

Perancangan dan Implementasi Sistem IoT Pemantauan Kualitas Air Berbasis Salinitas dan Suhu untuk Identifikasi Risiko Habitat Larva Nyamuk Malaria

Design and Implementation of an IoT-Based Water Quality Monitoring System Using Salinity and Temperature for Malaria Mosquito Larval Habitat Risk Identification

¹Rafli Filano^{*)}, ¹Yudha Hamdi Arzi, ¹Rosita Wati, ¹Rudi Setiawan, ¹Affan Alfarabi, ¹Salma Anindya Oktrina, ¹Maulina Adelia Putri, ²Budi Santoso, ²Yusuf Aulia Rahman

¹Teknik Biomedis, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia

²Dinas Kesehatan Provinsi Lampung, Bandar Lampung 35212, Indonesia

^{*)} corresponding email: rafli.filano@bm.itera.ac.id

Abstrak

Malaria masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia, khususnya di wilayah pesisir endemis yang memiliki habitat perairan sebagai tempat berkembangnya larva *Anopheles*. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan lingkungan perairan berbasis *Internet of Things* (IoT) multi-titik untuk mendeteksi kondisi yang mendukung perkembangan larva melalui pengukuran salinitas dan suhu air secara *real-time*. Sistem menggunakan sensor salinitas digital WQ7706D, mikrokontroler ESP32, serta modul komunikasi nirkabel NRF24L01 berdaya rendah. Pengujian laboratorium menunjukkan sensor mencapai pembacaan stabil setelah waktu stabilisasi 20 detik dengan variasi salinitas $\pm 0,05$ ppt pada kondisi konstan. Implementasi lapangan di dua titik perairan pesisir Desa Hanura menunjukkan rentang salinitas 1,35–2,3 ppt dan suhu 28,8–30,5°C yang berpotensi mendukung perkembangan larva. Sistem komunikasi mampu mentransmisikan data stabil hingga jarak 150 m dengan kehilangan paket minimal. Analisis konsumsi daya menunjukkan kebutuhan energi 1,794 Ah per hari sehingga sistem dapat beroperasi mandiri selama 10 ± 1 hari menggunakan baterai 12 V 20 Ah tanpa pengisian ulang. Kontribusi utama penelitian ini adalah perancangan sistem pemantauan lingkungan akuatik berbasis IoT yang menggabungkan efisiensi energi, komunikasi nirkabel stabil, dan identifikasi kuantitatif risiko habitat larva malaria.

Kata Kunci: Internet of Things, malaria, monitoring, NRF, sensor salinitas.

Abstract

Malaria remains a public health problem in Indonesia, particularly in endemic coastal regions where aquatic habitats serve as breeding sites for *Anopheles* larvae. This study develops a multi-point Internet of Things (IoT)-based aquatic environmental monitoring system to detect conditions that support larval development through real-time measurement of water salinity and temperature. The system employs a WQ7706D digital salinity sensor, an ESP32 microcontroller, and a low-power NRF24L01 wireless communication module. Laboratory testing indicates that the sensor achieves stable readings after a 20-second stabilization period, with salinity variation of $\pm 0,05$ ppt under steady conditions. Field implementation at two coastal water sites in Hanura Village recorded salinity ranges of 1,35–2,3 ppt and temperature ranges of 28,8–30,5°C, which potentially support larval development. The wireless communication system successfully transmitted data up to 150 m with minimal packet loss. Power consumption analysis shows a daily energy requirement of 1,794 Ah, enabling autonomous operation for 10 ± 1 days using a 12 V 20 Ah battery without recharging. The main contribution of this research is the design of an IoT-based aquatic monitoring system that integrates energy optimization, stable wireless communication, and quantitative identification of malaria larval habitat risk.

Keywords: Internet of Things; malaria; monitoring; NRF; salinity sensor.

Makalah diterima 16 Desember 2025 – makalah direvisi 23 Februari 2026 – disetujui 9 April 2026

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1 Pendahuluan

Malaria masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia, khususnya di wilayah pesisir dan daerah endemis yang memiliki banyak habitat perairan sebagai tempat berkembang biaknya larva *Anopheles* [1]. Semua jenis parasit malaria dan 18 spesies *Anopheles* yang berpotensi sebagai vektor dapat ditemukan di Indonesia, sehingga pemantauan dan pengendalian vektor terutama melalui pengurangan populasi nyamuk dengan insektisida menjadi langkah penting dalam upaya pemberantasan malaria [2], [3]. Provinsi Lampung merupakan daerah endemis malaria, terutama di Kabupaten Pesawaran, dengan Desa Hanura di Kecamatan

Teluk Pandan sebagai wilayah dengan kasus tertinggi berdasarkan data Dinas Kesehatan dan laporan pengabdian masyarakat. Kasus malaria di desa tersebut tercatat 235 kasus pada 2019, turun menjadi 21 kasus pada 2020, lalu meningkat kembali menjadi 161 kasus pada 2021 dan 172 kasus pada 2022 [4].

Penularan malaria terjadi melalui interaksi kompleks antara manusia, nyamuk *Anopheles* sebagai vektor, parasit *Plasmodium*, serta faktor lingkungan yang berperan besar dalam menentukan tinggi rendahnya risiko suatu wilayah [5]. Faktor lingkungan terutama terkait dengan ketersediaan dan karakteristik habitat perairan yang mendukung siklus hidup awal nyamuk, karena telur hingga pupa berkembang di lingkungan akuatik dengan kondisi fisik, biologis, dan kimia tertentu [6]. Berbagai tempat seperti rawa, sawah, parit, tepi sungai, saluran irigasi, mata air, lubang galian, dan genangan air hujan dapat menjadi lokasi perkembangbiakan, dengan pertumbuhan larva optimal pada salinitas 0,2-1,0 ppt selama 6-8 hari. Perkembangan parasit dalam tubuh nyamuk terhenti pada suhu di bawah 16°C, sementara pertumbuhan nyamuk berhenti pada suhu kurang dari 10°C atau lebih dari 40°C [7].

Seiring perkembangan teknologi, *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi pemantauan lingkungan secara *real-time* melalui integrasi sensor, mikrokontroler, komunikasi nirkabel, dan sistem berbasis web [8]. Tinjauan kritis terbaru menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis IoT mampu meningkatkan akurasi pengukuran hingga sekitar 95% dibanding metode konvensional yang hanya mencapai 85% [9]. Sistem IoT memungkinkan pengumpulan data multi-titik secara kontinu dengan konsumsi daya rendah, sehingga cocok diterapkan pada wilayah perairan terpencil [10]. Beberapa studi sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT untuk budidaya perikanan dan pertanian cerdas [8], [11], namun sebagian besar masih berfokus pada parameter umum seperti pH, TDS, atau suhu tanpa mengaitkannya secara spesifik dengan identifikasi habitat larva vektor malaria.

Meskipun penelitian terkait sensor salinitas dan sistem IoT telah banyak dilakukan, masih terdapat beberapa keterbatasan. Pertama, sedikit penelitian yang secara khusus memfokuskan pada pemantauan salinitas dalam konteks habitat larva *Anopheles* di wilayah pesisir. Kedua, sebagian besar studi hanya mendemonstrasikan kinerja sensor pada skala laboratorium tanpa melaporkan evaluasi kuantitatif konsumsi daya lapangan secara rinci [12]. Ketiga, validasi komunikasi nirkabel jarak menengah berbasis modul NRF24L01 pada skenario multi-titik di lingkungan nyata masih terbatas [13]. Selain itu, kajian sistematis terbaru tentang sensor kualitas air berbasis IoT menunjukkan bahwa tantangan utama sistem lapangan meliputi stabilitas sensor, efisiensi energi, dan keandalan transmisi data jangka panjang [14], [15].

Makalah ini membahas perancangan dan implementasi sistem pemantauan salinitas dan suhu perairan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk beroperasi secara hemat energi dan mampu bekerja secara kontinu di lingkungan perairan endemis malaria. Penelitian ini juga mengevaluasi kinerja sistem komunikasi nirkabel berbasis NRF24L01 dalam mendukung transmisi data *real-time* pada skema pemantauan multi-titik di kondisi lapangan. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap stabilitas sistem, ketahanan perangkat terhadap pengaruh lingkungan, serta jangkauan komunikasi untuk memastikan keandalan sistem pada implementasi lapangan. Efektivitas antarmuka sistem *monitoring* berbasis web dalam menyajikan data hasil pengukuran secara informatif dan terstruktur juga dikaji sebagai bagian dari sistem pendukung pemantauan lingkungan perairan.

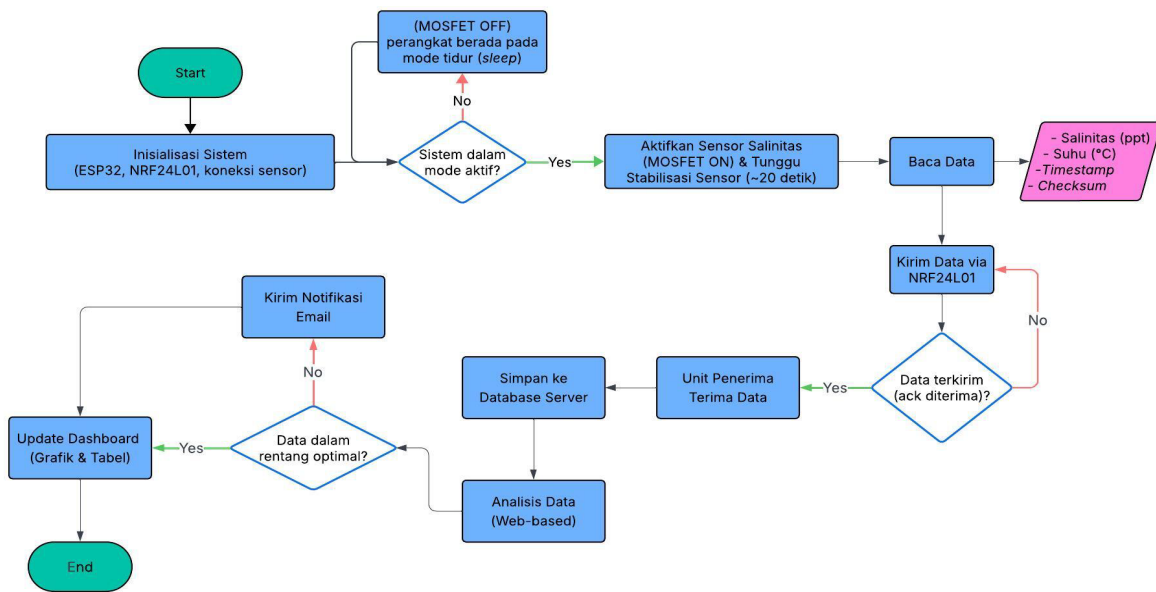
2 Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen sistematis yang bertujuan untuk merancang, merakit, dan menguji sistem pemantauan populasi larva nyamuk di perairan berbasis *Internet of Things* (IoT). Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan pada tahun 2025, meliputi perancangan sistem, fabrikasi perangkat, pengujian, implementasi lapangan, serta analisis data. Kegiatan penelitian dilakukan di laboratorium dan pada lokasi uji lapangan di kawasan rawa pesisir Desa Hanura, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

2.1 Perancangan Sistem

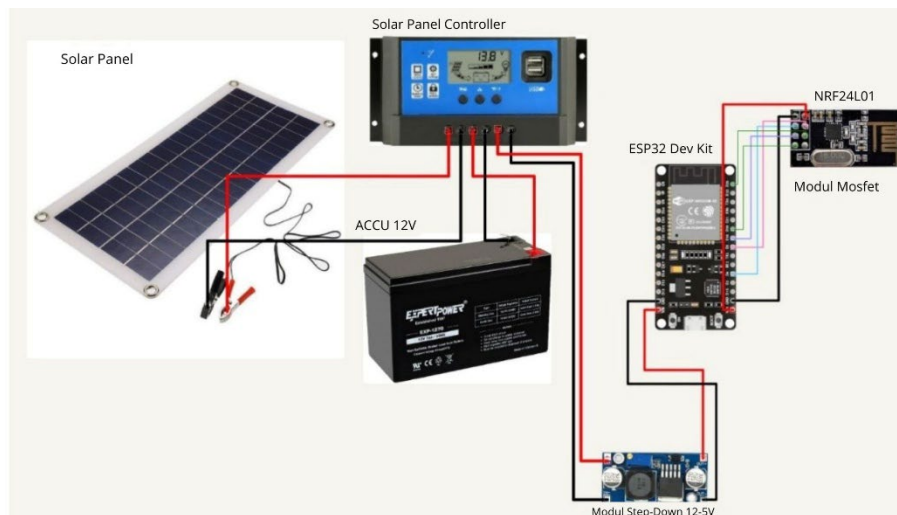
Sistem pemantauan yang dikembangkan dirancang untuk mengukur parameter lingkungan perairan yang berpengaruh terhadap perkembangan larva nyamuk malaria, yaitu salinitas dan suhu air. Gambar 1 menunjukkan alur sistem yang diawali dengan inisialisasi ESP32, modul NRF24L01, dan koneksi sensor, kemudian bekerja secara periodik dengan memanfaatkan mode aktif dan mode *sleep* untuk efisiensi energi. Pada saat aktif, MOSFET menghidupkan sensor salinitas, sistem menunggu proses stabilisasi, lalu membaca data salinitas dan suhu sebelum mengirimkannya secara nirkabel ke unit penerima. Data yang diterima selanjutnya disimpan ke *database*, dianalisis, dan ditampilkan pada *dashboard*. Apabila nilai parameter berada di luar batas yang ditentukan, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan. Pengukuran dilakukan menggunakan sensor salinitas digital WQ7706D yang bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas air,

sehingga mampu menghasilkan data kadar garam (salinitas) dan suhu lingkungan perairan secara bersamaan.



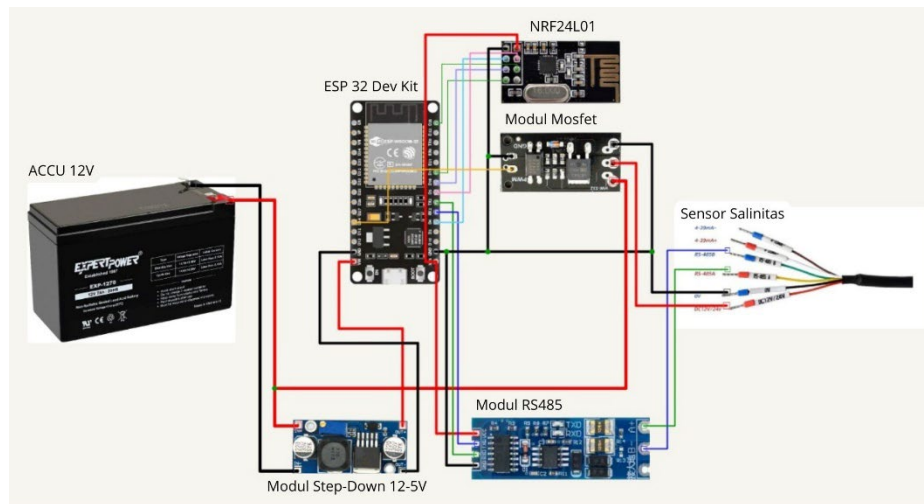
Gambar 1 Diagram alir sistem

Pengolahan data sensor yang ditampilkan pada Gambar 2 dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 Dev Board yang berfungsi sebagai pengendali utama sistem. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan secara nirkabel menggunakan modul NRF24L01 yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan memiliki konsumsi daya rendah. Konfigurasi sistem kontrol dan komunikasi ini memungkinkan pengiriman data secara *real-time* dari unit sensor menuju unit penerima atau *server*. Selain itu, modul MOSFET digunakan sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32 untuk mengatur suplai daya secara terprogram, sehingga konsumsi energi sistem dapat dioptimalkan dan mendukung operasi perangkat secara mandiri dan berkelanjutan di lapangan. Skematik. Berbeda dengan pendekatan *Wireless Sensor System (WSS)* pada penelitian sebelumnya yang berfokus pada pemantauan salinitas untuk aplikasi umum [8], sistem dalam penelitian ini mengintegrasikan komunikasi nirkabel berdaya rendah berbasis NRF24L01 serta optimasi konsumsi energi terukur untuk mendukung implementasi lapangan jangka panjang pada wilayah endemis malaria.



Gambar 2 Skematik sistem kontrol dan komunikasi

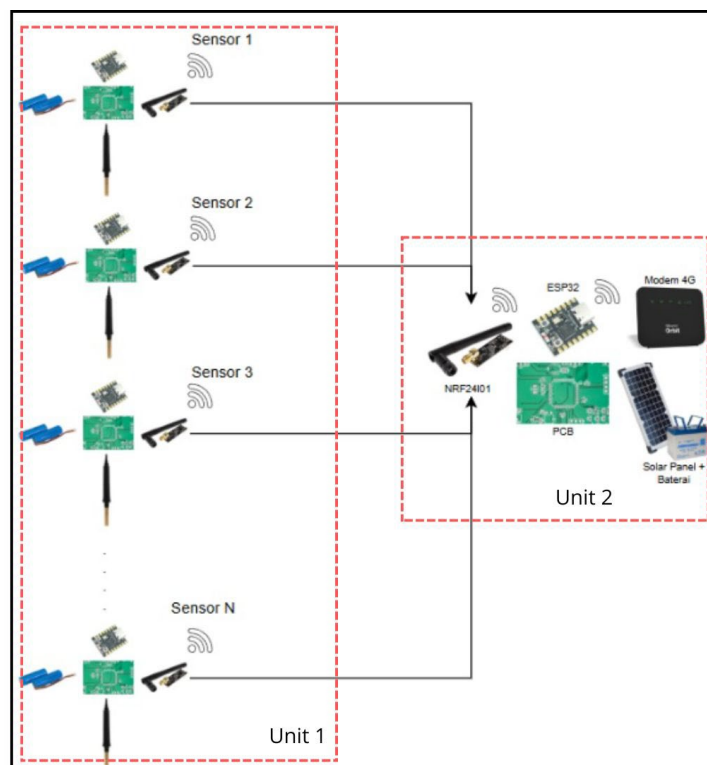
Gambar 3 menampilkan rancangan sistem catu daya untuk mendukung pengoperasian perangkat selama 24 jam. Unit sensor menggunakan baterai 12 V berkapasitas 20 Ah sebagai sumber daya utama, sedangkan unit penerima dilengkapi dengan panel surya, baterai, dan *solar charge controller* untuk mengatur proses pengisian dan distribusi daya. Tegangan dari baterai diturunkan menggunakan modul *step-down* menjadi 5 V agar sesuai dengan kebutuhan kerja ESP32 dan komponen pendukung lainnya. Seluruh rangkaian elektronik dirancang dan direalisasikan pada papan sirkuit cetak (PCB) menggunakan perangkat lunak perancangan rangkaian seperti KiCad atau EasyEDA.



Gambar 3 Skematik rangkaian

2.2 Fabrikasi Perangkat

Fabrikasi perangkat dilakukan dengan membagi sistem menjadi dua unit utama yang direalisasikan pada dua PCB terpisah seperti yang ditampilkan Gambar 4. Unit 1 berfungsi sebagai unit akuisisi data dan pengendali utama, yang terdiri dari ESP32, modul NRF24L01, sensor salinitas yang terhubung melalui modul RS485, modul MOSFET sebagai pengendali suplai daya sensor, serta modul *step-down* untuk menurunkan tegangan dari baterai 12 V menjadi 5 V. Seluruh rangkaian pada unit ini memperoleh suplai daya langsung dari baterai sehingga mampu bekerja secara stabil dan kontinu dalam melakukan pengukuran dan pengiriman data.



Gambar 4 Skema fabrikasi perangkat

Unit 2 berfungsi sebagai unit penerima data sekaligus unit catu daya berbasis energi surya. PCB pada unit ini memuat ESP32 dan modul NRF24L01 untuk menerima data secara nirkabel dari unit sensor, serta modul *step-down*, *panel surya*, dan *solar charge controller* untuk mengatur pengisian dan distribusi daya. Seluruh rangkaian ditempatkan dalam kotak pelindung kedap air. Panel surya dipasang pada posisi optimal terhadap sinar matahari, sedangkan unit sensor ditempatkan pada pelampung penopang yang tahan terhadap kondisi pasang surut, sehingga sistem dapat beroperasi secara andal di lingkungan perairan.

2.3 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara menyeluruh, meliputi uji integrasi sistem, uji ketahanan lingkungan, uji jarak komunikasi, dan uji akurasi sensor salinitas. Selain itu, implementasi dilakukan pada dua titik perairan berbeda untuk mengevaluasi konsistensi sistem dalam skenario multi-titik.

2.3.1 Uji Integrasi Sistem

Uji integrasi sistem dilakukan untuk memastikan seluruh komponen, yaitu sensor salinitas, mikrokontroler ESP32, modul komunikasi NRF24L01, serta *server* berbasis *web* yang terhubung melalui protokol MQTT, dapat bekerja secara terpadu. Pengujian diawali dengan menyalakan *node* sensor dan unit penerima, kemudian dilakukan pembacaan data setelah sensor mencapai kondisi stabil. Variasi kondisi dibuat dengan mengubah nilai salinitas dan suhu secara bertahap untuk mengamati respon sistem terhadap perubahan parameter. Data yang diperoleh dikirim melalui NRF24L01 ke unit penerima dan diteruskan ke *server*, kemudian dibandingkan dengan nilai referensi untuk memastikan kesesuaian pembacaan dan keberhasilan transmisi. Parameter evaluasi meliputi kesesuaian nilai sensor dengan nilai referensi, keberhasilan transmisi data (*acknowledgement*), sinkronisasi *timestamp*, respon notifikasi *threshold*.

2.3.2 Uji Ketahanan Lingkungan

Uji ketahanan lingkungan dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan perangkat terhadap paparan air dan kondisi luar ruang. Perangkat yang telah dirakit ditempatkan dalam kondisi operasional dan disemprot menggunakan *water jet* bertekanan sedang selama 10 menit untuk mensimulasikan hujan deras atau percikan air lapangan. Setelah pengujian, casing dibuka untuk memeriksa adanya kebocoran air serta dilakukan pengujian ulang fungsi sistem.

2.3.3 Uji Jarak Komunikasi

Uji jarak dilakukan untuk mengevaluasi performa komunikasi modul NRF24L01 terhadap peningkatan jarak. Prosedur pengujian meliputi *node* sensor dan unit penerima ditempatkan pada jarak awal 10 meter, sistem mengirimkan 100 paket data berturut-turut (nilai salinitas (ppt), nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$), *timestamp*), jarak ditambah setiap 10 meter hingga 150 meter, kemudian dicatat jumlah paket sukses dan paket hilang (*packet loss*).

2.3.4 Uji Akurasi Sensor WQ7706D

Uji akurasi dilakukan untuk mengevaluasi ketepatan pembacaan sensor salinitas digital WQ7706D terhadap larutan standar salinitas 42 ppt. Pengujian dilakukan di laboratorium pada suhu lingkungan aktual saat pengujian. Suhu referensi diukur secara simultan menggunakan termometer digital dengan akurasi $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

2.4 Implementasi

Implementasi sistem dilakukan dengan memasang perangkat pada dua titik tambak di wilayah pesisir Desa Hanura sebagai lokasi penelitian. Tahapan implementasi mencakup pemasangan perangkat, kalibrasi sensor, serta pengujian komunikasi jaringan. Selama implementasi, data parameter salinitas dan suhu air diukur secara kontinu dan dikirimkan ke *server* IoT untuk mendukung pemantauan jarak jauh secara *real-time*.

2.5 Analisis Data

Data kualitas air diperoleh dari hasil pengukuran sensor salinitas yang merekam parameter salinitas dan suhu secara berkala. Data tersebut diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke *server* berbasis *web* untuk ditampilkan secara *real-time*. Data yang tersimpan pada *server* selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik dan divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mengamati pola dan tren perubahan kualitas air. Nilai salinitas hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan rentang salinitas standar yang sesuai untuk perkembangan larva nyamuk malaria guna menentukan apakah kondisi perairan mendukung atau tidak mendukung perkembangbiakan larva. Hasil analisis ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mendeteksi habitat potensial larva nyamuk.

3 Hasil dan Analisis

3.1 Implementasi Sistem

Perangkat telah berhasil direalisasikan dan diimplementasikan di lapangan dengan memperhatikan aspek perlindungan dan kemandirian sistem. Perangkat unit 1 ditempatkan di dalam kotak pelindung kedap air yang dipasang pada tiang penopang di tepi kolam, sehingga aman dari genangan air, percikan, serta gangguan lingkungan sekitar. Kotak pelindung tersebut terhubung dengan panel surya pada perangkat unit 2 sebagai sumber daya tambahan, dengan aki sebagai sumber daya utama, yang menunjukkan bahwa sistem dirancang untuk beroperasi secara mandiri dengan memanfaatkan energi matahari.



Gambar 5 Perangkat unit 1 (kiri) dan perangkat unit 2 (kanan)

Sensor salinitas dipasang langsung di dalam tambak dan dihubungkan ke unit utama melalui kabel, memungkinkan pengukuran kondisi air secara kontinu dan *real-time*. Penempatan sensor serta perangkat pendukung telah disesuaikan dengan kondisi lingkungan lapangan, termasuk adanya fluktuasi permukaan air. Dengan konfigurasi ini, sistem mampu melakukan pembacaan salinitas secara akurat, mengirimkan data ke sistem penerima atau *server*, serta beroperasi secara stabil dalam lingkungan luar ruang, sehingga membuktikan bahwa perangkat tidak hanya berhasil dirancang secara konseptual, tetapi juga berfungsi dengan baik sebagai sistem pemantauan kualitas lingkungan air berbasis IoT.

Konsumsi daya didapatkan dengan mengukur arus total sistem pada dua kondisi kerja, yaitu saat perangkat berada pada mode tidur (*sleep*) dan saat perangkat aktif melakukan pengambilan serta pengiriman data. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus yang dikonsumsi sistem pada kondisi *sleep* sebesar 0,007 A, sedangkan pada kondisi aktif arus meningkat menjadi 0,820 A. Nilai ini merupakan arus keseluruhan sistem tanpa memisahkan kontribusi masing-masing modul, sehingga merepresentasikan kondisi riil konsumsi daya perangkat di lapangan.

Sistem dirancang bekerja secara periodik, di mana perangkat aktif setiap 2 jam sekali selama 10 menit untuk melakukan pembacaan sensor dan pengiriman data. Dalam satu hari terdapat 24 jam, sehingga jumlah siklus aktif adalah 12 kali per hari. Total waktu aktif per hari menjadi 120 menit atau 2 jam, sedangkan sisa waktu 22 jam berada pada kondisi *sleep*. Konsumsi arus harian pada mode aktif dihitung dengan mengalikan arus aktif dengan durasi aktif, yaitu $0,820 \text{ A} \times 2 \text{ jam} = 1,64 \text{ Ah}$ per hari. Sementara itu, konsumsi arus pada mode *sleep* dihitung sebesar $0,007 \text{ A} \times 22 \text{ jam} = 0,154 \text{ Ah}$ per hari.

Dengan demikian, total konsumsi energi sistem dalam satu hari adalah penjumlahan konsumsi pada mode aktif dan mode *sleep*, yaitu $1,640 \text{ Ah} + 0,154 \text{ Ah} = 1,794 \text{ Ah}$ per hari. Sistem menggunakan aki 12 V dengan kapasitas 20 Ah sebagai sumber daya utama. Dengan asumsi kapasitas aki dapat digunakan secara penuh, maka estimasi lama operasi perangkat tanpa pengisian ulang dapat dihitung dengan membagi kapasitas aki terhadap konsumsi harian, yaitu $20 \text{ Ah} \div 1,794 \text{ Ah} \approx 11,1$ hari. Dibandingkan dengan sistem IoT konvensional berbasis Wi-Fi yang umumnya memiliki konsumsi daya lebih tinggi dan memerlukan suplai listrik kontinu [10], sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan efisiensi energi yang terukur dengan konsumsi harian 1,8006 Ah dan estimasi operasi mandiri ± 11 hari tanpa pengisian ulang. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *energy-efficient IoT systems* yang menekankan penggunaan mode *sleep* adaptif untuk memperpanjang umur operasional perangkat lapangan [12].

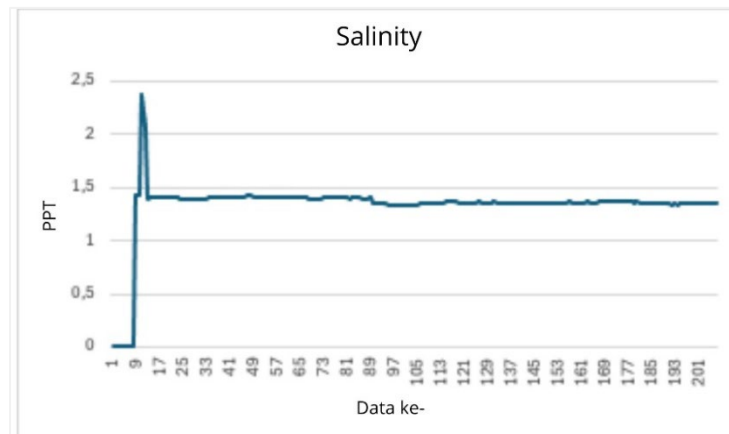
Tabel 1 Konsumsi arus system per hari

Kondisi Sistem	Arus (A)	Waktu (jam/hari)	Konsumsi (Ah/hari)
Mode Aktif	0,820	2	1,640
Mode Sleep	0,007	22	0,154
Total	—	24	1,794

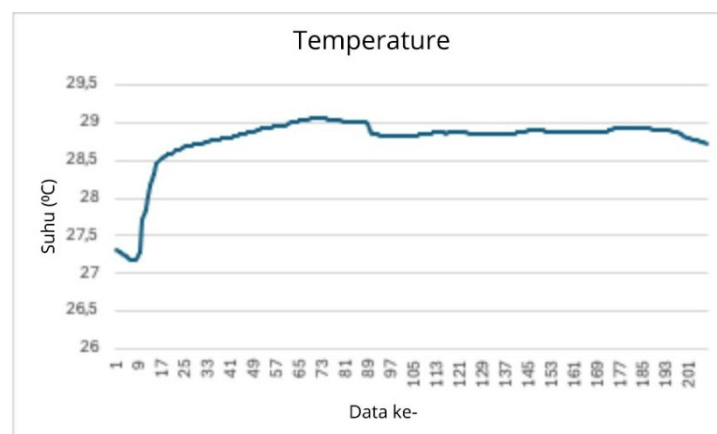
Berdasarkan Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa perangkat mampu beroperasi selama kurang lebih 11 hari secara kontinu hanya dengan menggunakan aki 12 V 20 Ah tanpa suplai tambahan dari panel surya. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan mode *sleep* sangat berperan penting dalam menekan konsumsi daya, sehingga sistem menjadi lebih efisien dan layak digunakan untuk pemantauan jangka panjang di lingkungan perairan berbasis energi mandiri.

3.2 Pengujian Sistem

Implementasi sistem dilakukan pada dua titik tambak yang berbeda di wilayah pesisir Desa Hanura. Perbedaan kedua titik terletak pada kondisi fisik kolam dan karakteristik salinitas air, di mana Titik 1 memiliki rentang salinitas lebih rendah dibandingkan Titik 2. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi konsistensi pembacaan sensor dan stabilitas komunikasi sistem pada lingkungan yang berbeda. Data dari kedua titik dibandingkan untuk memastikan sistem mampu mengelola pengukuran *multi-node* secara simultan tanpa gangguan integrasi maupun penurunan performa transmisi data.



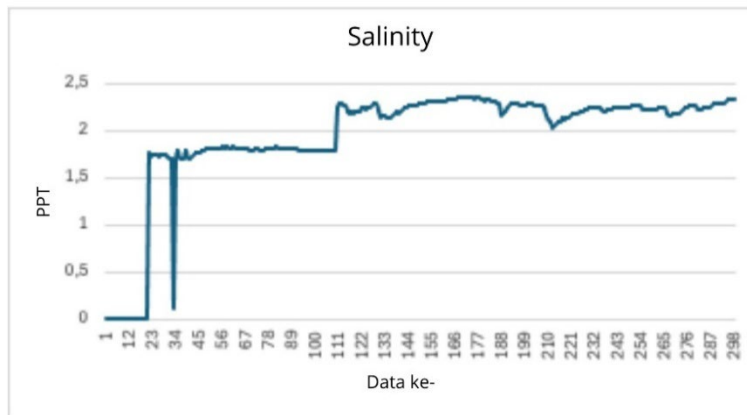
Gambar 6 Grafik salinitas titik 1



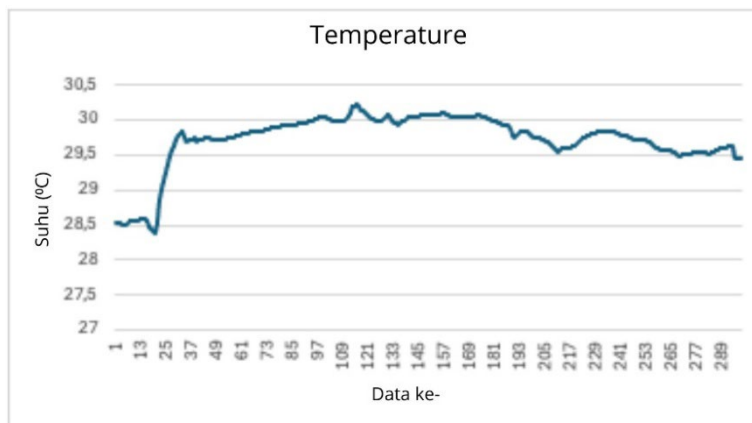
Gambar 7 Grafik temperatur titik 1

Data lingkungan dari Titik 1 menunjukkan bahwa parameter kualitas air sangat mendukung perkembangan vektor malaria, dan kinerja sistem IoT terbukti stabil ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Pengujian salinitas menunjukkan pentingnya fase stabilisasi sensor di awal, di mana pembacaan mengalami fase fluktuasi sementara, hingga mencapai nilai stabil 1,35-1,4 ppt. Meskipun salinitas ini melebihi batas optimal 1,0 ppt untuk *Anopheles* air tawar, kadar payau ringan ini sangat kondusif bagi spesies vektor adaptif pesisir.

Faktor pendukung utama habitat adalah suhu air yang terekam sangat stabil di kisaran $28,8^{\circ}\text{C}$ – $29,0^{\circ}\text{C}$. Suhu ini ideal dalam rentang perkembangan larva *Anopheles* dan memfasilitasi percepatan siklus parasit malaria. Stabilitas pembacaan kedua sensor pasca-fluktuasi sementara memvalidasi keandalan sistem pemantauan dalam memberikan data *real-time* yang konsisten, mengidentifikasi Titik 1 sebagai zona risiko yang memerlukan tindakan penanganan pengendalian vektor secara berkelanjutan.



Gambar 8 Grafik salinitas titik 2

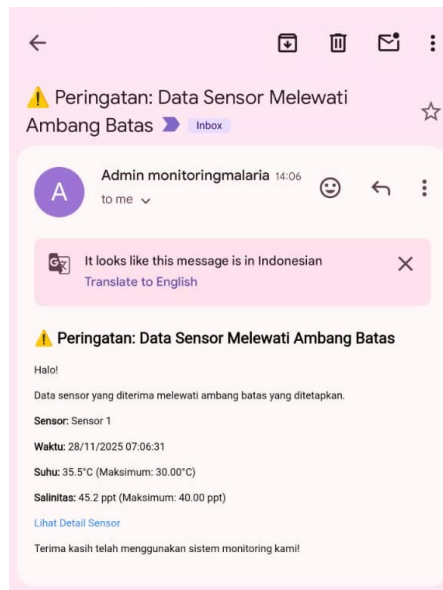


Gambar 9 Grafik temperatur titik 2

Berdasarkan hasil pemantauan pada Titik 2 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9, sistem sensor salinitas dan temperatur menunjukkan kinerja yang baik dengan pola pengukuran yang konsisten. Pada fase awal pengambilan data terjadi fluktuasi nilai, di mana salinitas bergerak dari 0 ppt hingga sekitar 1,7 ppt dan suhu air meningkat dari $28,5^{\circ}\text{C}$ hingga mendekati $29,8^{\circ}\text{C}$, yang merupakan fase normal stabilisasi sensor saat awal pengaktifan dan penyesuaian dengan kondisi lingkungan perairan. Setelah fase tersebut, pembacaan sensor menjadi relatif stabil dengan nilai salinitas berada pada kisaran 1-2,3 ppt dan suhu air berkisar antara $29,5^{\circ}\text{C}$ - $30,5^{\circ}\text{C}$ dengan variasi yang kecil, menunjukkan akurasi dan *repeatability* sensor yang baik. Kestabilan data ini juga menegaskan bahwa integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan sistem komunikasi nirkabel telah berjalan secara optimal tanpa gangguan yang signifikan.

Kondisi yang terdeteksi ini sesuai untuk berkembangnya larva nyamuk *Anopheles* karena berada dalam rentang optimal (salinitas 0,2-1,0 ppt dan suhu $16-40^{\circ}\text{C}$). Data yang *real-time* membuktikan sistem komunikasi nirkabel dan transmisi ke *server* berfungsi dengan baik. Untuk pengoperasian yang optimal, sistem perlu menunggu sekitar 20 detik setelah sensor diaktifkan agar pembacaan stabil sebelum data dicatat, sehingga notifikasi peringatan habitat larva yang dikirim ke petugas kesehatan menjadi akurat dan mendukung tindakan pencegahan tepat waktu. Informasi notifikasi ditampilkan pada Gambar 10.

Rentang salinitas dan suhu yang terukur pada penelitian ini berada dalam kisaran yang sejalan dengan karakteristik habitat larva *Anopheles* yang dilaporkan pada studi sebelumnya menunjukkan bahwa kepadatan larva cenderung meningkat pada perairan dengan salinitas rendah hingga payau ringan dan suhu di atas 25°C [5], [6]. Selain itu, penelitian lain melaporkan bahwa fluktuasi suhu harian dalam rentang $28-30^{\circ}\text{C}$ berasosiasi dengan peningkatan aktivitas perkembangan larva [7] Hasil penelitian ini yang menunjukkan suhu $28,8-30,5^{\circ}\text{C}$ dan salinitas 1,35-2,3 ppt memperkuat konsistensi temuan tersebut pada konteks wilayah pesisir Lampung.



Gambar 10 Notifikasi peringatan melalui e-mail

Uji ketahanan lapangan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara menyeluruh dalam kondisi operasional nyata, dengan memperhatikan faktor paparan sinar matahari dan potensi gangguan dari lingkungan perairan. Hasil pengujian ditemukan potensi kebocoran akibat penempatan baterai yang kurang presisi terhadap casing. Setelah dilakukan penyesuaian tata letak dan penambahan pelindung kedap air pada sambungan kabel, sistem dapat beroperasi kembali secara normal tanpa gangguan fungsi elektronik.

Berdasarkan pengujian jarak komunikasi menggunakan modul NRF yang dilakukan pada Gambar 11., diperoleh hasil bahwa sistem mampu melakukan transmisi data secara stabil hingga jarak 150 meter antara node sensor dan unit penerima. Pengukuran dilakukan dengan memanfaatkan peta digital untuk menentukan jarak antara titik pemasangan sensor di area perairan dan titik penerima data.



Gambar 11 Jarak NRF

Hasil pengujian jarak komunikasi yang ditunjukkan Tabel 2 menunjukkan bahwa modul NRF24L01 mampu mentransmisikan data secara stabil hingga jarak 150 meter pada kondisi lapangan terbuka. Pada setiap interval pengujian (kenaikan 10 meter), dilakukan pengiriman 100 paket data untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan transmisi. Hingga jarak 100 meter, seluruh paket data diterima tanpa kehilangan (0% *packet loss*). Pada jarak di atas 120 meter mulai terjadi penurunan performa yang ditandai dengan peningkatan *packet loss* secara bertahap, dan pada jarak 150 meter tingkat kehilangan data tercatat kurang dari 10%. Meskipun terjadi sedikit degradasi sinyal pada jarak maksimum, sistem masih mampu mempertahankan komunikasi dua arah dengan konfirmasi *acknowledgment* (ACK) yang berfungsi dengan baik. Hasil ini menunjukkan bahwa modul NRF24L01 cukup andal untuk implementasi sistem monitoring multi-titik dalam skenario tambak atau perairan terbuka tanpa memerlukan infrastruktur kabel tambahan.

Tabel 2 Hasil pengujian jarak komunikasi

Jarak (m)	Data dikirim	Data diterima	Packet Loss (%)
10	100	100	0%
50	100	100	0%
100	100	98	2%
130	100	94	6%
150	100	90	10%

Hasil pengujian akurasi sensor yang ditampilkan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa sensor salinitas WQ7706D memiliki nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,09 ppt terhadap larutan standar 42 ppt, dengan rata-rata error persentase sebesar 0,21%. Nilai error maksimum yang tercatat adalah 0,14 ppt. Untuk parameter suhu, diperoleh nilai MAE sebesar 0,08 °C dibandingkan termometer referensi, dengan error maksimum 0,1 °C. Nilai MAE yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat ketepatan yang tinggi dan konsistensi pembacaan yang baik pada pengukuran berulang. Dengan tingkat deviasi yang rendah tersebut, sensor dinilai layak digunakan untuk aplikasi monitoring kualitas air berbasis IoT pada lingkungan perairan lapangan.

Tabel 3 Hasil pengujian akurasi sensor

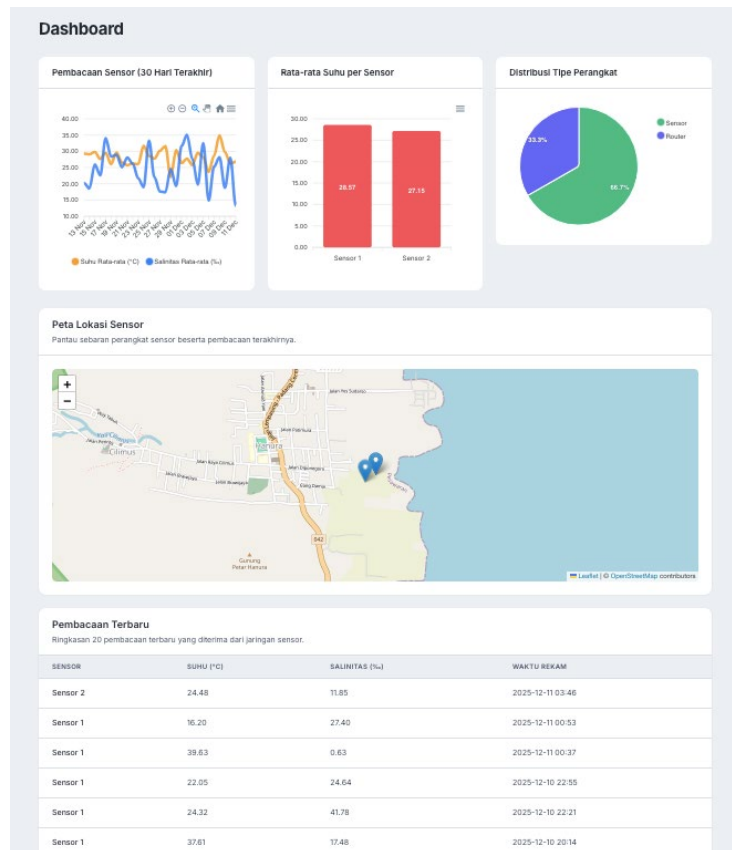
No	Referensi Salinitas (ppt)	Sensor (ppt)	Error (ppt)	Error (%)	Referensi Suhu (°C)	Sensor (°C)	Error (°C)
1	42,00	41,86	0,14	0,33%	27,4	27,5	0,1
2	42,00	42,08	0,08	0,19%	27,5	27,4	0,1
3	42,00	41,93	0,07	0,17%	27,3	27,3	0,0
4	42,00	42,05	0,05	0,12%	27,6	27,7	0,1
5	42,00	41,89	0,11	0,26%	27,5	27,4	0,1

3.3 Antarmuka dan Sistem *Monitoring*

Dashboard pada sistem ini dirancang untuk menyajikan informasi lingkungan dalam bentuk grafik, diagram, peta lokasi, serta tabel pembacaan terbaru, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami kondisi sensor secara komprehensif. Seluruh komponen visual yang ditampilkan, baik grafik maupun tabel data, merupakan bagian integral dari satu sistem *dashboard* yang saling melengkapi

Pada tampilan utama *dashboard* yang tertera pada Gambar 12 akan menampilkan grafik pembacaan sensor selama 30 hari terakhir yang merepresentasikan perubahan nilai suhu dan salinitas dari waktu ke waktu. Grafik ini memungkinkan pengguna untuk mengamati pola fluktuasi data, kecenderungan kenaikan atau penurunan nilai, serta stabilitas pengukuran sensor dalam jangka panjang. *Dashboard* juga menampilkan diagram batang rata-rata suhu per sensor yang memberikan gambaran perbandingan performa antar sensor, sehingga memudahkan identifikasi perbedaan karakteristik atau kondisi lingkungan pada tiap titik pengukuran.

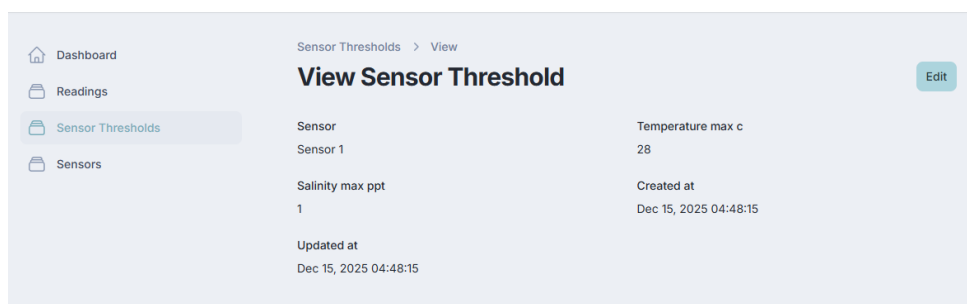
Dashboard dilengkapi dengan diagram distribusi tipe perangkat yang menunjukkan proporsi sensor dan *router* dalam sistem. Informasi ini penting untuk memvisualisasikan komposisi perangkat IoT yang terhubung dan memastikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan rancangan jaringan sensor. Selain itu, *dashboard* juga menampilkan peta lokasi sensor untuk menunjukkan sebaran geografis sensor beserta titik pengukuran terbarunya. Visualisasi peta ini memberikan konteks spasial terhadap data yang dihasilkan, sehingga analisis tidak hanya dilakukan secara numerik, tetapi juga berdasarkan lokasi pengambilan data.



Gambar 12 Tampilan *dashboard*

Tabel Pembacaan Terbaru yang berisi data numerik hasil pengukuran sensor juga di tampilkan dalam *dashboard*, seperti nilai suhu, salinitas, dan waktu perekaman. Tabel ini merupakan bagian dari *dashboard* yang berfungsi sebagai representasi data mentah (*raw data*) yang mendasari grafik dan diagram yang ditampilkan. Keberadaan tabel ini memungkinkan pengguna untuk melakukan verifikasi data secara langsung, serta memperoleh nilai pengukuran secara detail dan presisi pada waktu tertentu.

Berdasarkan data yang ditampilkan pada *dashboard* dan tabel pembacaan, sistem *monitoring* akan menyajikan data sensor secara konsisten dan terstruktur. Integrasi antara grafik, peta, dan tabel dalam satu *dashboard* mempermudah proses analisis data lingkungan, baik untuk pemantauan *real-time* maupun evaluasi historis. Tampilan ini tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai sarana pendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam pemantauan kondisi lingkungan secara berkelanjutan.



Gambar 13 Menu sensor *threshold*

Pada Gambar 13 disediakan menu sensor *threshold* yang berfungsi untuk menetapkan nilai batas (*threshold*) parameter salinitas dan temperatur pada setiap sensor. Menu ini memungkinkan pengguna menentukan nilai maksimum salinitas (ppt) dan suhu (°C) yang dianggap sebagai ambang batas kondisi lingkungan tertentu. Apabila hasil pembacaan sensor melampaui nilai *threshold* yang telah ditetapkan, sistem secara otomatis akan menghasilkan notifikasi peringatan (*warning*) kepada pengguna melalui antarmuka *dashboard*. Mekanisme ini dirancang untuk mendukung pemantauan kondisi perairan secara proaktif, sehingga potensi lingkungan yang mendukung perkembangan larva nyamuk malaria dapat terdeteksi lebih dini.

4 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan kebaruan pada aspek integrasi rekayasa sistem yang menggabungkan pemantauan salinitas dan suhu spesifik untuk identifikasi risiko habitat larva *Anopheles* dengan optimasi konsumsi daya dan validasi komunikasi lapangan secara kuantitatif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada monitoring kualitas air untuk akuakultur atau pengujian sensor skala laboratorium, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini telah divalidasi pada kondisi lapangan nyata dengan capaian teknis terukur, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE) sensor salinitas sebesar 0,09 ppt (0,21%) terhadap larutan standar 42 ppt, MAE suhu sebesar 0,08 °C, konsumsi energi harian sebesar 1,794 Ah, serta estimasi operasi mandiri 10 ± 1 hari menggunakan baterai 12 V 20 Ah tanpa pengisian ulang. Selain itu, modul NRF24L01 mampu mempertahankan transmisi data stabil hingga jarak 150 meter dengan tingkat kehilangan paket kurang dari 10% pada jarak maksimum, menunjukkan kelayakan sistem untuk implementasi multi-titik pada perairan terbuka.

Secara aplikatif, sistem ini memberikan kontribusi pada pendekatan pengendalian malaria berbasis lingkungan melalui deteksi dini kondisi perairan berisiko, dengan parameter lapangan terukur pada rentang salinitas 1,35-2,3 ppt dan suhu 28,8-30,5 °C yang berpotensi mendukung perkembangan larva. Integrasi notifikasi ambang batas (*threshold-based alert*) memungkinkan respon preventif sebelum terjadi peningkatan populasi vektor secara signifikan. Dengan kombinasi akurasi sensor tinggi, efisiensi energi terukur, dan stabilitas komunikasi nirkabel lapangan, sistem ini memperkuat model pemantauan lingkungan akuatik berbasis IoT sebagai instrumen pendukung surveilans vektor malaria yang lebih terstandarisasi, kuantitatif, dan berkelanjutan dibanding pendekatan monitoring konvensional yang bersifat periodik dan manual.

Antarmuka *dashboard monitoring* yang dikembangkan juga terbukti efektif dalam menyajikan data sensor secara terintegrasi melalui grafik historis, peta lokasi, tabel pembacaan terbaru, serta mekanisme penetapan ambang batas (*threshold*) dan notifikasi peringatan. Fitur ini mendukung pemantauan lingkungan secara proaktif dan dapat membantu pengambil keputusan dalam merencanakan tindakan pengendalian vektor berbasis data.

Ucapan Terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas pendanaan melalui Skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun Anggaran 2025.

Apresiasi yang sebesar-besarnya juga diberikan kepada Institut Teknologi Sumatera, Dinas Kesehatan Provinsi Lampung dan Dinas Kesehatan Kabupaten Pesawaran atas dukungan berupa izin penelitian, pendampingan teknis, dan penyediaan data sekunder yang sangat membantu pelaksanaan uji lapangan dalam penelitian ini.

Terima kasih kepada seluruh anggota tim penelitian dan mitra lapangan yang telah berkontribusi dalam proses perancangan, perakitan, pengujian, serta analisis data sehingga penelitian ini dapat terlaksana sesuai rencana.

Nomenklatur

IoT	=	<i>Internet of Things</i>
Ppt	=	<i>Parts per thousand</i>
NRF24L01	=	<i>Nordic Radio Frequency 24L01</i>
ESP 32 Dev Board	=	<i>Espressif Systems 32 Dev Board</i>

Referensi

- [1] Ngadino *et al.*, "Spatial analysis of malaria cases and *Anopheles* species in East Java region, Indonesia," *Trop. Med. Health*, vol. 52, no. 1, 2024. <https://doi.org/10.1186/s41182-024-00662-9>
- [2] T. P. Utami, "Faktor risiko penyebab terjadinya malaria di Indonesia: literature review", *Jurnal Surya Medika*. 2022. <https://doi.org/10.33084/jsm.v7i2.3211>
- [3] P. D. Utami, "Malaria di Indonesia," *Hang Tuah Medical Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 23–31, 2007. <http://dspace.hangtuah.ac.id/xmlui/handle/dx/698>

- [4] E. Setyaningrum et al., "Pelatihan pengendalian vektor malaria babi kader malaria di Desa Hanura kecamatan Teluk Pandan kabupaten Pesawaran," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ruwa Jurai*, vol. 9, no. 1, pp. 100–103, 2024. <https://doi.org/10.23960/jpmrj.v9i1.3308>
- [5] N. N. A. Zamil, K. Amirus, and A. A. Perdana, "Karakteristik habitat lingkungan terhadap kepadatan larva Anopheles Spp," *Journal Health & Science : Gorontalo Journal Health and Science Community*, vol. 5, no. 1, pp. 229–242, 2021. <https://doi.org/10.35971/gojhes.v5i1.10266>
- [6] M. Tasya Zahrawana et al., "Characteristics of Anopheles breeding places in Dahian Tambuk village, Gunung Mas district, Central Kalimantan," *Journal of Vocational Health Studies*, vol. 7, no. 3, 2024. <https://doi.org/10.20473/jvhs.v7.i3.2024.161-165>
- [7] B. Ayunda, A. Rahman Jabal, A. Ratnasari, I. Augustina, and Nawan, "Sebaran habitat larva Anopheles spp. di kelurahan Tangkiling kota Palangka Raya," *Tropis: Jurnal Riset Teknologi Laboratorium Medis Original Research*, vol. 1, no. 1, 2024. <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/4149212>
- [8] F. T. Kirana and Suryono, "Rancang bangun sistem monitoring kadar salinitas air menggunakan Wireless Sensor Systems (WSS)," *Youngster Physics Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 227–234, 2016, <https://ejournal3.undip.ac.id/article/view/14072>
- [9] P. Jayaraman, K. K. Nagarajan, P. Partheeban, and V. Krishnamurthy, "Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models," *International Journal of Information Management Data Insights*, vol. 4, no. 1, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.ijimei.2023.100210>
- [10] J. James et al., "Sensors and IoT for water quality monitoring : A systematic review of technologies and field validation," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 6, no. 6, 2025, <https://doi.org/10.18196/jrc.v6i6.28457>
- [11] I. Nugroho and M. Kopravi, "Perancangan sistem pemantauan salinitas air untuk budidaya udang menggunakan TDS sensor dan Google Studio," *Jurnal Khatulistiwa Informatika*, vol. 12, no. 1, 2024, <https://doi.org/10.31294/jki.v12i1.17511>
- [12] Amritpal Kaur, Swamy TN, and Karishma Singh, "Energy-efficient IoT systems: Integrating low-power protocols and adaptive algorithms for a greener future," *International Journal of Research and Review in Applied Science, Humanities, and Technology*, 2025, <https://doi.org/10.71143/8h52wa75>
- [13] T. Ghozali dan U. A. Jaya, "NRF 24L01 sebagai pemancar/penerima untuk Wireless Sensor Network," *Jurnal TEKNO*, vol. 17, no. 1, pp. 26–34, 2020, <https://doi.org/10.33557/JTEKNO.V17I1.856>
- [14] M. Flores-Iwasaki, G. A. Guadalupe, M. Pachas-Caycho, S. Chapa-Gonza, R. C. Mori-Zabarburú, and J. C. Guerrero-Abad, "Internet of Things (IoT) sensors for water quality monitoring in aquaculture systems: A systematic review and bibliometric analysis," 2025. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078>
- [15] E. T. de Camargo et al., "Low-cost water quality sensors for IoT: A systematic review," *Sensors (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)*, vol. 23, no. 9, p. 4424, 2023, <https://doi.org/10.3390/s23094424>