

Sistem Komunikasi Lora Untuk Pemantauan Dini Toksisitas Air Danau Pada Keramba Jaring Apung

1st Rahma Fadilla
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rahmafadilla@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Indrarini Dyah Irawati
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

indrarini@telkomuniversity.ac.id

3rd Mochammad Fahu Rizal
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

mfrizal@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Keramba Jaring Apung (KJA) di danau berpotensi mencemari air dan mengganggu budidaya ikan, sehingga diperlukan sistem pemantauan dini. Sistem ini menggunakan sensor untuk mengukur suhu, pH, dan oksigen terlarut (DO) secara *real-time*, serta modul LoRa RFM95W untuk mengirimkan data secara nirkabel. Pengujian dilakukan pada jarak 50 hingga 440 meter. Hasil menunjukkan sistem bekerja optimal hingga 300 meter dengan nilai RSSI -85 dBm hingga -120 dBm dan SNR di atas 2 dB (LOS). Pada jarak 330 dan 440 meter, kualitas komunikasi menurun (NLOS), delay meningkat hingga 11,3 sampai 15,2 detik, dan terjadi kehilangan paket hingga 70%. Meskipun begitu, prototipe berhasil mengirimkan data ke pusat pemantauan berbasis web, memungkinkan deteksi dini perubahan kualitas air dan potensi toksisitas. Sistem ini efektif untuk mendukung pemantauan kualitas air secara *real-time* di lingkungan perairan budidaya.

Kata kunci— Keramba Jaring Apung (KJA), LoRa RFM95W, RSSI, Delay, SNR

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi sumber daya perikanan yang sangat besar, baik dari sektor perikanan tangkap maupun budidaya. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia tahun 2022, sektor perikanan mengalami pertumbuhan sebesar 5.45% [1]. Budidaya ikan sendiri tidak hanya berlangsung pada perairan laut, tetapi juga berkembang pesat di perairan air tawar seperti danau, waduk, dan Sungai [2]. Salah satu metode budidaya yang banyak diterapkan di perairan danau serta waduk adalah Keramba Jaring Apung (KJA) [3]. Sistem KJA pertama kali diterapkan pada tahun 1974 di wilayah Jatiluhur, Jawa Barat [4].

Keramba Jaring Apung (KJA) merupakan suatu sarana pemeliharaan ikan yang kerangkanya terbuat dari bambu, kayu, pipa paralon atau besi berbentuk persegi yang diberi jaring dan pelampung agar wadah tersebut tetap terapung di air [5]. Sistem ini mempermudah pemberian pakan dan pemantauan kondisi ikan, sehingga mendukung pertumbuhan yang lebih alami serta manajemen budidaya yang lebih efisien [6].

Namun, budidaya ikan dengan sistem KJA juga membawa dampak negatif bagi lingkungan, terutama dalam hal pencemaran air. Hal ini disebabkan oleh akumulasi bahan organik dari pakan yang tidak termakan, feses, dan urin ikan.

Akumulasi tersebut berpotensi memperburuk kualitas perairan dan dapat memicu eutrofikasi, yaitu peningkatan kadar bahan organik yang dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut [7]. Kondisi ini berdampak pada kelangsungan hidup ikan dan organisme lain di dalam ekosistem perairan. Nilai pH yang dianggap netral untuk perairan berkisar antara 6.5 hingga 8.5 [8]. Beberapa laporan menunjukkan bahwa ratusan ikan pada KJA mengalami kematian mendadak akibat keracunan, dengan total sekitar 15 ton ikan yang terpengaruh [9], [10].

Kondisi ini menunjukkan betapa pentingnya sistem pemantauan kualitas air yang lebih efektif untuk menjaga keseimbangan ekosistem air dan mencegah kerugian ekonomi bagi pembudidaya ikan. Dari metode tradisional hingga penggunaan teknologi digital, berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas pemantauan kualitas air.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini berfokus secara khusus pada penentuan jarak optimal penempatan *node* LoRa dan *gateway* LoRa dengan mempertimbangkan parameter teknis seperti RSSI, delay, dan SNR. Dengan mengukur parameter tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh konfigurasi yang optimal saat menempatkan perangkat LoRa agar komunikasi data tetap stabil, efisien, dan layak diaplikasikan dalam pemantauan kualitas air di danau dan waduk. Dengan pendekatan ini, sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT dapat lebih dioptimalkan, baik dari segi jangkauan komunikasi maupun akurasi data yang dikirim, sehingga mendukung keberlanjutan budidaya ikan di perairan terbuka.

Pada bagian penerima, ESP32 digunakan bersama dengan modul LoRa untuk menerima informasi yang dikirim oleh pengirim. Pemilihan ESP32 sebagai alat penerima didasarkan pada kemampuannya yang kuat dalam menerima informasi, melakukan pemrosesan awal, dan mengirimkan data ke *Firestore* sebagai basis data *cloud* untuk pemantauan secara *real-time*. Penggunaan LoRa pada penerima menjamin komunikasi antara pemancar dan penerima, bahkan pada jarak yang jauh atau dalam keadaan sinyal yang kurang baik. Seperti, di lokasi di area Telkom University sebagai tempat penelitian ini, jika hanya menggunakan modul WiFi saja pada jarak yang jauh akan menghadapi kondisi yang kurang optimal, tetapi dengan menggunakan LoRa, hal itu dapat mengurangi potensi gangguan jaringan.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini, sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan sistem komunikasi LoRa sehingga dapat memantau kualitas air pada KJA?
2. Seberapa efektivitas kualitas jangkauan penerimaan sinyal LoRa yang optimal dalam sistem pemantauan kualitas air di Keramba Jaring Apung?
3. Bagaimana menghubungkan data dari setiap *node* sensor pengukuran kualitas air ke *Gateway*?

C. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini, sebagai berikut.

1. Mengembangkan sistem komunikasi berbasis LoRa yang dapat memantau parameter toksisitas air pada KJA.
2. Mengevaluasi efektivitas kualitas jangkauan penerimaan sinyal LoRa pada KJA.
3. Menjamin bahwa data yang diperoleh dari *node* sensor terintegrasi dengan baik ke *gateway* dan dapat diakses secara konsisten.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari tugas akhir ini, sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya berfokus pada pengembangan dan evaluasi sistem komunikasi LoRa antara *node* dan *Gateway*, tanpa membahas detail teknis dari perangkat *node* sensor itu sendiri.
2. Evaluasi efektivitas kualitas jangkauan penerimaan sinyal LoRa hanya melibatkan pengukuran RSSI (Received Signal Strength Indicator), delay, dan SNR (Signal-to-Noise Ratio).
3. Pengujian dan analisis konektivitas *node* sensor ke *Gateway* difokuskan pada keterhubungan data secara nirkabel menggunakan LoRa.
4. Sistem komunikasi yang dikembangkan menggunakan teknologi LoRa (Long Range) dengan modul RFM95W yang terhubung ke mikrokontroler ESP32-S3 sebagai pengirim dan modul RFM95W yang terhubung ke ESP32 sebagai penerima.

II. KAJIAN TEORI

Dalam pengerjaan sistem komunikasi LoRa, pembahasan teori dan referensi pendukung disajikan dalam studi Pustaka berikut.

A. Long Range (LoRa)

LoRa merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang diperkenalkan oleh Semtech untuk aplikasi Internet of Things (IoT), khususnya dalam transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah [11]. LoRa beroperasi pada frekuensi 433 MHz, 868 MHz, dan 915 MHz di pita ISM tidak berlisensi. Frekuensi ini memiliki pembatasan yang disebut Siklus Kerja (*Duty Cycle*), yang berkisar antara 0,1% hingga 10%. Misalnya, pada pita 433 MHz, perangkat hanya diperbolehkan aktif maksimal 10% per hari (8640 detik). Oleh karena itu, setelah mengirimkan data, perangkat harus memasuki mode tidur, sehingga menyebabkan jeda antar pengiriman bingkai data.[12].

B. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) adalah indikator penting dalam komunikasi nirkabel yang menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima, termasuk interferensi dan redaman dari konektor, kabel, serta pengaruh penguatan antena. Nilainya bervariasi tergantung jenis sinyal dan lingkungan, baik dalam maupun luar ruangan. RSSI digunakan untuk memperkirakan jarak antara node dan gateway karena nilainya mencerminkan kehilangan sinyal akibat jarak. Dengan model kehilangan lintasan yang diketahui, posisi node dapat ditentukan menggunakan teknik seperti laterasi. RSSI umumnya bernilai negatif dan dinyatakan dalam dBm [13].

C. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dan daya noise. Rasio ini digunakan sebagai ukuran standar untuk menilai kualitas sinyal dalam sistem komunikasi. SNR merupakan salah satu komponen penting dalam komunikasi, di mana nilainya biasanya dikumpulkan bersamaan dengan nilai RSSI untuk setiap titik referensi dan biasanya dinyatakan dalam desibel (dB) [14], [15]. Dengan memahami dan mengoptimalkan nilai SNR, operator jaringan dapat meningkatkan efisiensi transmisi, memperluas jangkauan komunikasi, dan mengurangi tingkat kesalahan dalam transmisi data. Hal ini pada gilirannya dapat meningkatkan kualitas layanan dalam berbagai aplikasi komunikasi nirkabel.

D. Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. Delay dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, kongesti atau juga waktu proses yang lama [16].

E. Line Of Sight (LoS) dan Non- Line of Sight (NLoS)

Line of Sight (LoS) merupakan cara pengiriman sinyal di mana pengirim dan penerima saling terhubung tanpa ada halangan fisik, sehingga sinyal dapat berjalan dengan lancar dan kuat. Di sisi lain, Non-Line of Sight (NLoS) terjadi saat jalur sinyal terhalang oleh objek seperti gedung atau tanaman, yang mengakibatkan sinyal menjadi tidak stabil, terpantul, atau terdistorsi. Sebagai akibatnya, kualitas sinyal pada NLoS jauh lebih buruk dibandingkan dengan LoS, dengan kemungkinan terjadinya penundaan dan kehilangan data yang lebih tinggi [17].

III. METODE

A. Gambaran Sistem Saat Ini



GAMBAR 1

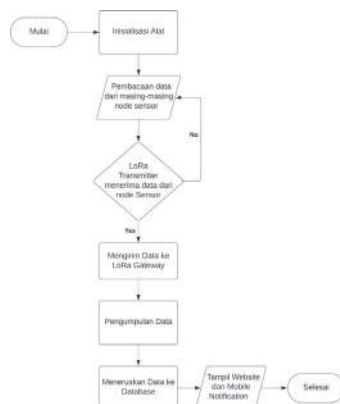
Blok Diagram Sistem Saat Ini

Sistem pemantauan dini toksisitas air danau ini dirancang dengan berbagai sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32-S3 dapat dilihat pada GAMBAR 1(A). Di antara sensor-sensor tersebut, terdapat sensor pH yang digunakan

untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor DO (Dissolved Oxygen) yang berfungsi mendeteksi kadar oksigen terlarut, serta sensor suhu DS18B20 yang mengukur temperatur air. Sensor-sensor ini dikonfigurasi untuk melakukan pengambilan data lingkungan air danau secara *real-time*, yang selanjutnya diolah oleh ESP32 S3.

B. Pengembangan Sistem

Sub bab ini berisi penjelasan mengenai pengembangan sistem diagram alur kerja sistem dalam komunikasi LoRa dan blok diagram sistem komunikasi LoRa pada pengirim. Mulai dari penentuan alat sampai ke database. Diagram alur kerja sistem yang terlihat pada GAMBAR 2(B) menjelaskan proses pengumpulan data secara otomatis menggunakan teknologi LoRa. Proses ini dimulai dengan inisialisasi alat, di mana perangkat LoRa dan sensornya diaktifkan untuk memulai pengumpulan data. Setelah fase inisialisasi selesai, sistem akan membaca data dari setiap *node* sensor yang terpasang di Keramba Jaring Apung (KJA). Setelah data sensor berhasil dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah memastikan bahwa LoRa *Transmitter* telah menerima data dari *node* sensor. Jika data tidak diterima, sistem akan kembali ke proses pembacaan untuk mencobanya kembali. Namun, apabila data berhasil diterima, informasi tersebut segera dikirimkan ke LoRa *Gateway* melalui komunikasi nirkabel jarak jauh.



GAMBAR 2

Diagram Alur Kerja Sistem dalam Komunikasi LoRa

LoRa *Gateway* berfungsi untuk mengumpulkan data dari berbagai *node* dan selanjutnya meneruskannya ke server melalui koneksi Wi-Fi atau jaringan internet [18]. Data yang terkumpul akan disimpan dalam database yang berperan sebagai pusat penyimpanan untuk keperluan pemantauan dan analisis lebih lanjut. Setelah data tersimpan, sistem akan menampilkan informasi tersebut di website dan aplikasi mobile, memungkinkan pengguna untuk memantau kualitas air secara *real-time*.

Selain itu, sistem juga dapat mengirimkan notifikasi otomatis ke perangkat pengguna, khususnya ketika terjadi perubahan signifikan pada parameter kualitas air. Dengan demikian, pengguna dapat segera mengambil langkah mitigasi untuk menjaga ekosistem KJA tetap optimal dan mencegah dampak negatif akibat pencemaran air.



GAMBAR 3

Diagram Blok Sistem Komunikasi LoRa Pada Pengirim

Sistem ini menggambarkan arsitektur komunikasi LoRa yang diterapkan untuk pemantauan kualitas air di Keramba Jaring Apung (KJA). Pada GAMBAR 3(C), diagram blok sistem menampilkan berbagai komponen yang saling terhubung dalam sistem pemantauan berbasis IoT (Internet of Things), yang mengandalkan teknologi LoRa untuk mengirimkan data secara nirkabel dengan konsumsi daya yang rendah dan jangkauan yang luas. Sistem ini terdiri dari beberapa *node*, masing-masing dilengkapi dengan sensor untuk mengumpulkan data terkait KJA. Data yang diperoleh dari sensor tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler, yang selanjutnya mengirimkan informasi itu secara nirkabel menggunakan modul LoRa RFM95W ke LoRa *Gateway*.

LoRa *Gateway* bertugas menerima sinyal frekuensi radio dari *node-node* dan meneruskan data tersebut ke server melalui jaringan Wi-Fi atau internet yang terhubung dengan modem [18]. Server berfungsi sebagai pusat penyimpanan data dan memungkinkan pengguna untuk mengakses serta menganalisis informasi kapan saja. Data yang tersimpan dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik atau tabel melalui situs web atau aplikasi, memudahkan pengguna untuk memantau kondisi KJA secara *real-time*.

Dengan sistem ini, pemantauan kualitas air dapat dilakukan secara jarak jauh dan terus-menerus, sehingga memungkinkan deteksi dini perubahan parameter lingkungan yang berpotensi berdampak negatif pada ekosistem perairan. Apabila ditemukan anomali atau indikasi toksisitas air, pengguna dapat segera melakukan langkah mitigasi untuk mencegah kerugian lebih lanjut.

C. Kualitas/Kinerja Sistem

Kualitas atau kinerja sistem komunikasi LoRa dalam pemantauan lingkungan perairan dievaluasi berdasarkan tiga parameter utama: RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), dan *delay*. Nilai RSSI yang optimal untuk sistem LoRa biasanya berkisar antara -30 dBm hingga -90 dBm, di mana nilai yang lebih tinggi menandakan sinyal yang lebih kuat. Sementara itu, SNR, yang menunjukkan rasio antara sinyal dan gangguan, dianggap baik jika berada pada kisaran positif, seperti 10 dB atau lebih, yang menunjukkan kualitas sinyal yang lebih bersih. Di sisi lain, *delay* atau latensi dalam transmisi data sebaiknya dijaga rendah, idealnya di bawah 2 detik, untuk memastikan data yang diterima dapat diproses secara *real-time*. Ketiga parameter ini menjadi acuan utama dalam menilai kinerja sistem LoRa, dan setiap pengujian dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai jarak dan kondisi lingkungan yang mungkin mempengaruhi hasil pengukuran. Selain itu spesifikasi modul LoRa RFM95W yang digunakan untuk kualitas sistem komunikasi LoRa juga diperlukan pada TABEL 1(A). Modul LoRa RFM95W adalah modul komunikasi LoRa yang menawarkan komunikasi jarak jauh

yang sangat panjang dengan kekebalan interferensi yang tinggi dan konsumsi daya yang rendah dengan sensitivitas lebih dari -140dbm dan penguat daya +20dbm. RFM95W memiliki berbagai opsi bandwidth dan faktor penyebaran, memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan kinerja sesuai kebutuhan aplikasi. Selain itu, modul ini dirancang untuk efisiensi energi, dengan konsumsi daya yang rendah dalam mode penerimaan dan pengoperasian.

TABEL 1
Spesifikasi Modul LoRa RFM95W[19]

<i>Frequency Band</i>	868/915MHz
<i>Spreading Factor</i>	6-12
<i>Bandwidth</i>	125 – 500 kHz
<i>Effective Bitrate</i>	.293 – 37.5 kbps
<i>Estimated Sensitivity</i>	-111 to -136 dBm

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada sistem yang telah dibuat dilakukan dengan memperhatikan sifat dari hasil yang muncul, di mana data yang didapatkan bersifat heterogen. Uji coba diadakan pada jarak yang berbeda-beda, yaitu 50 meter, 180 meter, dan 300 meter untuk kondisi Line of Sight (LOS), serta 330 meter dan 440 meter untuk situasi Non-Line of Sight (NLOS) dengan menggunakan frekuensi LoRa 915 MHz. Situasi LOS menunjukkan keadaan tanpa ada rintangan langsung antara pemancar dan penerima, sementara kondisi NLOS melibatkan pengukuran yang terhalang oleh bangunan atau objek lain yang menghalangi jalur komunikasi. Metode pengujian ini disesuaikan dengan sifat dari hasil yang dihasilkan demi menjamin tingkat akurasi dan keandalan sistem komunikasi yang telah dirancang.

A. Pengukuran Jangkauan Penerimaan Data

Pengujian ini dilaksanakan dengan menetapkan beberapa rentang jarak tertentu antara *node* dan *gateway* untuk menilai kinerja komunikasi LoRa dalam berbagai kondisi. Rentang jarak yang diujikan meliputi 50meter, 180meter, 300meter, 330 meter, dan 440 meter. Pemilihan jarak-jarak ini tidak dilakukan secara sembarangan, tetapi didasarkan pada hasil pengujian produk. Temuan dari pengujian awal menunjukkan bahwa pada rentang tersebut terdapat variasi kualitas sinyal yang signifikan, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti adanya halangan dari bangunan, interferensi, serta peningkatan jarak.

Pada jarak 50meter, *node* diletakkan di area Keramba Jaring Apung (KJA) yang terletak di bagian depan BTP Telkom. Sementara itu, *gateway* diletakkan di gedung BTP Telkom untuk memastikan *coverage* sinyal yang optimal dan meminimalkan kemungkinan terhalangnya jalur komunikasi antara *node* dan *gateway*. Ilustrasi penempatan *node* dan *gateway* pada pengujian ini dapat dilihat pada GAMBAR 4(D).



GAMBAR 4

Ilustrasi Pengujian LoRa pada Jarak 50 Meter

Hasil pengujian data menunjukkan bahwa semua pesan yang dikirim oleh *node* telah berhasil diterima oleh *gateway* tanpa adanya kehilangan paket. Ini menunjukkan bahwa pada jarak 50 meter, komunikasi antara *node* dan *gateway* berlangsung dengan sangat baik. Seperti yang terlihat pada TABEL 3(C), seluruh pesan yang dikirim diterima secara utuh tanpa adanya gangguan. Pengujian menunjukkan delay pengiriman data antara 1 hingga 3 detik, dipengaruhi oleh faktor lingkungan, interferensi, dan beban perangkat. Nilai RSSI berkisar -106 dBm hingga -85 dBm, masih baik untuk LoRa. SNR di atas 9 dB menunjukkan kualitas sinyal sangat baik dengan gangguan minimal.

TABEL 3
Hasil Penerimaan Data ada Jarak 50 Meter

NO	Status penerimaan	Delay (detik)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	Sukses	1	-101	9
2	Sukses	2	-105	9
3	Sukses	1	-106	8
4	Sukses	1	-102	9
5	Sukses	3	-101	9
6	Sukses	2	-100	9
7	Sukses	3	-102	8
8	Sukses	1	-105	9
9	Sukses	2	-105	9
10	Sukses	3	-106	9
11	Sukses	2	-88	10
12	Sukses	1	-89	10
13	Sukses	1	-89	8
14	Sukses	1	-91	9
15	Sukses	2	-88	9
16	Sukses	2	-90	8
17	Sukses	1	-87	9
18	Sukses	1	-85	9
19	Sukses	2	-89	10
20	Sukses	2	-88	9

Selanjutnya, pengujian dilakukan pada jarak 180meter untuk mengevaluasi sejauh mana kualitas komunikasi LoRa tetap optimal ketika jarak antara *node* dan *gateway* diperbesar. Pada pengujian ini, *node* tetap diletakkan di area Keramba Jaring Apung (KJA) yang berada di depan BTP Telkom, dengan posisi yang sama seperti pada pengujian sebelumnya. Sementara itu, *gateway* dipindahkan ke lokasi yang lebih tinggi, yaitu di lantai 7 Gedung GKU, Telkom dapat dilihat pada GAMBAR 5(E).



GAMBAR 5

Ilustrasi Pengujian LoRa pada Jarak 180 Meter

Hasil pengujian pada jarak 180 meter menunjukkan bahwa seluruh pesan yang dikirim oleh *node* berhasil diterima oleh *gateway* tanpa ada paket data yang hilang. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa meskipun jarak *node* dengan *gateway* lebih jauh dari pengujian sebelumnya, sistem komunikasi LoRa masih mampu bekerja secara optimal. Data pesan yang diterima oleh *gateway* dapat dilihat lebih jelas pada TABEL 3(C) yang menunjukkan bahwa setiap pesan berhasil dikirimkan dan diproses dengan baik. Pada pengujian ini, Delay pengiriman pada pengujian ini bervariasi antara 1 hingga 5 detik, meningkat dibandingkan jarak 50 meter karena penurunan kekuatan sinyal, perubahan lingkungan, dan interferensi. RSSI turun menjadi -112 dBm hingga -95 dBm, dan SNR berkisar 6 hingga 9 dB, masih cukup baik.

TABEL 3
Hasil Penerimaan Data pada Jarak 180 Meter

NO	Status penerimaan	Delay (detik)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	Sukses	1	-112	7
2	Sukses	3	-111	8
3	Sukses	5	-109	7
4	Sukses	1	-112	7
5	Sukses	4	-108	6
6	Sukses	5	-109	7
7	Sukses	3	-119	6
8	Sukses	2	-113	7
9	Sukses	3	-109	6
10	Sukses	5	-113	6
11	Sukses	2	-97	8
12	Sukses	3	-97	9
13	Sukses	2	-96	8
14	Sukses	1	-95	8
15	Sukses	3	-96	9
16	Sukses	2	-104	7
17	Sukses	2	-104	9
18	Sukses	1	-107	8
19	Sukses	2	-109	9
20	Sukses	3	-107	8

Pada pengujian jarak 300 meter, *node* dipindahkan ke area Keramba Jaring Apung (KJA) yang berada di belakang BTP Telkom. Lokasi ini dipilih untuk mengevaluasi bagaimana perubahan posisi *node*, terutama dari segi adanya potensi halangan di sekitar area pengujian. Sementara itu, *gateway* dipertahankan di lantai 7 Gedung GKU untuk menjaga konsistensi pengujian dan melihat bagaimana peningkatan jarak mempengaruhi penerimaan sinyal seperti yang terlihat pada GAMBAR 6(F).



GAMBAR 6

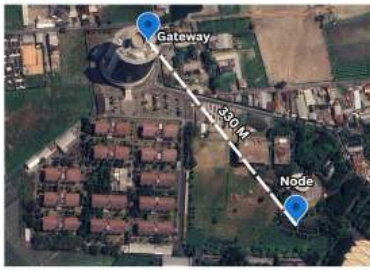
Ilustrasi Pengujian LoRa pada Jarak 300 Meter

Hasil pengujian pada jarak 300 meter menunjukkan bahwa seluruh pesan yang dikirim oleh *node* berhasil diterima oleh *gateway* tanpa ada paket data yang hilang, seperti yang ditunjukkan pada TABEL 4 (D). Delay pengujian tertinggi mencapai 6 detik, sedangkan terendah sekitar 1 detik. RSSI mengalami penurunan yang signifikan hingga -120 dBm, dan SNR melemah hingga 2 dB, yang menandakan kualitas sinyal menurun dan berpotensi mengganggu kestabilan komunikasi di lingkungan yang kompleks.

TABEL 4
Hasil Penerimaan Data pada Jarak 300 Meter

NO	Status penerimaan	Delay (detik)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	Sukses	1	-119	2
2	Sukses	5	-111	3
3	Sukses	6	-119	2
4	Sukses	2	-112	3
5	Sukses	1	-115	4
6	Sukses	1	-120	5
7	Sukses	2	-119	2
8	Sukses	3	-113	2
9	Sukses	2	-119	3
10	Sukses	2	-113	1
11	Sukses	1	-114	2
12	Sukses	3	-113	2
13	Sukses	2	-109	3
14	Sukses	1	-111	5
15	Sukses	3	-109	4
16	Sukses	2	-109	2
17	Sukses	1	-111	3
18	Sukses	1	-113	3
19	Sukses	3	-107	1
20	Sukses	3	-111	2

Pada jarak 330 meter, *gateway* dipindahkan ke lantai 14 Gedung TULT. Sementara itu, *node* tetap ditempatkan di area Keramba Jaring Apung (KJA) yang berada di depan BTP Telkom, seperti terlihat pada GAMBAR 7(G). Perpindahan lokasi *gateway* ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana perubahan lingkungan fisik yang mempengaruhi kinerja transmisi data.



GAMBAR 7

Ilustrasi Pengujian LoRa pada Jarak 330 Meter

Dari total 20 kali percobaan pengiriman data yang dilakukan pada jarak 330 meter, 17 paket berhasil diterima seperti yang ditunjukkan pada TABEL 5(E). dan 4 paket mengalami kegagalan. *Delay* penerimaan paket bervariasi, dengan nilai terendah 5.3 detik dan tertinggi 11.3 detik. Pada paket yang berhasil diterima, nilai RSSI tercatat antara -123 dBm hingga -126 dBm, sedangkan nilai SNR berkisar antara 3 dB dan 2 dB. Pengukuran ini menunjukkan adanya fluktuasi kualitas sinyal yang mempengaruhi keberhasilan penerimaan paket.

TABEL 5

Hasil Penerimaan Data pada Jarak 330 Meter

NO	Status penerimaan	Delay (detik)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	Sukses	7.6	-123	3
2	Sukses	5.4	-126	2
3	Sukses	5.3	-123	3
4	Sukses	7.7	-123	2
5	Sukses	7.5	-126	2
6	Sukses	10.9	-123	3
7	Sukses	7.9	-125	2
8	Sukses	7.7	-123	2
9	Sukses	7.8	-126	3
10	Tidak Masuk	-	-	-
11	Tidak Masuk	-	-	-
12	Sukses	8.7	-125	2
13	Sukses	7.3	-123	3
14	Sukses	5.3	-125	2
15	Sukses	7.8	-126	2
16	Sukses	7.4	-123	3
17	Tidak Masuk	-	-	-
18	Sukses	10.3	-126	2
19	Sukses	11.3	-126	2
20	Sukses	8.2	-123	3

Pada jarak 440 meter, lokasi *node* berada di KJA belakang BTP Telkom dan lokasi *gateway* berada di lantai 5 gedung FIT Telkom. Kondisi tersebut semakin parah dengan banyaknya kegagalan penerimaan seperti yang terlihat pada bangunan yang menjadi pembatas antara *node* dan *gateway* pada GAMBAR 8(F).



GAMBAR 8

Ilustrasi Pengujian LoRa pada Jarak 440 Meter

Hasil pengukuran pada jarak 440 meter seperti pada TABEL 6(F) menunjukkan banyaknya kegagalan penerimaan data akibat jarak yang jauh dan adanya halangan bangunan. Dari 20 kali percobaan, hanya 6 kali percobaan yang berhasil. Meskipun data berhasil diterima, namun *delay* pengirimannya cukup tinggi hingga mencapai 15.2 detik. Nilai RSSI berkisar antara -132 dBm sampai -122 dBm. Sementara itu, SNR tercatat hanya 1 dB sampai dengan -4 dB yang menunjukkan interferensi dan noise yang tinggi.

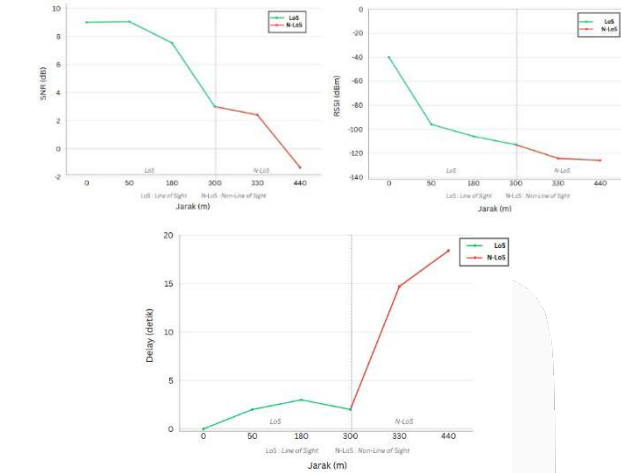
TABEL 6

Hasil Penerimaan Data pada Jarak 440 Meter

NO	Status penerimaan	Delay (detik)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	Tidak Masuk	-	-	-
2	Tidak Masuk	-	-	-
3	Tidak Masuk	-	-	-
4	Tidak Masuk	-	-	-
5	Tidak Masuk	-	-	-
6	Sukses	5.3	-127	2
7	Sukses	6.4	-126	1
8	Tidak Masuk	-	-	-
9	Sukses	10.2	-132	-3
10	Tidak Masuk	-	-	-
11	Tidak Masuk	-	-	-
12	Tidak Masuk	-	-	-
13	Tidak Masuk	-	-	-
14	Tidak Masuk	-	-	-
15	Sukses	15.2	-122	-1
16	Tidak Masuk	-	-	-
17	Tidak Masuk	-	-	-
18	Sukses	12.2	-125	-3
19	Tidak Masuk	-	-	-
20	Sukses	10.3	-126	-4

B. Analisis Jangkauan Data

Pengujian sistem dilakukan dengan cara mengukur *delay*, RSSI, dan SNR pada berbagai jarak. Setiap jarak diuji sebanyak 20 kali untuk meningkatkan akurasi hasil. Grafik yang ditampilkan dalam GAMBAR 9(G). Pada jarak 0 meter, RSSI sekitar -40 dBm menunjukkan sinyal sangat baik. Namun, setelah 50 meter, RSSI menurun dan pada 330 hingga 440 meter mencapai -120 dBm, menunjukkan sinyal sangat lemah dan kondisi NLoS, di mana penerima tidak memiliki garis pandang langsung ke pengirim. Penurunan RSSI ini mencerminkan pengaruh jarak terhadap kualitas sinyal dalam komunikasi LoRa, yang dapat memengaruhi efektivitas komunikasi pada jarak jauh. Selanjutnya, GAMBAR 9(H) memperlihatkan grafik *delay* rata-rata yang meningkat secara bertahap hingga 300 meter. Namun, terjadi lonjakan drastis hingga lebih dari 8 menit pada 330 meter dan 440 meter. Di sisi lain, GAMBAR 9(I) menggambarkan SNR yang stabil sekitar 10 dB hingga jarak 180 meter, kemudian mengalami penurunan signifikan setelah 300 meter dan mencapai nilai negatif pada 330 meter dan 440 meter.

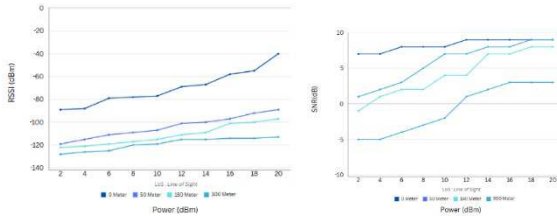


GAMBAR 9
Analisis Jangkauan Data

Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan yang signifikan pada kualitas sinyal pada jarak 330 hingga 440 meter. Penurunan ini disebabkan oleh interferensi, hambatan fisik, atau keterbatasan jangkauan sistem komunikasi LoRa.

C. Pengukuran Berdasarkan Perbedaan Power

Pengujian dilakukan dengan membandingkan variasi power (daya pancar) pada rentang 2 dBm sampai dengan 20 dBm. Pengujian ini menggunakan data yang diperoleh pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dengan tiga titik pengukuran yang berbeda, yaitu pada jarak 50 meter hingga 300 meter. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana perubahan daya pancar mempengaruhi kualitas komunikasi dan kestabilan penerimaan sinyal pada setiap jarak. GAMBAR(J) menunjukkan hubungan antara power dan penerimaan sinyal (RSSI) pada jarak 50 meter hingga 300 meter. Semakin tinggi daya pancar, maka RSSI semakin meningkat.



GAMBAR 10
Perbedaan Daya Pancar pada RSSI DAN SNR

Pada GAMBAR 10(K) grafik menunjukkan hubungan antara daya pancar (*Power*) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) pada jarak 50m hingga 300m. Peningkatan daya pancar menyebabkan peningkatan SNR. Pada jarak yang lebih dekat (50m), SNR lebih tinggi dibandingkan dengan jarak yang lebih jauh (180m dan 300m).

D. Hasil Pengujian Fungsional Protokol

Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol LoRa berfungsi dengan optimal untuk pemantauan lingkungan perairan pada KJA dapat dilihat pada TABEL 7(G). Pengujian dilakukan 20 kali dengan jarak yang bervariasi, termasuk di BTP Telkom pada jarak 50 hingga 300 meter. Sistem dilengkapi panel surya untuk operasional jangka panjang. Semua fungsi utama berjalan sesuai spesifikasi, dan perangkat keras serta lunak berhasil mengoptimalkan komunikasi data melalui LoRa.

TABEL 7
Hasil Pengujian Fungsional Protokol

No	Fungsi	Hasil Pengujian
1	Mengambil data dari ESP32 dan dikirimkan menggunakan LoRa Node.	Berhasil
2	Menerima data dari LoRa node sensor.	Berhasil
3	Mengirimkan data dari LoRa node Sensor ke LoRa Gateway.	Berhasil
4	Mengirim data dari LoRa gateway ke database	Berhasil

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian, sistem komunikasi LoRa yang diterapkan pada Keramba Jaring Apung (KJA) menunjukkan performa yang optimal pada jarak 50 meter sampai 300 meter dengan kondisi *Line of Sight* (LOS). Komunikasi antara node sensor LoRa dan *gateway* berlangsung dengan stabil, meskipun kualitas penerimaan data dipengaruhi oleh nilai RSSI, *delay*, dan SNR. Secara keseluruhan, sistem ini berfungsi dengan baik untuk memantau kualitas air di KJA. Namun, perlu dilakukan beberapa optimasi, seperti peningkatan antenna, penyesuaian daya pancar, dan mitigasi interferensi, guna meningkatkan stabilitas sistem. Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem ini memiliki potensi besar untuk mendukung pemantauan kualitas air secara *real-time*.

REFERENSI

[1] S. S. Adhawati and St. M. Mansyur, "Potensi dan Proyeksi Nilai PDRB Sektor Perikanan Provinsi Sulawesi Selatan," *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, vol. 18, p. 133, Dec. 2023, doi: 10.15578/jsekp.v18i2.12280.

[2] F. Bernal-Higuaita, M. Acosta-Coll, F. Ballester-Merelo, and E. De-la-Hoz-Franco, "Implementation of information and communication technologies to increase sustainable productivity in freshwater finfish aquaculture – A review," Jul. 2023, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137124.

- [3] T. Adiono, F. Albertha, R. Mulyawan, and E. Sumiarsih, "Power Management Design for Floating Net Cages Water Quality Monitoring System," in *2021 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, IEEE, Oct. 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICEEI52609.2021.9611116.
- [4] D. Hidayati, S. A. Dalimunthe, and I. A. P. Putri, "Socio-economic Vulnerability and Benefits to the Community Associated with Floating Fish Cages in the Jatiluhur Reservoir," 2018, pp. 245–260. doi: 10.1007/978-981-10-7383-0_17.
- [5] I. Gumilar, R. M. S. Rasyid, Y. Andriani, and I. Maulina, "Profile of Double Layer Floating Net Cage Fish Farming Business in Saguling Reservoir (Case Study of Bongas Village, Cililin District, West Bandung Regency)," *Jurnal Perikanan Unram*, vol. 15, pp. 285–298, Feb. 2025, doi: 10.29303/jp.v15i1.1358.
- [6] D. Hermanto, D. Stiawan, B. Y. Suprpto, E. Permata, and E. P. Widiyanto, "New Approach Monitoring System with ESP32 and MQTT for the Best Position of the Floating Net Cage," in *2023 10th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, IEEE, Sep. 2023, pp. 139–144. doi: 10.1109/EECSI59885.2023.10295802.
- [7] M. T. Dokulil and K. Teubner, "Eutrophication and Climate Change: Present Situation and Future Scenarios," in *Eutrophication: causes, consequences and control*, Springer Netherlands, 2010, pp. 1–16. doi: 10.1007/978-90-481-9625-8_1.
- [8] H. Yemendzhiev, P. Zlateva, and V. Nenov, "Water Safety and Toxicity Assessment Using Real Time Sensor Measurements and Fuzzy Logic Data Processing," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2023, pp. 39–46. doi: 10.1007/978-3-031-31069-0_5.
- [9] M. A. Ichsyah, "Ratusan Ton Ikan di Waduk Cirata Cianjur Mati Mendadak, Petambak Syok Berat," <https://jabar.inews.id/berita/ratusan-ton-ikan-di-waduk-cirata-cianjur-mati-mendadak-petambak-syok-berat>. Accessed: Mar. 11, 2025. [Online]. Available: <https://jabar.inews.id/berita/ratusan-ton-ikan-di-waduk-cirata-cianjur-mati-mendadak-petambak-syok-berat>
- [10] W. Pradana, "Belasan Ton Ikan Mati Keracunan di Keramba Jaring Apung Waduk Saguling," <https://www.detik.com/jabar/berita/d-7620407/belasan-ton-ikan-mati-keracunan-di-keramba-jaring-apung-waduk-saguling>. Accessed: Mar. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jabar/berita/d-7620407/belasan-ton-ikan-mati-keracunan-di-keramba-jaring-apung-waduk-saguling>
- [11] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.ict.2017.12.005.
- [12] G. Kaur, V. Balyan, and S. H. Gupta, "Experimental analysis of low-duty cycle campus deployed IoT network using LoRa technology," *Results in Engineering*, vol. 23, p. 102844, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102844.
- [13] K. Abdulameer, Z. N. Khudhair, H. F. Mohsin, K. A. Kadhim, and Z. N. Khudhier, "Study and performance analysis of received signal strength indicator (RSSI) in wireless communication systems," *Article in International Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 4, pp. 195–200, 2017, doi: 10.14419/ijet.v6i4.29558.
- [14] M. A. Kamal, M. M. Alam, A. A. B. Sajak, and M. M. Su'ud, "SNR and RSSI Based an Optimized Machine Learning Based Indoor Localization Approach: Multistory Round Building Scenario over LoRa Network," *Computers, Materials & Continua*, vol. 80, no. 2, pp. 1927–1945, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.052169.
- [15] A. D. Haq, I. Santoso, A. Ajulian, and Z. Macrina, "Estimasi Signal to Noise Ratio (SNR) Menggunakan Metode Korelasi," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 1, no. 4, pp. 326–332, Dec. 2012, doi: 10.14710/TRANSIENT.V1I4.326-332.
- [16] Fahmi, Yulita Salim, and Ramdan Satra, "Analisis Quality of Service Menggunakan Delay, Packet Loss, Jitter dan Mean Opinon Score pada Voice Over IP," *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 2, 2018.
- [17] J. Elektro Telekomunikasi Terapan Juli, A. Ramadhani, Z. Alaudin, F. Jihad Aridha, A. Rusdinar, and A. Zamhuri Fuadi, "Data Komunikasi Secara Real-Time Menggunakan LoRa Berbasis Internet Of Things Untuk Pembuatan Weather Station", doi: 10.25124/jett.v8i1.4130.
- [18] N. Zhu, Y. Xia, Y. Liu, C. Zang, H. Deng, and Z. Ma, "Temperature and humidity monitoring system for bulk grain container based on LoRa wireless technology," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Verlag, 2018, pp. 102–110. doi: 10.1007/978-3-030-00021-9_10.
- [19] HOPERF, "Low Power Long Range Transceiver Module," Jul. 2019. [Online]. Available: www.hoperf.com