, 13(1), 36.
<https://doi.org/10.3390/technologies13010036>
- Pratama, I. P., & Suakanto, S. (2015). *Wireless Sensor Network*. Informatika.
- Rao, A., Laura, J. S., & Dhanial, G. (2024). Water conservation for environmental sustainability. In *Water, The Environment, and the Sustainable Development Goals* (pp. 85–106). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15354-9.00012-8>
- Singh, R., & Jain, S. (2024). *LoRaWAN Protocols in IoT: Challenges, Innovations, and Future Directions*.
<https://doi.org/10.20944/preprints202412.1577.v1>
- Vallejo-Gómez, D., Osorio, M., & Hincapié, C. A. (2023). Smart Irrigation Systems in Agriculture: A Systematic Review. In *Agronomy* (Vol. 13, Issue 2). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13020342>
- W. A. F. Damiba, J. M. Gathenya, J. M. Raude, & P. G. Home. (2025). An optimized irrigation water quality index for evaluating surface water sustainability status of an agricultural watershed. *Water Environment Research*, 97.