

Sistem IoT untuk Monitoring dan Kontrol Kualitas Air Tambak Udang Vanname Berbasis LoRa

¹ Feri Cahyono, ² Suryadhi, ³ Iradiratu Diah Prahmana K

^{1,2,3} Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah, Surabaya

¹cahyono.ftik22@hangtuah.ac, ²suryadhi@hangtuah.ac.id, ³iradiratu@hangtuah.ac.id

Abstract - Water quality is an important factor in the success of vannamei shrimp farming because it affects shrimp growth, health, and survival. Water quality parameters, such as temperature, acidity (pH), dissolved oxygen (DO), and salinity, need to be monitored regularly to maintain suitable culture conditions. However, manual monitoring has limitations because it cannot be conducted continuously and is less effective in ponds with unstable internet access. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and controlling water quality in vannamei shrimp ponds using LoRa wireless communication. This study employed a Research and Development (R&D) method with an experimental approach. The developed system uses an ESP32 microcontroller, a DS18B20 temperature sensor, a pH sensor, a dissolved oxygen sensor, and a TDS (Total Dissolved Solids) sensor to determine salinity conditions based on the amount of dissolved substances in water, expressed in ppm (parts per million). The system also includes LoRa modules, relays, water pumps, and the Blynk platform for monitoring. Sensor data are transmitted via LoRa to the receiver unit and then forwarded to the Blynk platform for real-time visualization. The test results show that the system is capable of monitoring temperature, pH, DO, and salinity conditions in real time. LoRa communication achieved a transmission range of up to 5,000 m in an open area and 1,070 m in an area with multiple obstacles. The salinity control system was also able to automatically activate the pump when the salinity value was outside the range of 400–800 ppm and stop the control process when the value returned to this range. These results indicate that the developed system can support real-time monitoring and control of pond water quality, particularly in areas with limited internet access.

Keywords - Internet of Things, LoRa, Water Quality Monitoring, *Litopenaeus vannamei*, Salinity Control

Abstrak - Kualitas air merupakan faktor penting dalam keberhasilan budidaya udang vanname karena berpengaruh terhadap pertumbuhan, kesehatan, dan tingkat kelangsungan hidup udang. Parameter kualitas air seperti suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (Dissolved Oxygen atau DO), dan salinitas perlu dipantau secara berkala agar tetap berada pada kondisi yang sesuai. Namun, pemantauan secara manual memiliki keterbatasan karena tidak dapat dilakukan secara terus-menerus dan kurang efektif pada tambak dengan akses internet yang tidak stabil. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan kontrol kualitas air tambak udang vanname menggunakan komunikasi nirkabel LoRa. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor DO, sensor TDS (Total Dissolved Solids) untuk mengetahui kondisi salinitas berdasarkan jumlah zat terlarut dalam air dengan satuan ppm (parts per million), modul LoRa, relay, pompa air, dan platform Blynk sebagai media monitoring. Data hasil pembacaan sensor dikirim melalui LoRa ke unit penerima dan diteruskan ke platform Blynk untuk ditampilkan secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau suhu, pH, DO, dan kondisi salinitas secara real-time. Komunikasi LoRa mampu mengirimkan data hingga jarak 5.000 meter pada area terbuka dan 1.070 meter pada kondisi banyak halangan. Sistem kontrol salinitas juga mampu mengaktifkan pompa secara otomatis ketika nilai berada di luar rentang 400–800 ppm dan menghentikan proses kontrol setelah nilai kembali ke rentang tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat membantu proses monitoring dan kontrol kualitas air tambak secara real-time, terutama pada lokasi dengan keterbatasan akses internet.

Kata Kunci - Internet of Things, LoRa, Monitoring Kualitas Air, Udang Vanname, Kontrol Salinitas

I. PENDAHULUAN

Budidaya udang vanname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan salah satu sektor perikanan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan dalam mendukung perekonomian Indonesia. Keberhasilan budidaya udang tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas benih dan pakan, tetapi juga oleh kondisi lingkungan perairan. Pengelolaan kualitas air yang

kurang baik dapat mengganggu pertumbuhan udang dan meningkatkan risiko munculnya penyakit. Oleh karena itu, pemantauan dan pengelolaan kualitas air menjadi salah satu aspek penting dalam kegiatan budidaya udang vanname [1], [2].

Kualitas air berpengaruh terhadap proses metabolisme, aktivitas fisiologis, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup udang. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam budidaya udang vanname meliputi suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (Dissolved Oxygen atau DO), dan salinitas. Perubahan pada parameter tersebut dapat memengaruhi kondisi fisiologis udang sehingga perlu dipantau dan dijaga agar tetap sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan selama proses budidaya [3], [4].

Suhu merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap metabolisme dan pertumbuhan udang vanname. Perubahan suhu yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat mengganggu proses fisiologis udang. Penelitian Se et al. menunjukkan bahwa perbedaan suhu dan salinitas dapat memengaruhi pertumbuhan post larva udang vanname [5]. Selain suhu, nilai pH juga perlu diperhatikan karena perubahan pH dapat memengaruhi kondisi biologis dan kimiawi air tambak. Penelitian Jelinda et al. menunjukkan bahwa perbedaan nilai pH dapat memengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vanname [6].

Oksigen terlarut atau DO juga merupakan parameter penting dalam budidaya karena dibutuhkan dalam proses respirasi dan metabolisme udang. Ketersediaan DO yang tidak mencukupi dapat menyebabkan kondisi lingkungan yang kurang sesuai bagi udang. Selain itu, salinitas berhubungan dengan kemampuan udang dalam mengatur keseimbangan cairan tubuh atau osmoregulasi. Perubahan salinitas yang terlalu besar dapat menyebabkan stres dan mengganggu kondisi udang. Oleh karena itu, pemantauan DO dan salinitas perlu dilakukan bersama dengan parameter kualitas air lainnya untuk memperoleh gambaran kondisi tambak secara lebih menyeluruh [3], [4].

Pada praktiknya, pemantauan kualitas air tambak masih dapat dilakukan menggunakan alat ukur secara manual. Cara tersebut membutuhkan waktu dan tenaga serta memiliki keterbatasan dalam melakukan pengamatan secara terus-menerus. Pemantauan yang tidak dilakukan secara berkala juga dapat menyebabkan perubahan kondisi air terlambat diketahui sehingga tindakan pengelolaan tidak dapat dilakukan dengan segera [2]. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem pemantauan yang mampu memperoleh dan menyampaikan informasi kualitas air secara lebih cepat dan berkelanjutan.

Perkembangan Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas air secara otomatis dan real-time. IoT memungkinkan sensor, mikrokontroler, dan perangkat komunikasi terhubung untuk melakukan pengumpulan serta pertukaran data secara otomatis [7]. Penerapan IoT pada bidang budidaya juga telah dilakukan pada beberapa penelitian. Rachmatullah et al. mengembangkan sistem monitoring kualitas air tambak udang vanname berbasis IoT menggunakan parameter suhu dan TDS serta menampilkan hasil pengukuran secara real-time [8]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa IoT dapat membantu proses pemantauan kondisi tambak, tetapi parameter yang digunakan masih terbatas.

Penelitian lain oleh Astrianda et al. mengembangkan sistem monitoring kualitas air pada budidaya udang dengan parameter suhu, pH, dan kekeruhan serta dilengkapi dengan peringatan ketika terjadi perubahan parameter [9]. Penelitian Hakimi et al. juga mengembangkan sistem kontrol dan monitoring salinitas air tambak berbasis IoT dan LoRa. Pada penelitian tersebut, sensor TDS digunakan untuk membaca kondisi salinitas, sedangkan LoRa digunakan untuk mengirimkan data dari unit pengirim ke unit penerima dan sistem kontrol digunakan untuk menyesuaikan kadar salinitas [10]. Hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi IoT dan LoRa dapat diterapkan untuk monitoring maupun pengendalian kualitas air tambak.

Meskipun demikian, penerapan sistem IoT pada tambak memiliki tantangan pada sisi komunikasi data, terutama pada lokasi yang memiliki keterbatasan atau ketidakstabilan jaringan internet. Koneksi yang tidak stabil dapat menyebabkan keterlambatan atau terputusnya pengiriman data sehingga informasi dari sensor tidak dapat diterima secara konsisten. Oleh karena itu, diperlukan teknologi komunikasi alternatif yang dapat mendukung pengiriman data pada jarak relatif jauh dengan konsumsi daya yang rendah. LoRa (Long Range) merupakan salah satu teknologi komunikasi yang dapat digunakan untuk kebutuhan tersebut. Penerapan LoRa pada sistem pemantauan kualitas air telah menunjukkan potensi penggunaannya pada lingkungan perairan dan area budidaya [11].

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, masih terdapat peluang untuk mengembangkan sistem yang mengintegrasikan beberapa parameter kualitas air dalam satu sistem monitoring sekaligus menyediakan fungsi kontrol otomatis. Penelitian ini mengembangkan sistem IoT untuk memantau suhu, pH, DO, serta kondisi salinitas

berdasarkan pembacaan sensor TDS. Nilai TDS digunakan dalam sistem sebagai dasar untuk mengetahui kondisi salinitas dan dinyatakan dalam satuan ppm. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan melalui LoRa dari unit pengirim ke unit penerima dan selanjutnya diteruskan ke platform Blynk untuk ditampilkan secara real-time.

Selain fungsi monitoring, sistem yang dikembangkan dilengkapi dengan kontrol otomatis terhadap kondisi salinitas. Ketika nilai yang terbaca berada di luar batas yang telah ditentukan, sistem mengaktifkan relay dan pompa untuk melakukan penyesuaian kondisi air. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada penyediaan informasi kualitas air, tetapi juga mengembangkan mekanisme tindakan otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor. Integrasi monitoring empat parameter, komunikasi data berbasis LoRa, dan kontrol otomatis salinitas dalam satu sistem menjadi fokus utama pengembangan pada penelitian ini.

Berdasarkan Tabel 1, penelitian terdahulu telah menerapkan IoT untuk monitoring kualitas air serta LoRa untuk komunikasi jarak jauh dan kontrol salinitas. Namun, penelitian ini berfokus pada integrasi empat parameter kualitas air, yaitu suhu, pH, DO, dan TDS sebagai indikator kondisi salinitas, dalam satu sistem berbasis IoT-LoRa yang dilengkapi kontrol otomatis salinitas.

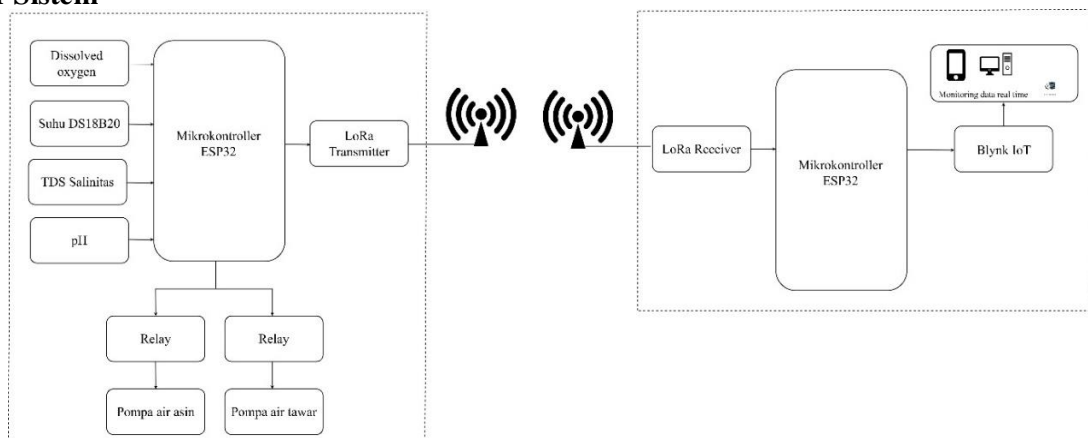
Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Penelitian	Parameter	IoT	LoRa	Kontrol	Kontribusi
1	Rachmatullah et al. [8]	Suhu, TDS	✓	-	-	Monitoring kualitas air
2	Astrianda et al. [9]	Suhu, pH, kekeruhan	✓	-	-	Monitoring dan peringatan
3	Hakimi et al. [10]	TDS/Salinitas	✓	✓	✓	Kontrol salinitas
4	Penelitian ini	Suhu, pH, DO, TDS	✓	✓	✓	Integrasi empat parameter, LoRa, dan kontrol salinitas

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan merancang, membangun, menguji sistem *Internet of Things* (IoT) untuk monitoring dan kontrol kualitas air tambak udang vanname. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor dissolved oxygen (DO), sensor TDS (Total Dissolved Solids) yang digunakan untuk mengetahui tingkat salinitas air berdasarkan jumlah zat terlarut, dengan satuan ppm (parts per million), modul LoRa, relay, pompa air, dan Blynk sebagai media monitoring. Pengembangan sistem mencakup perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, integrasi seluruh komponen, serta pengujian kinerja sistem untuk monitoring, komunikasi data, dan kontrol otomatis salinitas, berikut terdapat perancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

A. Arsitektur Sistem

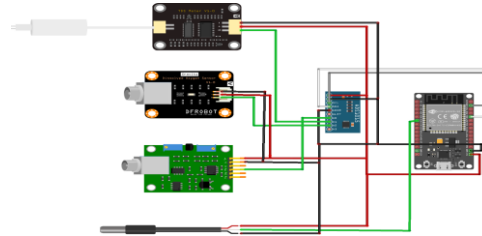


Gambar 1. Arsitektur Sistem

Sistem dirancang menggunakan dua unit utama, yaitu transmitter dan receiver. Unit transmitter menggunakan ESP32 untuk membaca sensor DO, DS18B20, pH, dan TDS. Nilai TDS digunakan untuk memantau kondisi salinitas. Data sensor dikirim melalui LoRa ke unit receiver, dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 kemudian diteruskan ke platform Blynk untuk monitoring secara real-time melalui smartphone atau komputer. Sistem juga memiliki kontrol otomatis salinitas dengan mengaktifkan relay dan pompa ketika nilai TDS berada di luar batas yang telah ditentukan.

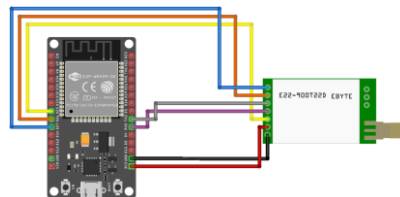
B. Perancangan Perangkat Keras

1. Perancangan Sensor



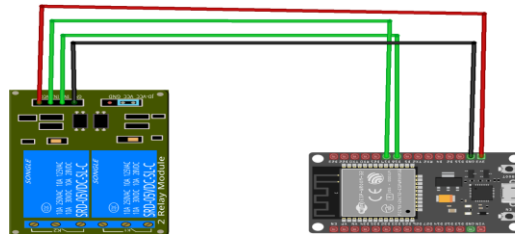
Gambar 2. Rancangan Sensor

2. Perancangan LoRa



Gambar 3. Rancangan LoRa ke ESP32

3. Perancangan Relay



Gambar 4. Rancangan Relay

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Rancangan Alat

1. Gambar 5 menunjukkan hasil rancangan unit pengirim yang ditempatkan di lapangan untuk membaca parameter kualitas air tambak udang vanname.



Gambar 5. Sistem Pengirim

2. Selanjutnya hasil rancangan pada Gambar 6 dari sisi penerima yang difungsikan untuk menerima data sensor suhu, TDS, pH, dan DO kemudian data tersebut melalui modul ESP32 dihubungkan melalui internet untuk ditampilkan pada platform Blynk monitoring.



Gambar 6. Sistem Penerima

B. Pengujian Sensor

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, seluruh sensor berfungsi dengan baik dan mampu membaca parameter kualitas air sesuai dengan fungsinya. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap sensor dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat referensi. Nilai error tertinggi yang diperoleh pada sensor DO sebesar 3,85% dan TDS sebesar 3,51%, pada sensor pH memiliki nilai 2,75 kemudian error terkecil didapat dari sensor suhu yaitu memiliki nilai 0,34%. Meskipun terdapat perbedaan hasil pembacaan antara sensor dan alat referensi, nilai error yang diperoleh masih berada pada batas yang dapat diterima sehingga seluruh sensor dinilai layak digunakan pada sistem monitoring. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan data pengukuran yang cukup baik untuk mendukung proses pemantauan kualitas air secara real-time.

Tabel 2. Data pengujian sensor

No	Sensor	Alat referensi	Jumlah Pengujian	Error Tertinggi (%)	Keterangan
1	Sensor Suhu	Thermometer	10	0,34	Berfungsi dengan baik
2	Sensor pH	Larutan Buffer	10	2,75	Berfungsi dengan baik
3	Sensor DO	DO meter	10	3,85	Berfungsi dengan baik
4	Sensor TDS	Larutan Buffer	10	3,51	Berfungsi dengan baik

C. Pengujian Sistem Kontrol

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, sistem kontrol salinitas berhasil bekerja sesuai dengan logika yang telah dirancang. Ketika nilai salinitas berada di luar batas ideal, yaitu 400–800 ppm, sistem secara otomatis mengaktifkan relay dan pompa untuk menyesuaikan kadar salinitas air. Pada kondisi salinitas tinggi, sistem menambahkan air tawar sehingga nilai salinitas berubah dari 843 ppm menjadi 788 ppm dalam waktu 1 menit 41 detik. Sebaliknya, pada kondisi salinitas rendah, sistem menambahkan air asin sehingga nilai salinitas meningkat dari 235 ppm menjadi 505 ppm dalam waktu 1 menit 25 detik. Sementara itu, ketika nilai salinitas sudah berada pada rentang ideal, relay dan pompa tetap dalam kondisi OFF sehingga tidak dilakukan proses kontrol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh proses kontrol berjalan dengan baik dan berhasil mengembalikan nilai salinitas ke rentang yang telah ditentukan.



Gambar 7. Pengujian sistem kontrol

Tabel 3. Data pengujian sistem kontrol

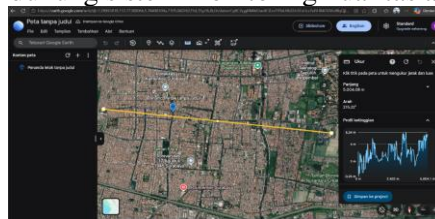
Kondisi Awal Air	Nilai Salinitas Awal	Batas Ideal	Status Relay	Status Pompa	Aksi Sistem Kontrol	Nilai Salinitas Akhir	Waktu respon Sistem	Status
Salinitas Tinggi	843 ppm	400-800 ppm	ON	ON	Penambahan air tawar	788 ppm	1 menit 41 detik	Berhasil
Salinitas Normal	400-800 ppm	400-800 ppm	OFF	OFF	Tidak ada kontrol	400-800 ppm	-	Berhasil
Salinitas Rendah	235 ppm	400-800 ppm	ON	ON	Penambahan air asin	505 ppm	1 menit 25 detik	Berhasil

D. Hasil Pengujian Komunikasi LoRa

1. Hasil Pengujian Banyak Halangan

Pengujian komunikasi LoRa pada kondisi banyak halangan dilakukan di sepanjang Jl. Keputih, Kecamatan Sukolilo, hingga Jl. Kalibokor Selatan, Kecamatan Gubeng, Surabaya. Lokasi pengujian dipilih karena memiliki banyak penghalang, seperti bangunan, pepohonan, dan kendaraan, sehingga dapat menggambarkan kondisi komunikasi pada lingkungan nyata. Pada pengujian ini, node pengirim ditempatkan pada ketinggian sekitar 4 meter dari permukaan tanah, sedangkan node penerima berada di permukaan tanah. Jarak antar kedua perangkat ditambah secara bertahap hingga 5 km, kemudian kemampuan pengiriman data diamati pada setiap titik pengujian.

Berdasarkan Tabel 4, data sensor suhu, DO, pH, dan TDS berhasil dikirim dan diterima dengan baik hingga jarak 1.070 meter. Pada jarak 1.150 meter hingga 5.000 meter, data tidak berhasil dikirim sehingga komunikasi antara node pengirim dan penerima terputus. Penurunan kemampuan transmisi ini dipengaruhi oleh banyaknya penghalang di sepanjang jalur pengujian yang menyebabkan pelemahan sinyal LoRa. Meskipun demikian, jangkauan komunikasi yang diperoleh masih memadai untuk mendukung sistem monitoring kualitas air tambak secara *real-time*.



Gambar 8. Kondisi banyak halangan

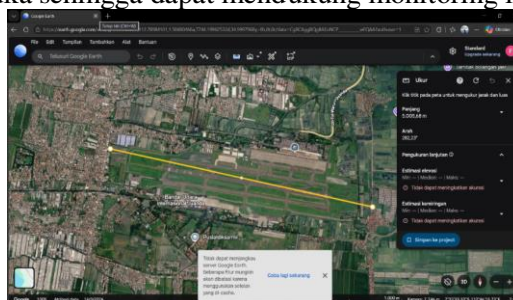
Tabel 4. Data pengujian LoRa pada kondisi banyak halangan

No	Jarak	Data Terkirim	Data Terima	Status
1	221 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
2	580 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
3	740 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
4	1.070 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
5	1.150 m	-	-	Tidak Terkirim
6	2.000 m	-	-	Tidak Terkirim
7	2.500 m	-	-	Tidak Terkirim
8	3.500 m	-	-	Tidak Terkirim
9	4.000 m	-	-	Tidak Terkirim

10	4.500 m	-	-	Tidak Terkirim
11	5.000 m	-	-	Tidak Terkirim

2. Hasil Pengujian Tanpa Halangan

Pengujian komunikasi LoRa pada kondisi tanpa banyak halangan dilakukan di Jl. Tambak Cemandi, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo hingga Jl. Raya Sedati Gede, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. Pengujian dilakukan pada area terbuka tanpa penghalang seperti bangunan atau pepohonan tinggi. Node pengirim ditempatkan pada ketinggian sekitar 4 meter, sedangkan node penerima berada di permukaan tanah. Jarak antar perangkat ditambah secara bertahap hingga 5 km untuk memperoleh kondisi *line of sight* (LOS). Berdasarkan Tabel 5, data sensor suhu, DO, pH, dan TDS berhasil dikirim dan diterima dengan baik hingga jarak 5.000 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa komunikasi LoRa mampu menjangkau jarak yang lebih jauh pada area terbuka. Dibandingkan dengan pengujian pada kondisi banyak halangan yang hanya mencapai 1.070 meter, hasil tersebut menunjukkan bahwa keberadaan bangunan dan pepohonan memengaruhi jangkauan komunikasi LoRa. Oleh karena itu, sistem ini sesuai diterapkan pada tambak yang umumnya memiliki lingkungan terbuka sehingga dapat mendukung monitoring kualitas air secara *real-time*.



Gambar 9. Kondisi tanpa halangan

Tabel 5. Data pengujian LoRa pada kondisi tanpa halangan

No	Jarak	Data Terkirim	Data Terima	Status
1.	320 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
2.	1.065 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
3.	1.500 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
4	2.000 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
5	2.500 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
6	3.000 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
7	3.500 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
8	4.000 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
9	4.500 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima
10	5.000 m	Suhu, DO, pH, TDS	Suhu, DO, pH, TDS	Terkirim dan diterima

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan kontrol kualitas air tambak udang vanname berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem mampu memantau parameter suhu, pH, *Dissolved Oxygen* (DO), dan salinitas secara *real-time*, serta mengendalikan salinitas secara otomatis sesuai batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi LoRa mampu mengirimkan data hingga jarak 5.000 meter pada area terbuka dan 1.070 meter pada kondisi banyak halangan. Perbedaan jangkauan tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan memengaruhi kemampuan transmisi LoRa. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan dapat mendukung monitoring dan kontrol kualitas air tambak secara *real-time*, terutama pada lokasi yang memiliki keterbatasan akses jaringan internet.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. S. Hertika *et al.*, "Pendampingan kegiatan monitoring kualitas air pada pembudidaya udang vanname di Kabupaten Probolinggo," *Journal of Innovation and Applied Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 1145–1153, 2021.
- [2] I. T. Sianturi and A. P. Maniko, "Budidaya udang vanname (*Litopenaeus vannamei*) secara semi intensif di TEFA Poltek KP Kupang," *Jurnal Salamata*, vol. 5, no. 2, pp. 68–71, 2023, doi: 10.15578/salamata.v5i2.13493.
- [3] M. I. Shilman, Purnamawati, R. Susanti, and A. R. Redha, "Performance kualitas air tambak terhadap kondisi pertumbuhan udang vanname (*Litopenaeus vannamei*)," *Jurnal Akuatiklestari*, vol. 9, no. 1, pp. 125–135, 2025, doi: 10.31629/akuatiklestari.v9i1.7702.
- [4] A. Putra *et al.*, "Analisis kualitas air pada budidaya udang vanname (*Litopenaeus vannamei*) sistem intensif," *Jurnal Perikanan*, vol. 13, no. 3, pp. 871–878, 2023, doi: 10.29303/jp.v13i3.569.
- [5] A. N. Se, P. Santoso, and F. C. Liufeto, "Pengaruh perbedaan suhu dan salinitas terhadap pertumbuhan post larva udang vanname (*Litopenaeus vannamei*)," *Jurnal Vokasi Ilmu-Ilmu Perikanan (JVIP)*, vol. 3, no. 2, pp. 84–89, 2023.
- [6] P. E. Jelinda, Y. Jasmanidar, and A. Tjendanawangi, "Pengaruh pH berbeda terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vanname (*Litopenaeus vannamei*)," *Jurnal Vokasi Ilmu Perikanan (JVIP)*, vol. 4, no. 2, pp. 209–214, 2024.
- [7] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [8] S. Rachmatullah, M. Y. Zain, A. F. Rachman, and Matsaini, "Monitoring kualitas air tambak udang vanname berbasis Internet of Things," *Kabilah: Journal of Social Community*, vol. 8, no. 2, pp. 116–128, 2023.
- [9] N. Astrianda, I. Juliwardi, and R. Suhendra, "Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengendalian kualitas air pada budidaya udang intensif," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 2, pp. 125–131, 2025.
- [10] A. R. Hakimi, M. Rivai, and H. Pirngadi, "Sistem kontrol dan monitor kadar salinitas air tambak berbasis IoT LoRa," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 1, pp. A9–A14, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.59612.
- [11] M. M. Danial, F. Imansyah, and I. Sujana, "Inovasi teknologi LoRa dalam sistem pemantauan kualitas air sungai untuk mendukung pertumbuhan budidaya tambak ikan yang berkelanjutan," *Jurnal Abdi Insani*, vol. 11, no. 3, pp. 23–33, 2024, doi: 10.29303/abdiinsani.v11i3.1675.