

Sistem Monitoring Multisensor Sungai Berbasis IoT dengan Catu Daya Surya untuk Mitigasi Dini Banjir di Surabaya

Joko Priambodo^{1*}, Fesna Meifigo Putra Pratama², Raffa Aghna Haigar³, Muhamad Rajendra
Wardhana⁴

^{1,2,3,4} Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Email: ^{1*}joko.priambodo@its.ac.id, ²2040241026@student.its.ac.id, ³2040241090@student.its.ac.id,

⁴2040241057@student.its.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstrak

Sungai Kalibokor merupakan saluran primer di Surabaya Timur yang rutin mengalami luapan akibat curah hujan tinggi dan sistem drainase pasif. Penelitian ini merancang platform monitoring multisensor berbasis Internet of Things (IoT) dengan catu daya surya off-grid sebagai dasar sistem peringatan dini banjir. Sistem menggunakan sensor ultrasonik A01NYUB, anemometer SEN0186, DHT21, dan BH1750 yang terintegrasi melalui dua ESP32, dengan suplai panel surya 100WP dan baterai VRLA 25Ah. Data dikirim ke server Apache-MySQL dan ditampilkan pada dashboard berbasis PHP. Tinggi muka air dihitung dari pembacaan distance dengan datum 458 cm. Pengujian selama 92 hari menghasilkan 264.540 sampel dengan sampling stability 98,90%, data loss 0,04%, dan anomali sensor 0,002%. Sistem peringatan berbasis ambang geometri saluran mengklasifikasikan status menjadi Aman, Waspada, Siaga, dan Banjir. Studi kasus hujan lebat 5 November 2025 menunjukkan jeda 1–1,5 jam antara puncak hujan dan puncak tinggi muka air 186 cm. Sistem catu daya menjaga tegangan baterai stabil pada 12,13–12,50 V dengan konsumsi daya rata-rata 2,22 W. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu melakukan monitoring lingkungan dan tinggi muka air secara realtime dengan performa stabil untuk mendukung peringatan dini banjir.

Kata kunci: catu daya surya, Internet of Things, monitoring sungai, multisensor, tinggi muka air

Abstract

Kalibokor River is a primary waterway in East Surabaya that regularly experiences flooding due to heavy rainfall and a passive drainage system. This study designed an Internet of Things (IoT)-based multisensor monitoring platform with an off-grid solar power supply for an early flood warning system. The system uses an A01NYUB ultrasonic sensor, SEN0186 anemometer, DHT21, and BH1750 integrated through two ESP32 modules, powered by a 100WP solar panel and a 25Ah VRLA battery. Data are transmitted to an Apache-MySQL server and displayed on a PHP-based dashboard. Water level is calculated from distance readings using a 458 cm reference datum. Testing over 92 days produced 264,540 samples with 98.90% sampling stability, 0.04% data loss, and 0.002% sensor anomalies. The warning system classifies conditions into Safe, Caution, Alert, and Flood based on channel geometry thresholds. A heavy rainfall event on November 5, 2025, showed a 1–1.5-hour delay between peak rainfall and peak water level of 186 cm. The system maintained stable operation with battery voltage between 12.13–12.50 V and average power consumption of 2.22 W, demonstrating reliable real-time flood monitoring performance.

Keywords: Internet of Things, multisensor, river monitoring, solar power, water level

I. PENDAHULUAN

Sungai Kalibokor merupakan salah satu saluran primer di Surabaya Timur yang melintasi Kecamatan Mulyorejo, Sukolilo, dan Gubeng. Pada musim penghujan, saluran ini sering mengalami luapan air dengan tinggi genangan 0–15 cm akibat kapasitas saluran yang tidak mampu menampung debit air hujan secara optimal [1]. Wilayah hilir seperti Pakuwon City menjadi titik terdampak utama karena sistem drainase pasif yang hanya mengandalkan gravitasi tanpa dukungan pompa aktif [2].

Sistem pemantauan banjir di kawasan tersebut hingga saat ini masih bersifat manual dan hanya bergantung pada data curah hujan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) tanpa mengintegrasikan parameter lingkungan lain secara realtime [3]. Akibatnya, peringatan dini tidak dapat diberikan tepat waktu, dan upaya mitigasi sering terlambat sehingga aktivitas masyarakat terganggu serta risiko kerugian meningkat.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pemantauan banjir berbasis Internet of Things (IoT). Wijaya [4] mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 yang terintegrasi dengan Telegram Bot, namun sistem ini hanya menggunakan satu variabel pengukuran. Tawalbeh dkk. [5] melakukan analisis karakterisasi sensor ketinggian air dengan membandingkan empat jenis sensor dan menemukan bahwa sensor ultrasonik waterproof menghasilkan akurasi dengan error di bawah 1,5% pada berbagai kondisi lingkungan. Izzat dkk. [6] memperkenalkan sistem berbasis LoRaWAN dengan sensor ultrasonik tunggal untuk komunikasi jarak jauh dan konsumsi daya rendah. Rafael dkk. [7] mengembangkan sistem IoT terenkripsi yang mengintegrasikan beberapa parameter lingkungan untuk prediksi banjir.

Dari kajian tersebut, terdapat tiga gap yang masih dapat dikembangkan. Pertama, sebagian besar literatur menggunakan sensor tunggal dan belum mengintegrasikan parameter lingkungan tambahan secara simultan. Kedua, otonomi catu daya untuk deployment jangka panjang di lokasi tanpa akses listrik PLN jarang dibahas secara eksplisit. Ketiga, validasi reliabilitas sistem melalui pengujian operasi jangka panjang (dalam orde bulanan) jarang dilaporkan.

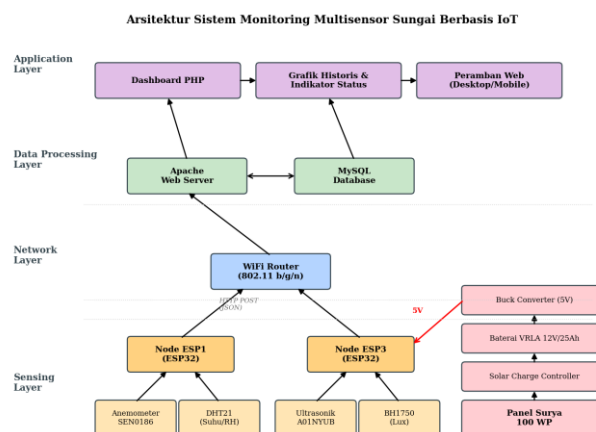
Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini mengusulkan platform monitoring multisensor berbasis IoT dengan catu daya surya off-grid untuk pemantauan kondisi Sungai Kalibokor. Kontribusi utama penelitian ini meliputi: (1) integrasi empat sensor lingkungan dalam satu platform; (2) sistem catu daya mandiri berbasis PLTS 100WP dengan baterai VRLA 25Ah; dan (3) validasi reliabilitas sistem melalui pengujian operasi 92 hari kontinu dengan analisis sampling stability, data loss, dan pola siklus diurnal tinggi muka air. Pengembangan model prediksi berbasis deep learning yang memanfaatkan data dari platform ini akan dilaporkan pada publikasi terpisah.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun (research and development) dengan tahapan: identifikasi masalah, studi literatur, perancangan arsitektur sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, deployment lapangan, serta pengujian reliabilitas operasi jangka panjang.

2.1. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem dirancang mengikuti model empat lapis IoT yang terdiri dari sensing layer, network layer, data processing layer, dan application layer [8]. Gambar 1 menunjukkan keseluruhan arsitektur dan aliran data antar komponen. Sensing layer berisi empat sensor untuk parameter lingkungan sungai yang terhubung ke dua unit ESP32. Network layer menggunakan komunikasi WiFi 802.11 b/g/n. Data processing layer mengolah data menggunakan Apache Web Server dan basis data MySQL. Application layer menampilkan data terolah pada dashboard berbasis PHP yang dapat diakses melalui peramban web. Sistem catu daya surya off-grid (Panel Surya 100 WP — SCC — Baterai VRLA — Buck Converter) ditempatkan sebagai infrastruktur pendukung yang mensuplai 5 V ke seluruh node ESP32.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Monitoring Multisensor Sungai Berbasis IoT

2.2. Spesifikasi Sensor dan Mikrokontroler

Sensor ultrasonik A01NYUB berfungsi sebagai sensor utama untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan air, dengan rating waterproof IP68, jangkauan ukur efektif hingga 7,5 m, dan komunikasi serial pada 9600 bps [9]. Sensor DHT21 mengukur suhu pada rentang -40°C hingga 80°C dan kelembapan 0–100% RH. Sensor anemometer DFRobot SEN0186 mengukur kecepatan dan arah angin. Sensor BH1750 mengukur intensitas cahaya 1–65.535 lux melalui antarmuka I²C.

Mikrokontroler ESP32 dipilih karena memiliki modul WiFi terintegrasi, dua inti pemrosesan, serta dukungan UART, I²C, dan SPI. Dua unit ESP32 digunakan untuk membagi beban komunikasi sensor: Node ESP3 menangani sensor ultrasonik A01NYUB dan BH1750 yang di-deploy lebih awal, sedangkan Node ESP1 menangani anemometer dan DHT21 yang ditambahkan pada tahap pengembangan berikutnya.

2.3. Desain Catu Daya Surya Off-Grid

Sistem catu daya menggunakan konfigurasi off-grid agar tidak bergantung pada jaringan listrik PLN. Panel surya monocrystalline 100 WP digunakan sebagai sumber energi utama, dengan solar charge controller (SCC) sebagai pengatur pengisian baterai VRLA 12 V 25 Ah. Tegangan baterai diturunkan melalui modul buck converter XL4016 menjadi 5 V untuk mensuplai ESP32 dan sensor. Estimasi konsumsi daya total sistem berkisar 2,5 W, sehingga dengan kapasitas energi baterai 300 Wh, sistem dirancang dapat beroperasi otonom minimal 72 jam dalam kondisi tanpa pengisian matahari.

2.4. Desain Mekanikal dan Wiring Electrical

Konstruksi mekanikal terdiri dari tiang utama setinggi 2,5 m dari pipa SS 304 SCH 10 berdiameter 3/4 inci, dengan boom horizontal sepanjang 2 m yang menempatkan sensor ultrasonik tepat di atas permukaan sungai. Distribusi catu daya 5 V dialirkan melalui dua sekring (F1 dan F2) sebagai proteksi terhadap arus berlebih, kemudian masuk ke pin VIN tiap ESP32. Kapasitor decoupling 100 μF dan 100 nF dipasang pada masing-masing jalur suplai untuk meredam noise tegangan.

2.5. Perangkat Lunak dan Akuisisi Data

Firmware ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan struktur modular. Sensor ultrasonik A01NYUB disampling pada interval nominal 30 detik untuk menangkap dinamika tinggi muka air, sedangkan sensor cuaca disampling per ~ 3 menit. Data dikirim ke server Apache via HTTP POST dalam format JSON dan disimpan ke MySQL melalui skrip PHP. Dashboard monitoring menampilkan data terkini, grafik historis, peta lokasi sensor, serta indikator status sistem.

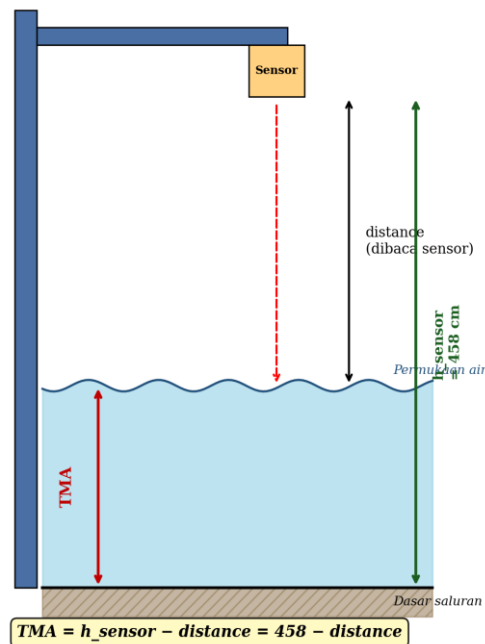
2.6. Konversi Pembacaan Sensor ke Tinggi Muka Air

Sensor ultrasonik A01NYUB membaca jarak (distance) antara sensor dan permukaan air, sedangkan variabel yang dibutuhkan untuk pemantauan banjir adalah Tinggi Muka Air (TMA) terhadap dasar saluran. Konversi dilakukan menggunakan datum jarak sensor ke dasar saluran (h_{sensor}) yang diukur pada saat instalasi sebesar 458 cm. Persamaan konversi disajikan pada Persamaan (1).

$$TMA = h_{\text{sensor}} - \text{distance} = 458 - \text{distance} \quad [1]$$

Dengan TMA dalam satuan cm, h_{sensor} adalah jarak sensor ke dasar saluran (458 cm), dan distance adalah pembacaan sensor ultrasonik dalam cm. Skema geometri sensor dan datum referensi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2. Pembacaan distance yang melebihi 458 cm (saluran benar-benar kering atau noise pantulan ke material dasar saluran) di-clip ke $TMA = 0$ cm untuk menjaga konsistensi interpretasi fisik.

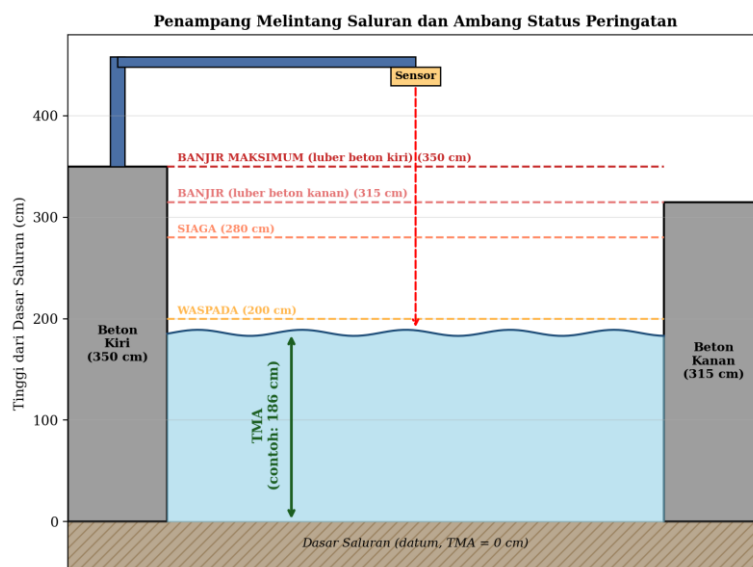
Geometri Sensor dan Datum Referensi Pengukuran



Gambar 2. Geometri Sensor dan Datum Referensi Pengukuran Tinggi Muka Air

2.7. Sistem Peringatan Berbasis Threshold Geometri Saluran

Penampang melintang saluran Sungai Kalibokor pada titik instalasi sensor memiliki dua sisi tembok beton yang asimetris: beton kiri (tempat tiang sensor) setinggi 350 cm dari dasar saluran, dan beton kanan setinggi 315 cm. Karena beton kanan lebih rendah, air akan terlebih dulu meluap melewati sisi tersebut ketika TMA mencapai 315 cm. Geometri ini ditunjukkan pada Gambar 4 dan menjadi dasar penetapan ambang peringatan dalam sistem.



Gambar 3. Penampang Melintang Saluran dan Ambang Status Peringatan

Empat tingkat status peringatan disusun berdasarkan margin keamanan terhadap ambang fisik beton kanan (315 cm), sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Status Aman ditetapkan untuk TMA di bawah 200

cm (margin >100 cm terhadap luber). Status Waspada untuk 200–280 cm sebagai peringatan dini bagi pemangku kepentingan. Status Siaga untuk 280–315 cm yang mengindikasikan bahwa air mendekati ambang luber. Status Banjir untuk $TMA \geq 315$ cm (air mulai meluap melewati beton kanan), dan Banjir Maksimum untuk $TMA \geq 350$ cm (air meluap kedua sisi). Sistem dashboard secara otomatis memperbarui indikator status berdasarkan klasifikasi ini setiap kali data baru diterima.

Tabel 1. Klasifikasi Status Peringatan Berbasis TMA dan Ambang Geometri

Status	Rentang TMA (cm)	Justifikasi
Aman	$TMA < 200$	Margin >100 cm dari ambang luber
Waspada	$200 \leq TMA < 280$	Peringatan dini, pantauan diperketat
Siaga	$280 \leq TMA < 315$	Mendekati ambang luber beton kanan
Banjir	$315 \leq TMA < 350$	Air meluap melewati beton kanan
Banjir Maksimum	$TMA \geq 350$	Air meluap kedua sisi saluran

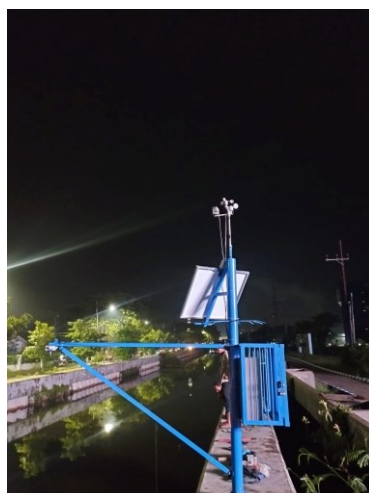
2.8. Pengujian Reliabilitas Operasi Jangka Panjang

Pengujian reliabilitas dilakukan dengan deployment sensor ultrasonik di lokasi Sungai Kalibokor secara kontinu selama 92 hari (1 November 2025 – 31 Januari 2026). Tiga indikator kinerja dianalisis: (1) sampling stability, didefinisikan sebagai persentase sample yang tiba pada interval 28–32 detik dari nominal 30 detik; (2) data loss event, didefinisikan sebagai gap antar sample lebih dari 60 detik; dan (3) anomali sensor, didefinisikan sebagai pembacaan distance 0 cm yang menunjukkan kegagalan deteksi. Karakterisasi presisi sensor dilakukan dengan menganalisis standar deviasi pembacaan TMA pada periode air stabil (pukul 01:00–04:00 WIB) ketika tidak ada hujan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Sistem

Sistem berhasil diimplementasikan dengan keseluruhan komponen terintegrasi pada konstruksi tiang yang dipasang di tepi Sungai Kalibokor sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Anemometer SEN0186 terpasang di puncak tiang, sensor ultrasonik A01NYUB dipasang pada ujung boom horizontal untuk mengarah langsung ke permukaan sungai, panel surya 100 WP terpasang miring untuk menerima radiasi matahari secara optimal, dan panel box berisi ESP32 serta modul catu daya ditempatkan pada sisi tiang dengan rating IP65. Total anggaran implementasi sistem mencapai Rp 11.027.300. Sensor ultrasonik (Node ESP3) di-deploy pada 1 November 2025, sedangkan sensor cuaca (Node ESP1) ditambahkan pada tahap pengembangan berikutnya.



Gambar 4. Implementasi Sistem Monitoring di Tepi Sungai Kalibokor, Surabaya

3.2. Reliabilitas Operasi Jangka Panjang

Hasil pengujian deployment selama 92 hari kontinu disajikan pada Tabel 2. Total 264.540 sample berhasil direkam dengan sampling stability 98,90% pada nominal interval 30 detik. Hanya 108 kejadian data loss (gap > 60 detik) dari 264.536 transisi sample, atau 0,04%. Anomali sensor (pembacaan 0 cm) hanya muncul 4 kali dari total sample, atau 0,002%. Hasil ini menunjukkan reliabilitas sistem yang sangat tinggi untuk deployment lapangan jangka panjang.

Tabel 2. Indikator Reliabilitas Operasi Sensor Ultrasonik 92 Hari

Indikator	Hasil	Catatan
Periode deployment	92 hari	1 Nov 2025 – 31 Jan 2026
Total sample	264.540	Nominal 30 detik
Sampling stability	98,90%	Sample @ 28–32 detik
Data loss event (gap >60 s)	108 kejadian	0,04% dari total
Anomali sensor (distance = 0)	4 kejadian	0,002% dari total
TMA range tercatat	0–304 cm	setelah konversi & clipping

3.3. Karakterisasi Presisi pada Kondisi Air Stabil

Karakterisasi presisi sensor ultrasonik dianalisis pada periode malam-dini hari (pukul 01:00–04:00 WIB) ketika permukaan air dalam kondisi stabil. Tabel 3 menunjukkan statistik pembacaan TMA pada 5 November 2025 untuk empat jam stabil tersebut.

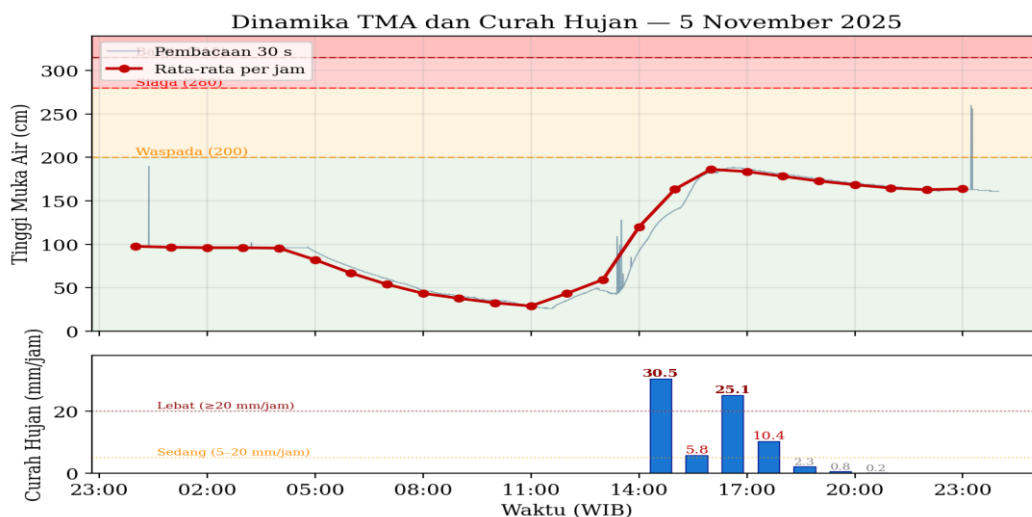
Tabel 3. Presisi Pembacaan TMA pada Periode Air Stabil (5 Nov 2025)

Jam (WIB)	Mean TMA (cm)	Std (cm)	Range (cm)
01:00	96,57	0,50	1
02:00	96,05	0,22	1
03:00	96,05	0,55	6
04:00	95,58	1,07	5

Standar deviasi pembacaan TMA pada kondisi air stabil berkisar 0,22–1,07 cm, yang menunjukkan presisi sensor sangat tinggi (di bawah 1,2% dari nilai TMA rata-rata). Hasil ini sejalan dengan klaim Tawalbeh dkk. [5] terkait akurasi sensor ultrasonik waterproof. Catatan: pengujian akurasi terhadap alat standar mistar dan pengujian linearitas/histeresis pada kondisi terkontrol laboratorium akan dilaporkan pada publikasi karakterisasi sensor tersendiri.

3.4. Demonstrasi Pola Pemantauan: Studi Kasus 5 November 2025

Dinamika TMA tanggal 5 November 2025 disajikan pada Gambar 8. Pada periode dini hari 00:00–04:00 WIB, TMA stabil di kisaran 96 cm. Mulai pukul 05:00, TMA menurun bertahap akibat surutnya air secara alami, mencapai titik terendah ~29 cm pada pukul 11:00. Pada sore hari pukul 14:00–16:00, TMA naik tajam dari ~120 cm hingga puncak 186 cm dalam respons terhadap event hujan. Setelah pukul 17:00, TMA menurun perlahan namun tetap pada level tinggi (~163–184 cm) hingga akhir hari.

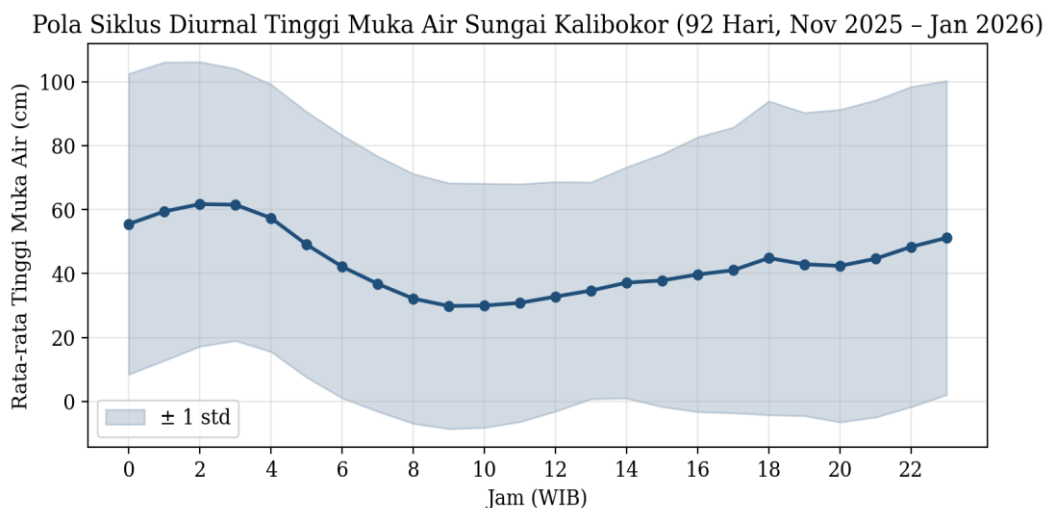


Gambar 5. Dinamika Tinggi Muka Air dan Curah Hujan pada 5 November 2025

Pola ini memperlihatkan jeda 1–1,5 jam antara puncak intensitas hujan dan puncak TMA, sebagai window waktu kritis untuk mitigasi dini. Walaupun curah hujan kumulatif termasuk tinggi (75 mm), puncak TMA tetap pada zona Aman dengan margin 129 cm dari ambang banjir. Karakteristik respons rain–water level ini akan menjadi dasar pengembangan model prediksi pada publikasi terpisah.

3.5. Pola Siklus Diurnal 92 Hari

Agregasi data 92 hari menghasilkan pola siklus diurnal yang konsisten sebagaimana disajikan pada Gambar 8. TMA rata-rata mencapai maksimum (~62 cm) pada pukul 02:00–03:00 WIB, lalu menurun bertahap menuju minimum (~30 cm) pada pukul 09:00–10:00 WIB, dan secara perlahan meningkat kembali sepanjang sore-malam. Amplitudo siklus diurnal sekitar 31 cm dengan area abu-abu menunjukkan rentang ± 1 standar deviasi yang mencakup variabilitas harian akibat fluktuasi cuaca.



Gambar 6. Pola Siklus Diurnal Tinggi Muka Air 92 Hari

Pola yang konsisten ini membuktikan bahwa sistem sensor mampu menangkap fenomena hidrologis siklis secara reliabel, bukan sekadar noise pengukuran. Karakteristik ini menjadi informasi penting untuk feature engineering model prediksi: variabel jam-hari dapat menjadi predictor selain curah hujan untuk meningkatkan akurasi prediksi banjir.

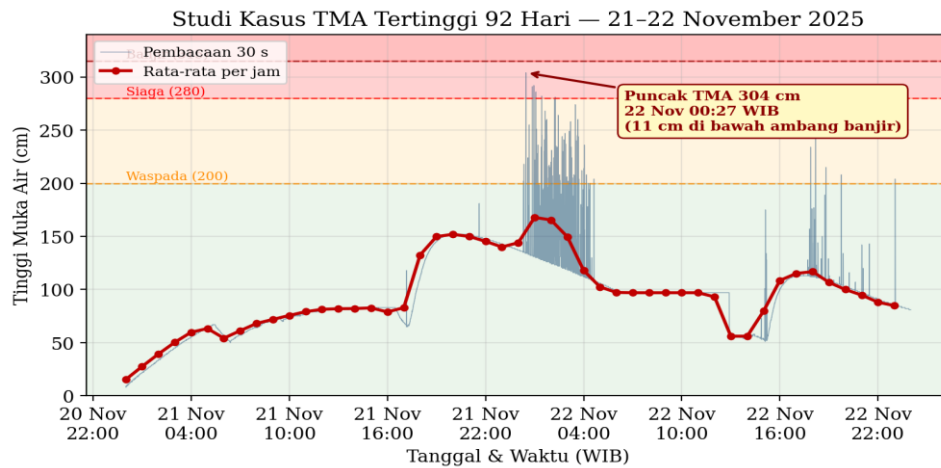
3.6. Distribusi Status TMA Selama 92 Hari

Distribusi sample 92 hari terhadap empat kategori peringatan disajikan pada Tabel 4. Mayoritas pengamatan (99,88%) berada pada status Aman dengan TMA di bawah 200 cm, sedangkan hanya 0,12% masuk kategori Waspada dan 0,01% (16 sample) masuk kategori Siaga. Tidak ada sample yang mencapai status Banjir maupun Banjir Maksimum selama periode deployment.

Tabel 4. Distribusi Status TMA Selama 92 Hari Deployment

Status	Jumlah Sample	Persentase
Aman (TMA < 200 cm)	264.194	99,88%
Waspada (200–280 cm)	326	0,12%
Siaga (280–315 cm)	16	0,01%
Banjir (≥ 315 cm)	0	0,00%
Total	264.536	100,00%

TMA maksimum 304 cm tercatat pada 22 November 2025 pukul 00:27 WIB — 11 cm di bawah ambang banjir. Dinamika event tersebut beserta dua hari sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 7. Pada 21 November TMA naik bertahap dari 15 cm ke plateau ~150 cm di sore-malam, kemudian melonjak tajam ke puncak 304 cm pada dini hari 22 November. Selama dua hari tersebut, 1,70% sample masuk status Waspada dan 0,10% Siaga, sementara status Banjir tidak pernah terjadi.

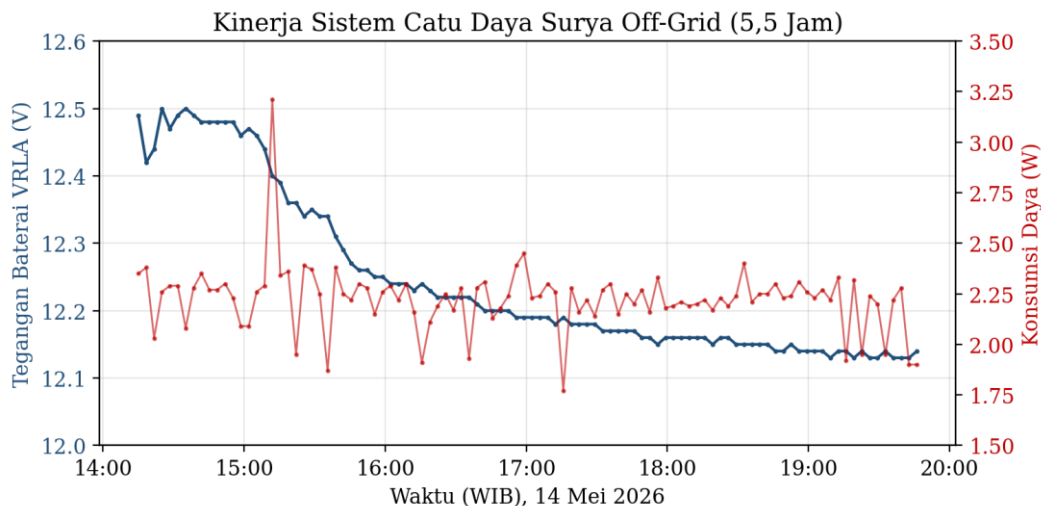


Gambar 7. Studi Kasus TMA Tertinggi Selama 92 Hari (21–22 November 2025)

Variabilitas pembacaan 30 detik saat TMA tinggi menunjukkan turbulensi permukaan air, sehingga smoothing rata-rata per jam memberikan indikasi status lebih stabil daripada trigger sample tunggal. Validasi sistem peringatan terhadap event banjir aktual menjadi agenda penelitian lanjutan.

3.7. Kinerja Sistem Catu Daya Surya Off-Grid

Profil kinerja sistem catu daya dari Node ESP1 disajikan pada Gambar 8. Tegangan baterai VRLA tercatat stabil pada rentang 12,13–12,50 V (rata-rata 12,24 V; standar deviasi 0,12 V) selama 5,5 jam pengukuran. Konsumsi daya rata-rata sebesar 2,22 W dengan puncak transien 3,21 W ketika ESP32 melakukan transmisi data via WiFi. Tren penurunan tegangan baterai yang lambat selaras dengan ekspektasi: pengukuran dilakukan pada sore-malam hari ketika panel surya sudah tidak menerima radiasi cukup untuk pengisian aktif.



Gambar 8. Profil Tegangan Baterai dan Konsumsi Daya Sistem

Fakta bahwa Node ESP3 (sensor ultrasonik) mampu beroperasi kontinu selama 92 hari tanpa interupsi catu daya menjadi bukti tidak langsung bahwa sistem PLTS off-grid berfungsi sebagaimana dirancang. Penambahan Node ESP1 untuk sensor cuaca menambah beban catu daya namun tetap dalam batas kapasitas baterai 25 Ah.

IV. KESIMPULAN

Platform monitoring multisensor Sungai Kalibokor berbasis IoT dengan catu daya surya off-grid berhasil dirancang dan diimplementasikan. Konversi pembacaan sensor ultrasonik menjadi tinggi muka air (TMA) dilakukan dengan datum jarak sensor ke dasar saluran 458 cm. Sistem peringatan disusun berdasarkan ambang geometri saluran — beton kanan (315 cm) sebagai ambang banjir karena lebih rendah dari beton kiri (350 cm) — menghasilkan empat tingkat status: Aman, Waspada, Siaga, dan Banjir. Pengujian operasi 92 hari menghasilkan 264.540 sample dengan sampling stability 98,90%, data loss 0,04%, anomali sensor 0,002%, dan 99,88% kondisi tergolong Aman. TMA maksimum tercatat 304 cm — 11 cm di bawah ambang banjir. Karakterisasi presisi pada periode air stabil menunjukkan standar deviasi pembacaan 0,22–1,07 cm. Sistem catu daya menjaga tegangan baterai stabil pada 12,13–12,50 V dengan konsumsi daya rata-rata 2,22 W.

Penelitian lanjutan akan mengembangkan model prediksi TMA berbasis Long Short-Term Memory (LSTM) yang memanfaatkan data multivariat dari platform ini, dengan perbandingan terhadap polynomial regression sebagai baseline. Selain itu, deployment platform pada lokasi tambahan di sepanjang aliran Sungai Kalibokor diperlukan untuk memvalidasi reproduksibilitas hasil dan memperluas cakupan pemantauan.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas dukungan fasilitas laboratorium dan pembiayaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] D. Anugrananto, “Perencanaan Jaringan Drainase Sub Sistem Kali Bokor Surabaya,” Tugas Akhir, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [2] A. C. Ni’am, A. N. Sari, K. B. Nabilah, G. J. Terrukeni, A. Mukminin, dan C. B. Syah, “Biomonitoring Kualitas Air Sungai Kalibokor Sebrang ITATS Menggunakan Metode Biotilik,” *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 7, no. 2, hal. 48–55, 2022.
- [3] P. A. Cahyaningrum, M. F. Zakaria, dan A. Jamal, “Analisis Pengambilan Keputusan Pembangunan Sistem Drainase Untuk Mengatasi Banjir Di Kota Surabaya,” *Jurnal Media Akademik (JMA)*, vol. 2, no. 5, 2024.
- [4] A. Wijaya, “Flood Monitoring Early Warning System Using Internet of Things-Based Telegram,” *Brilliance Journal*, vol. 6, no. 3, hal. 4–9, 2024.
- [5] R. Tawalbeh, F. Alasali, Z. Ghanem, M. Alghazzawi, dan A. Abu-raideh, “Innovative Characterization and Comparative Analysis of Water Level Sensors for Enhanced Early Detection and Warning of Floods,” *Sensors*, vol. 23, 2023.
- [6] M. Izzat, W. A. Jabbar, dan N. Sulaiman, “Development of a Smart Sensing Unit for LoRaWAN-Based IoT Flood Monitoring and Warning System in Catchment Areas,” *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 3, hal. 249–261, April 2023.
- [7] H. Rafael, C. Arante, E. Sybingco, M. A. Roque, L. Ambata, A. Chua, dan A. N. Gutierrez, “Development of a Secured IoT-Based Flood Monitoring and Forecasting System Using Genetic-Algorithm-Based Neuro-Fuzzy Network,” *IEEE Access*, vol. 13, hal. 1–19, 2025.
- [8] D. S. D. Silva, “Internet of Things (IoT) Security: Status, Challenges and Countermeasures,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 16, 2025.
- [9] DFRobot, “A01NYUB Waterproof Ultrasonic Sensor Product Overview,” DFRobot Wiki, 2022.
- [10] J. P. Bentley, *Principles of Measurement Systems*, 4th ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2005.
- [11] E. N. F. Naufaldhianto, B. Al Kindhi, dan I. A. Wicaksono, “Rekonstruksi Data Suhu dan Tekanan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Menggunakan Recurrent Neural Network,” dalam *Prosiding Seminar Nasional Karsa Nusantara*, vol. 2, hal. 342–350, 2025.

-
- [12] M. A. S. Laksono dan N. Saurina, “Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kualitas Air pada Kolam Budidaya Berbasis Arduino,” dalam Prosiding Seminar Nasional Karsa Nusantara, vol. 2, hal. 135–143, 2025.
- [13] M. M. Akbar dkk., “Pengembangan Sistem Pemantauan Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik Bawah Air,” dalam Prosiding Seminar Nasional Karsa Nusantara, vol. 2, hal. 10–17, 2025.