JURNAL ALTIFANI
Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

Penerapan Sistem IoT untuk Pemantauan, Pelaporan Berkala, dan Peringatan Dini Ketinggian Air Sungai Tukad Mati

Implementation of an IoT System for Monitoring, Periodic Reporting, and Early Warning of Tukad Mati River Water Level

I Kadek Agus Wahyu Raharja*[1], Cokorda Agung Yujana[2],
I Komang Ashiswagga Dharmatrya Amertha[3], I Gede Narayan Farel[4]
[1,3,4]Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa
[2]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa
*e-mail: raharja.wahyu.agus.kadek@warmadewa.ac.id[1], cokyujana@gmail.com[2], ashiswagga17@gmail.com[3], gedenarayan@gmail.com[4]

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
05.10.2026	23.10.2026	04.11.2026	13.11.2026

Abstract: *The Tukad Mati River in Badung Regency is an urban drainage channel prone to overflowing in the rainy season, while the partner, the Public Works and Spatial Planning Agency (DPUPR) of Badung Regency, had no functioning online water level monitoring. This program aimed to implement an Internet of Things (IoT) system for monitoring, periodic reporting, and early warning of river water level. The program comprised socialization, training, technology implementation, mentoring and evaluation, and sustainability. An ESP32-based field unit reads a 4-20 mA level transmitter and publishes data via MQTT every five minutes over WiFi and GSM, while the server stores data, displays a web dashboard, generates Excel reports, and sends Telegram notifications for three alert levels. Data were received at five-minute intervals and alert statuses were classified according to thresholds agreed with the partner. The system provides fast, documented river information to support flood mitigation by the partner.*
Keywords*: AWLR; Internet of Things; MQTT; flood early warning; Tukad Mati*

Abstrak: Sungai Tukad Mati di Kabupaten Badung merupakan saluran drainase perkotaan yang rawan meluap pada musim hujan, sedangkan mitra kegiatan, yaitu Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Badung, belum memiliki pemantauan ketinggian air yang berfungsi secara daring. Kegiatan ini bertujuan menerapkan sistem Internet of Things (IoT) untuk pemantauan, pelaporan berkala, dan peringatan dini ketinggian air. Pelaksanaan kegiatan terdiri atas sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan dan evaluasi, serta keberlanjutan program. Perangkat lapangan berbasis ESP32 membaca transmitter level 4-20 mA dan mengirim data melalui protokol MQTT setiap lima menit dengan jalur WiFi dan GSM, sedangkan server menyimpan data, menampilkan dashboard web, menghasilkan laporan Excel, dan mengirim notifikasi Telegram untuk tiga tingkat siaga. Hasil penerapan menunjukkan bahwa data diterima dengan interval lima menit dan status siaga terklasifikasi sesuai ambang yang ditetapkan bersama mitra. Sistem ini menyediakan informasi kondisi sungai yang terdokumentasi sebagai dasar mitigasi banjir oleh mitra.
Kata kunci: AWLR; Internet of Things; MQTT; peringatan dini banjir; Tukad Mati

1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Tukad Mati melintasi wilayah Kota Denpasar dan Kabupaten Badung serta berfungsi sebagai saluran utama drainase perkotaan yang bermuara di kawasan Kuta. Kajian kerawanan banjir berbasis Sistem Informasi Geografis menunjukkan bahwa kelas kerawanan sangat tinggi terkonsentrasi di bagian tengah DAS serta sebagian wilayah hilir seperti Kuta dan Seminyak, dengan faktor pendorong berupa curah hujan tinggi, alih fungsi lahan, dan pertumbuhan kawasan terbangun (Ayyada & Sari, 2025). Kawasan hilir tersebut merupakan pusat permukiman dan pariwisata, sehingga informasi ketinggian muka air yang cepat dan akurat menjadi kebutuhan dasar bagi instansi yang mengelola sungai dan prasarana pengendali banjir di wilayah ini. Tukad Mati dipilih sebagai lokasi kegiatan karena tiga alasan. Pertama, sungai ini mengalirkan limpasan dari dua wilayah administrasi, sehingga kenaikan muka air di bagian tengah DAS di Kota Denpasar berdampak langsung pada kawasan Legian, Kuta, dan Seminyak di Kabupaten Badung. Kedua, Pos Pompa Dewi Sri yang dikelola mitra berada pada ruas hilir tersebut, sehingga informasi ketinggian air di titik ini menjadi dasar kesiapsiagaan operasional pos pompa. Ketiga, sungai ini pernah memiliki AWLR yang

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

tidak berfungsi optimal, sebagaimana diuraikan pada paragraf berikut, sehingga kebutuhan mitra akan pemantauan otomatis yang andal dan terpelihara belum terpenuhi.

Mitra kegiatan ini adalah Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Badung, instansi pemerintah daerah yang bertanggung jawab atas pengelolaan infrastruktur sumber daya air, termasuk operasional pos pompa di sepanjang Tukad Mati. Upaya pemantauan otomatis di sungai ini sebenarnya pernah dilakukan melalui pemasangan Automatic Water Level Recorder (AWLR) di ruas Legian. Evaluasi terhadap alat tersebut menemukan bahwa AWLR tidak berfungsi secara maksimal akibat posisinya pada belokan sungai, kemiringan dasar sungai yang sangat landai, serta tidak adanya pemeliharaan bangunan maupun perangkat lunak secara rutin (Parwita, 2017). Sebelum kegiatan ini dilaksanakan, mitra belum memiliki pemantauan ketinggian air yang berfungsi dan dapat diakses secara daring. Informasi kondisi sungai bergantung pada pengamatan manual petugas lapangan, laporan kondisi sungai disusun secara manual, dan potensi kondisi siaga baru diketahui setelah dilaporkan secara lisan dari lapangan.

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan mitra dirumuskan ke dalam tiga hal yang masing-masing menjadi dasar satu luaran kegiatan. Pertama, belum tersedia data ketinggian air Tukad Mati yang dapat dipantau secara *real-time* dan diakses secara daring beserta riwayatnya, sehingga kondisi sungai hanya diketahui melalui pengamatan langsung di lokasi. Permasalahan ini dijawab melalui luaran dashboard pemantauan *real-time*. Kedua, laporan kondisi sungai harian, mingguan, dan bulanan masih disusun secara manual tanpa format yang konsisten, padahal laporan tersebut dibutuhkan untuk rapat pimpinan dan pelaporan kepada instansi terkait. Permasalahan ini dijawab melalui luaran sistem pelaporan berkala. Ketiga, belum tersedia mekanisme peringatan otomatis ketika ketinggian air melampaui ambang siaga, sehingga respons mitra bergantung pada laporan lisan dari lapangan. Permasalahan ini dijawab melalui luaran notifikasi peringatan dini. Ketiga luaran tersebut memerlukan prasyarat berupa perangkat lapangan yang berfungsi dan jaringan internet yang stabil di lokasi pemasangan, sehingga kedua prasyarat ini termasuk dalam ruang lingkup kegiatan.

Sistem peringatan dini banjir yang lengkap mencakup empat komponen, yaitu pengetahuan risiko, pemantauan dan prakiraan, diseminasi dan komunikasi peringatan, serta kapasitas respons (Perera et al., 2020). Teknologi Internet of Things (IoT) banyak dimanfaatkan pada komponen pemantauan dan diseminasi karena memungkinkan data lingkungan dikumpulkan secara otomatis dan peringatan dihasilkan tanpa intervensi manual (Esposito et al., 2022). Tinjauan terhadap berbagai sistem pemantauan banjir berbasis IoT juga menunjukkan bahwa kombinasi sensor lapangan dengan platform daring menjadi pendekatan yang dominan untuk mendukung pengambilan keputusan saat banjir (Ahmed et al., 2023). Kajian kritis terbaru terhadap penerapan IoT dalam manajemen risiko banjir menemukan bahwa sensor kuantitas air merupakan jenis sensor yang paling banyak digunakan (48%), sedangkan tujuan penerapannya didominasi pemodelan banjir (61%), diikuti peringatan (25%) dan visualisasi (14%), dengan porsi terbesar pada tahap kesiapsiagaan (Bakhtiari et al., 2025). Pelaporan berkala untuk kebutuhan administratif instansi tidak termasuk dalam tiga tujuan utama yang teridentifikasi pada kajian tersebut.

Di Indonesia, sistem pemantauan ketinggian air berbasis IoT telah dikembangkan dalam berbagai bentuk. Pemantauan ketinggian air menggunakan sensor ultrasonik dengan tampilan data pada halaman web telah dirancang (Pratama et al., 2020), sedangkan sistem peringatan dini banjir berbasis MQTT yang menggabungkan data ketinggian air dan curah hujan mencatat tunda notifikasi Telegram rata-rata 0,561 detik (Wandi & Ashari, 2023). Beberapa penelitian memanfaatkan Telegram sebagai media peringatan, antara lain perangkat berbasis ESP32 dengan dua kategori peringatan (Wikantama & Puspitasari, 2023), sistem dengan tiga tingkat status siaga pada NodeMCU (Mekongga et al., 2023), sistem yang mengklasifikasikan rentang ketinggian air ke dalam tiga tingkat siaga disertai alarm (Waluyo & Putra, 2024), serta jaringan sensor nirkabel yang mengirim peringatan bertingkat melalui bot Telegram dengan waktu kirim rata-rata 4,07 detik dan menyediakan situs pemantauan bagi instansi pemerintah (Wahid et al., 2024). Pada tingkat internasional, RiverCore menerapkan node pemantau sungai yang mengirim data melalui jaringan seluler dengan protokol

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

MQTT ke platform web (Moreno et al., 2019), sistem pemantauan banjir berbasis LoRaWAN mengklasifikasikan ketinggian air ke dalam empat tingkat risiko dan menampilkannya pada dashboard web serta aplikasi seluler bagi otoritas dan warga (Zakaria et al., 2023), dan perbandingan kinerja empat jenis sensor ketinggian air, termasuk sensor ultrasonik, inframerah, dan tekanan, dilakukan untuk deteksi dan peringatan dini banjir (Tawalbeh et al., 2023). Di Indonesia, AWLR berbasis IoT dengan sistem informasi web juga telah dikembangkan untuk mitigasi banjir rob di pesisir Jakarta (Pianto et al., 2023). Sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada perangkat dan notifikasi, sementara penerapan yang terhubung langsung dengan kebutuhan operasional instansi pemerintah daerah, yaitu data yang dapat direkap menjadi laporan berkala sekaligus peringatan yang diterima petugas, masih jarang dilaporkan.

Kegiatan ini merupakan hilirisasi hasil penelitian tim pelaksana tentang sistem IoT untuk pengelolaan air, yaitu optimasi pengiriman data visual pada sistem IoT menggunakan MQTT (Raharja, Gde Wikan Pradnya Dana, et al., 2025)serta sistem irigasi pintar dengan kontrol otomatis dan penjadwalan dinamis (Raharja, Agung Yujana, et al., 2025). Sejalan dengan tiga permasalahan yang telah dirumuskan, kegiatan ini bertujuan untuk (1) menyediakan dashboard pemantauan ketinggian air Tukad Mati secara real-time yang dapat diakses daring oleh DPUPR Kabupaten Badung, (2) menyediakan sistem pelaporan berkala berupa unduhan laporan harian, mingguan, dan bulanan sesuai rentang tanggal yang dipilih, serta (3) menyediakan notifikasi peringatan dini melalui Telegram yang terkirim otomatis ketika ambang siaga yang ditetapkan bersama mitra terlampaui. Manfaat kegiatan bagi mitra adalah tersedianya informasi kondisi sungai yang cepat, terdokumentasi, dan dapat ditindaklanjuti dalam operasional pos pompa.

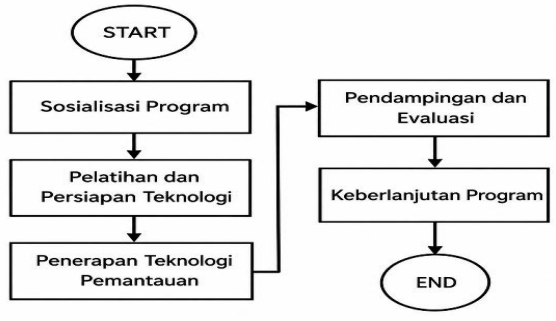
2. METODE

2.1 Lokasi, Mitra, dan Waktu Pelaksanaan

Kegiatan dilaksanakan di Pos Pompa Dewi Sri, Sungai Tukad Mati, Kabupaten Badung, pada koordinat 8,70565° LS dan 115,176° BT. Mitra sasaran adalah DPUPR Kabupaten Badung sebagai pengelola pos pompa dan pengguna informasi ketinggian air, dengan dukungan Dinas Komunikasi dan Informatika (Diskominfo) Kabupaten Badung dalam penyediaan jaringan internet di lokasi. Kegiatan berlangsung pada Maret sampai September 2026 dan melibatkan dosen serta mahasiswa yang menangani perancangan perangkat, pemasangan di lapangan, dan pengembangan perangkat lunak. Perangkat lapangan di Pos Pompa Dewi Sri telah beroperasi dan mengirim data sebelum periode kegiatan, sehingga data lapangan yang dibahas pada artikel ini terdiri atas rekaman 18 Desember 2025 sebagai data kondisi awal sebelum kegiatan dan rekaman 5 Agustus 2026 yang diperoleh selama periode kegiatan.

2.2 Tahapan Pelaksanaan

Kegiatan dilaksanakan melalui lima tahapan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, dengan rincian kegiatan operasional, pihak yang terlibat, dan keluaran yang ditargetkan pada setiap tahapan disajikan pada Tabel 1. Seluruh tahapan melibatkan mitra secara langsung, mulai dari validasi kebutuhan hingga uji fungsional fitur oleh staf DPUPR.



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan kegiatan

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

Tabel 1. Rincian operasional tahapan pelaksanaan kegiatan

Tahap	Kegiatan operasional	Pihak terlibat	Keluaran yang ditargetkan
1. Sosialisasi program	Presentasi konsep dashboard beserta contoh keluaran (mock-up); diskusi validasi kebutuhan fungsional dan format laporan sesuai standar internal mitra; survei lokasi pemasangan; koordinasi awal dengan Diskominfo terkait jaringan internet	Tim pelaksana, staf DPUPR, Diskominfo	Kebutuhan fungsional dan format laporan tervalidasi; kebutuhan jaringan dan lokasi pemasangan teridentifikasi
2. Pelatihan dan persiapan teknologi	Pelatihan operator: navigasi dashboard, pembacaan grafik, interpretasi status siaga, penggunaan filter tanggal, pengunduhan laporan, dan pembacaan notifikasi Telegram; persiapan perangkat keras dan perangkat lunak	Tim pelaksana, staf teknis DPUPR sebagai operator harian	Operator mampu menggunakan dashboard, modul laporan, dan notifikasi
3. Penerapan teknologi	Pemasangan dan pemeliharaan sensor, data logger, panel surya, dan kamera CCTV; pengembangan dashboard real-time, modul laporan Excel berbasis filter tanggal, dan notifikasi Telegram; kalibrasi nilai acuan dan ambang siaga bersama mitra	Tim pelaksana (dosen dan mahasiswa), staf DPUPR	Perangkat beroperasi; dashboard, laporan, dan notifikasi berfungsi
4. Pendampingan dan evaluasi	Kunjungan lapangan dan koordinasi berkala; pemantauan keandalan sensor dan transmisi data; uji pengunduhan laporan dan penerimaan notifikasi oleh staf; penyesuaian fitur berdasarkan umpan balik pengguna	Tim pelaksana, staf DPUPR	Hasil uji fungsional dan daftar penyesuaian fitur
5. Keberlanjutan program	Audiensi pemaparan pembaruan sistem; transfer pengetahuan kepada staf DPUPR sebagai pengelola sistem; dukungan jaringan internet jangka panjang dari Diskominfo	Tim pelaksana, DPUPR, Diskominfo	Mitra mampu mengelola sistem secara mandiri dengan dukungan jaringan yang stabil

Koordinasi awal dengan Diskominfo Kabupaten Badung dilakukan pada tahap sosialisasi melalui audiensi bersama DPUPR. Pada audiensi tersebut, tim pelaksana memaparkan rancangan sistem beserta kebutuhan infrastrukturnya, kemudian para pihak mengidentifikasi dua kebutuhan pendukung, yaitu penguatan jaringan internet di lokasi pemasangan perangkat dan integrasi kamera CCTV agar dapat berfungsi bersamaan dengan dashboard. Kebutuhan pertama ditindaklanjuti melalui koordinasi pemasangan jaringan internet bantuan Diskominfo di ruang panel dan kontrol pompa yang dilakukan di lokasi bersama tim pelaksana. Jaringan tersebut difungsikan sebagai jalur utama pengiriman data dan sinkronisasi waktu NTP, sedangkan modul GSM disiapkan sebagai jalur cadangan. Selain dukungan teknis, Diskominfo berperan dalam keberlanjutan operasional sistem melalui penyediaan jaringan internet jangka panjang.

Nilai awal pengukuran dan ambang tiap tingkat siaga ditetapkan melalui kalibrasi di lapangan dan disepakati bersama mitra pada tahap sosialisasi dan pendampingan, sehingga status peringatan yang dihasilkan sistem sesuai dengan prosedur operasional pos pompa yang dijalankan DPUPR.

2.3 Rancangan Perangkat Lapangan

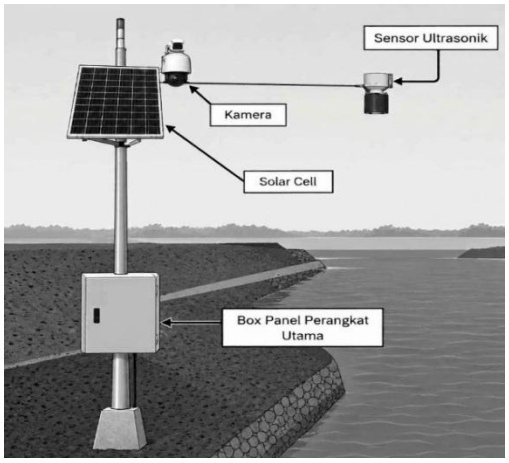
Perangkat lapangan dirancang dengan pengendali utama ESP32 yang membaca sinyal arus dari transmitter level ultrasonik dan tegangan baterai, mencatat data ke kartu SD, lalu mengirimkannya ke server. Komponen utama beserta fungsinya dirangkum pada Tabel 2, sedangkan ilustrasi penempatan sensor, kamera, panel surya, dan box panel perangkat utama pada tiang pemasangan ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Komponen utama perangkat lapangan

No	Komponen	Spesifikasi yang diterapkan	Fungsi
1	ESP32	Mikrokontroler dengan ADC 12 bit dan WiFi	Membaca sensor, menyusun payload, mengirim data
2	Transmitter level ultrasonik	Keluaran arus 4-20 mA, rentang 0-10 m	Mengukur jarak sensor ke permukaan air

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

3	Resistor shunt	150 Ω pada pin ADC	Mengubah arus transmitter menjadi tegangan
4	Pembagi tegangan	47 kΩ dan 10 kΩ	Menurunkan tegangan baterai ke rentang ADC
5	Modul GSM SIM800L	Komunikasi UART, koneksi GPRS	Jalur cadangan pengiriman data
6	Koneksi WiFi	Jaringan internet bantuan Diskominfo	Jalur utama pengiriman data dan sinkronisasi waktu NTP
7	Kartu SD	Berkas log berformat CSV	Menyimpan salinan data beserta status pengiriman
8	Panel surya dan baterai	Catu daya mandiri dengan kontroler pengisian	Menjaga operasi perangkat tanpa listrik jaringan
9	Box panel	Housing tahan cuaca	Melindungi komponen elektronik
10	Kamera CCTV	Kamera IP dengan siaran langsung	Verifikasi visual kondisi sungai



Gambar 2. Ilustrasi penempatan sensor, kamera, panel surya, dan box panel perangkat utama

2.4 Akuisisi dan Konversi Data

Setiap siklus pengukuran, ESP32 mengambil sepuluh sampel ADC pada kanal sensor dengan jeda 5 ms, lalu menghitung rata-ratanya untuk meredam derau pembacaan. Nilai rata-rata ADC 12 bit dikonversi menjadi tegangan menggunakan Persamaan (1), dengan tegangan referensi 3,3 V.

$$V_{\text{adc}} = \frac{\text{ADC}_{\text{raw}}}{4095} \times 3{,}3 \tag{1}$$

Transmitter menghasilkan arus 4-20 mA yang dilewatkan pada resistor shunt 150 Ω, sehingga arus dalam miliampere diperoleh melalui Persamaan (2).

$$I = \frac{V_{\text{adc}}}{150} \times 1000 \tag{2}$$

Arus tersebut dinormalisasi terhadap rentang 4-20 mA, dibatasi pada interval 0 sampai 1, lalu dibalik arahnya sesuai konfigurasi transmitter sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (3). Nilai *p* kemudian dikalikan dengan rentang ukur sensor 10 m untuk memperoleh nilai level terbaca *d* pada Persamaan (4).

$$p = 1 - \frac{I-4}{16} \tag{3}$$

$$d = p \times 10 \tag{4}$$

Tinggi muka air (TMA) dihitung di sisi server sebagai nilai absolut dari selisih antara nilai acuan kalibrasi H_0 dan nilai level terbaca *d* menggunakan Persamaan (5), sehingga TMA yang tersimpan dan ditampilkan pada dashboard selalu bernilai positif.. Nilai H_0 disimpan pada konfigurasi

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

stasiun dan ditetapkan berdasarkan kalibrasi bersama mitra, yaitu sebesar 1,5 m untuk stasiun Pos Pompa Dewi Sri.

$$\mathrm{TMA} = |\,\mathrm{H0} - \mathrm{d}\,| \tag{5}$$

Tegangan baterai dibaca melalui pembagi tegangan 47 kΩ dan 10 kΩ dengan delapan sampel ADC, sehingga tegangan baterai diperoleh dengan faktor pengali (47 + 10)/10 = 5,7 pada Persamaan (6).

$$V_{bat} = V_{adc} \times 5{,}7 \tag{6}$$

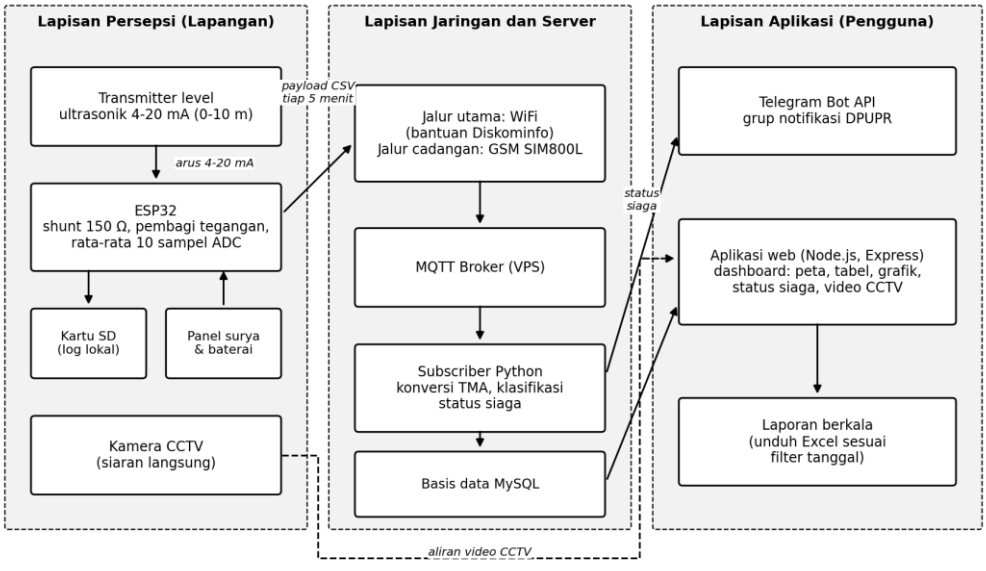
2.5 Protokol Pengiriman Data

Data dikirim menggunakan protokol MQTT yang bersifat ringan dan berbasis pola *publish-subscribe*, sehingga sesuai untuk perangkat dengan sumber daya terbatas dan koneksi yang tidak selalu stabil (Mishra & Kertesz, 2020). Pemanfaatan MQTT melalui jaringan seluler juga telah terbukti layak untuk pertukaran pesan antara perangkat lapangan dan layanan awan (Esposito et al., 2023). Pengiriman dijadwalkan tepat pada menit kelipatan lima (00, 05, 10, dan seterusnya) berdasarkan waktu yang disinkronkan melalui server NTP, dengan jam jaringan modul GSM sebagai sumber waktu cadangan. Payload berformat CSV yang memuat waktu pengukuran, nilai kanal sensor, dan tegangan baterai.

Perangkat mencoba mengirim melalui WiFi sebagai jalur utama. Jika gagal, perangkat memeriksa registrasi jaringan seluler lalu mengirim ulang melalui modul SIM800L hingga dua kali percobaan. Setiap payload dicatat ke kartu SD dengan status PENDING sebelum dikirim, kemudian dicatat kembali dengan status OK atau FAILED sesuai hasil pengiriman. Apabila pengiriman gagal enam kali berturut-turut, perangkat melakukan *restart* otomatis untuk memulihkan koneksi. Rancangan dua jalur dan pencatatan lokal ini ditujukan agar data tetap terdokumentasi ketika salah satu jaringan terganggu.

2.6 Server, Peringatan Dini, dan Dashboard

Arsitektur sistem secara keseluruhan terdiri atas lapisan persepsi, lapisan jaringan dan server, serta lapisan aplikasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Di sisi server, program *subscriber* berbasis Python berlangganan pada topik MQTT setiap stasiun, menyimpan pesan mentah dan data terurai ke basis data MySQL, menghitung TMA menggunakan Persamaan (5), dan menentukan status siaga.



Gambar 3. Arsitektur sistem pemantauan, pelaporan berkala, dan peringatan dini

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

Status siaga ditentukan dengan membandingkan TMA terhadap tiga ambang yang tersimpan pada konfigurasi stasiun, yaitu w_1 untuk Siaga 1, w_2 untuk Siaga 2, dan w_3 untuk Siaga 3. Pemeriksaan dilakukan berurutan dari ambang tertinggi sesuai Persamaan (7).

$$\text{Status} = \begin{cases} \text{Siaga 1, jika TMA} \geq w_1 \\ \text{Siaga 2, jika } w_2 \leq \text{TMA} < w_1 \\ \text{Siaga 3, jika } w_3 \leq \text{TMA} < w_2 \\ \text{Aman, jika TMA} < w_3 \end{cases} \quad (7)$$

Ketika status siaga terpenuhi, *subscriber* mengirim pesan melalui Telegram Bot API ke grup notifikasi mitra. Pesan memuat nama stasiun, tingkat siaga, ketinggian air saat itu, nilai ambang yang dilampaui, dan waktu pengukuran. Untuk mencegah pesan beruntun, notifikasi dengan stasiun dan tingkat yang sama diberi jeda minimal 300 detik.

Aplikasi web dibangun menggunakan Node.js dan Express dengan basis data MySQL, sedangkan antarmukanya menggunakan Tailwind CSS, Leaflet untuk peta, dan Chart.js untuk grafik. Aplikasi dirancang dengan autentikasi berbasis peran (superadmin, admin instansi, dan tamu) sehingga satu platform dapat melayani lebih dari satu instansi tanpa saling melihat data. Skema data sensor bersifat generik, yaitu satu baris menyimpan satu nilai sensor pada satu waktu, sehingga jenis sensor baru dapat ditambahkan tanpa mengubah struktur basis data. Halaman data stasiun menampilkan peta, informasi stasiun beserta ambang siaga, tabel data dengan filter rentang tanggal, grafik yang dibentuk sesuai sensor yang terpasang, panel video CCTV, dan tombol unduh laporan Excel yang menghasilkan berkas sesuai rentang tanggal yang dipilih. Rentang harian, mingguan, atau bulanan dipilih langsung melalui filter tersebut.

2.7 Alat Ukur Ketercapaian

Ketercapaian kegiatan diukur menggunakan indikator yang disepakati dengan mitra untuk setiap solusi, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3. Pengukuran dilakukan melalui observasi langsung terhadap data yang diterima server, pengujian fungsional setiap fitur bersama staf mitra, dan dokumentasi keluaran sistem.

Tabel 3. Solusi, target luaran, dan indikator ketercapaian

Solusi	Target luaran	Indikator ketercapaian	Alat ukur
Dashboard pemantauan *real-time*	Dashboard web yang menampilkan data ketinggian air	Dashboard dapat diakses daring	Observasi akses dan data yang tampil
Pelaporan berkala	Modul laporan harian, mingguan, dan bulanan	Laporan dengan format standar yang disepakati mitra	Uji unduh laporan dan pemeriksaan isi berkas
Peringatan dini	Notifikasi Telegram terintegrasi	Notifikasi terkirim setelah ambang terlampaui	Rekaman pesan pada grup notifikasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemasangan dan Pemeliharaan Perangkat

Perangkat AWLR dipasang pada struktur pos pantau di tepi Tukad Mati dengan posisi sensor tegak lurus terhadap permukaan air. Tim pelaksana, termasuk mahasiswa, melakukan kunjungan lapangan berkala untuk memeriksa sambungan kabel, posisi sensor terhadap permukaan air, serta kebersihan komponen dari kotoran dan sedimen sungai, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Pemeliharaan berkala ini menjadi bagian penting kegiatan karena kurangnya pemeliharaan merupakan salah satu penyebab AWLR sebelumnya di Tukad Mati tidak berfungsi optimal (Parwita, 2017).

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648



Gambar 4. Kegiatan pemasangan dan pemeliharaan sensor AWLR di titik pemantauan Tukad Mati

Keandalan transmisi data juga diperkuat melalui koordinasi dengan Diskominfo Kabupaten Badung untuk pemasangan jaringan internet bantuan di ruang panel pompa. Jaringan ini menjadi jalur utama pengiriman data dan sumber sinkronisasi waktu NTP, sedangkan jaringan seluler berperan sebagai jalur cadangan.

3.2 Data Lapangan dan Contoh Perhitungan

Data yang diterima server ditampilkan pada dashboard dan dapat diakses melalui perangkat seluler petugas, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Rekaman tanggal 18 Desember 2025 yang merupakan data kondisi awal sebelum periode kegiatan ditampilkan pada Tabel 4 dan menunjukkan bahwa data diterima pada pukul 15.35.03, 15.40.00, 15.45.02, dan 15.50.00, sehingga interval pengiriman lima menit sesuai rancangan terpenuhi dengan selisih waktu kurang dari lima detik terhadap menit penjadwalan.



Gambar 5. Tampilan dashboard pada perangkat seluler petugas berisi video CCTV dan tabel data TMA

Stasiun Pos Pompa Dewi Sri dikonfigurasi dengan ambang w_1 = 2,00 m, w_2 = 1,50 m, dan w_3 = 1,00 m. Penerapan Persamaan (7) pada data Tabel 4 menghasilkan status sebagai berikut. Pada pukul 15.35.03, TMA sebesar 1,841 m memenuhi $1{,}50 \leq 1{,}841 < 2{,}00$ sehingga berstatus Siaga 2. Pada pukul 15.50.00, TMA sebesar 2,072 m memenuhi $2{,}072 \geq 2{,}00$ sehingga berstatus Siaga 1. Dalam rentang 15 menit tersebut TMA naik sebesar $2{,}072 - 1{,}841 = 0{,}231$ m, atau rata-rata 0,077 m per interval pengiriman. Kenaikan seperti ini menunjukkan pentingnya interval pengukuran yang rapat, karena pengamatan manual berkala dapat melewatkan perpindahan status dari Siaga 2 ke Siaga 1.

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

Tabel 4. Data lapangan Pos Pompa Dewi Sri tanggal 18 Desember 2025 dan hasil klasifikasi status

Waktu	TMA (m)	Baterai (V)	Perbandingan dengan ambang	Status
15.35.03	1,841	12,06	1,50 ≤ 1,841 < 2,00	Siaga 2
15.40.00	1,915	12,04	1,50 ≤ 1,915 < 2,00	Siaga 2
15.45.02	1,988	12,06	1,50 ≤ 1,988 < 2,00	Siaga 2
15.50.00	2,072	12,11	2,072 ≥ 2,00	Siaga 1

Contoh perhitungan rantai konversi Persamaan (1) sampai (6) dilakukan pada data pukul 15.50.00. Dengan H0 = 1,5 m, nilai TMA 2,072 m bersesuaian dengan nilai level terbaca d = 3,572 m, karena menurut Persamaan (5) diperoleh TMA = |1,5 − 3,572| = 2,072 m. Berdasarkan Persamaan (4), nilai tersebut berasal dari p = 3,572 / 10 = 0,3572, sehingga menurut Persamaan (3) arus transmitter adalah I = 4 + 16 × (1 − 0,3572) = 14,285 mA. Menurut Persamaan (2), arus ini menghasilkan tegangan Vadc = 14,285 × 150 / 1000 = 2,143 V pada resistor shunt, yang menurut Persamaan (1) setara dengan nilai ADC sekitar 2,143 / 3,3 × 4095 ≈ 2659. Pada pengukuran yang sama, tegangan baterai 12,11 V bersesuaian dengan tegangan pin ADC sebesar 12,11 / 5,7 = 2,125 V menurut Persamaan (6), atau nilai ADC sekitar 2636. Kedua nilai ADC tersebut berada di bawah batas 4095, sehingga nilai resistor shunt dan rasio pembagi tegangan yang dipilih memberi ruang pembacaan yang cukup, dengan batas tegangan baterai terukur sekitar 18,8 V.

3.3 Notifikasi Peringatan Dini

Notifikasi peringatan dikirim secara otomatis ke grup Telegram yang beranggotakan lima akun pengelola dan petugas. Gambar 6 menunjukkan dua notifikasi Siaga 2 dari stasiun Pos Pompa Dewi Sri pada 5 Agustus 2026. Pesan pertama memuat ketinggian 1,68 m dengan ambang 1,50 m pada pukul 06.45.03, dan pesan kedua memuat ketinggian 1,69 m pada pukul 06.50.05. Sesuai Persamaan (7), kedua nilai memenuhi 1,50 ≤ TMA < 2,00 sehingga terklasifikasi sebagai Siaga 2, dan tingkat yang tercantum pada pesan sesuai dengan hasil perhitungan tersebut. Waktu tampil pesan pada grup (pukul 06.45) berada pada menit yang sama dengan waktu pengukuran, yang menunjukkan bahwa notifikasi diterima petugas pada siklus pengiriman yang sama dengan data yang memicunya.



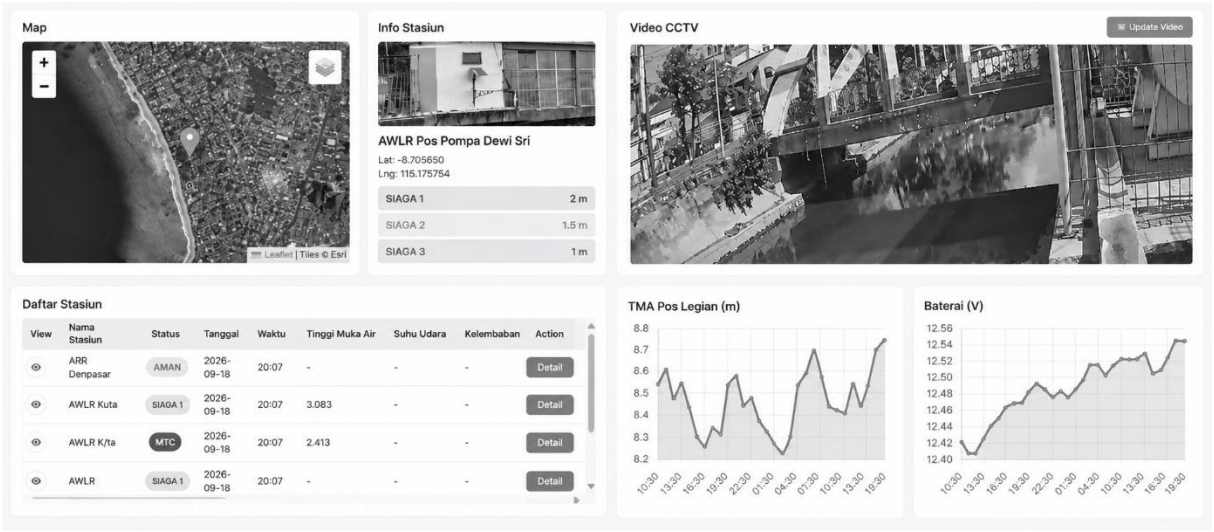
Gambar 6. Notifikasi Siaga 2 yang terkirim otomatis ke grup Telegram mitra

Karena jeda notifikasi (300 detik) sama dengan interval pengiriman data (lima menit), pesan untuk tingkat yang sama terkirim kembali pada setiap siklus selama kondisi siaga berlangsung, sebagaimana terlihat pada dua pesan berurutan di Gambar 6. Perilaku ini memberi informasi perkembangan ketinggian air secara terus-menerus kepada petugas, tetapi dapat menambah jumlah pesan pada kejadian siaga yang berlangsung lama.

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

3.4 Dashboard Pemantauan dan Pelaporan Berkala

Halaman beranda aplikasi web menampilkan peta lokasi stasiun, informasi stasiun beserta ambang Siaga 1, 2, dan 3, panel video CCTV, grafik TMA dan tegangan baterai, serta daftar stasiun dengan status terkini, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Kolom pada daftar stasiun dan jumlah grafik dibentuk secara dinamis sesuai sensor yang terpasang pada setiap stasiun. Tampilan pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 diambil saat pengujian aplikasi menggunakan data uji.



Gambar 7. Halaman beranda aplikasi web berisi peta, informasi stasiun, video, grafik, dan daftar stasiun (data uji)

Halaman detail stasiun menyediakan tabel data dengan filter rentang tanggal serta tombol Filter dan Excel, seperti ditunjukkan pada Gambar 8(a), dan grafik TMA serta tegangan baterai pada Gambar 8(b). Pengguna cukup memilih tanggal awal dan akhir, lalu menekan tombol Excel untuk memperoleh laporan pada rentang harian, mingguan, maupun bulanan. Isi berkas laporan yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 9, memuat kolom tanggal, TMA, dan tegangan baterai yang siap digunakan untuk rapat maupun pelaporan kepada instansi terkait tanpa rekapitulasi manual.



(a) (b)

Gambar 8. Halaman detail stasiun: (a) tabel data dengan filter tanggal dan tombol Excel, (b) grafik TMA dan tegangan baterai (data uji)

Tanggal	TMA Pos Legian (m)	Baterai (V)
13/09/2026	8,5	12,418
13/09/2026	8,594	12,403
13/09/2026	8,409	12,403
13/09/2026	8,506	12,421
13/09/2026	8,369	12,438
13/09/2026	8,21	12,445
13/09/2026	8,155	12,459
13/09/2026	8,258	12,465
13/09/2026	8,227	12,467
13/09/2026	8,5	12,479
13/09/2026	8,552	12,49
13/09/2026	8,368	12,484
13/09/2026	8,414	12,477
13/09/2026	8,28	12,48
13/09/2026	8,235	12,472
13/09/2026	8,172	12,483

Gambar 9. Isi berkas laporan Excel hasil unduhan sesuai filter tanggal (data uji)

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

3.5 Ketercapaian Sasaran

Status ketercapaian setiap luaran dirangkum pada Tabel 5. Ketiga solusi yang disepakati dengan mitra telah memenuhi indikator yang ditetapkan pada Tabel 3, masing-masing dibuktikan melalui data dan dokumentasi yang dibahas pada subbab sebelumnya. Selain luaran teknis, kegiatan juga menghasilkan audiensi dan koordinasi dengan DPUPR dan Diskominfo Kabupaten Badung mengenai pembaruan sistem, pemeliharaan sensor, integrasi kamera CCTV, dan jaringan internet, serta publikasi kegiatan pada media daring.

Tabel 5. Status ketercapaian luaran kegiatan

Luaran	Indikator	Status	Bukti
Perangkat AWLR terpasang dan terpelihara	Data diterima server secara berkala	Tercapai	Gambar 4, Gambar 6, Tabel 4
Dashboard pemantauan *real-time*	Dashboard dapat diakses daring	Tercapai	Gambar 5 dan Gambar 7
Pelaporan berkala	Laporan unduhan sesuai rentang tanggal	Tercapai	Gambar 8 dan Gambar 9
Notifikasi peringatan dini	Notifikasi terkirim saat ambang terlampaui	Tercapai	Gambar 6
Dukungan jaringan internet	Jaringan bantuan Diskominfo terpasang	Tercapai	Subbab 2.2 dan 3.1

3.6 Pembahasan

Dibandingkan dengan sistem sejenis di Indonesia yang umumnya berupa prototipe dengan sensor ultrasonik dan koneksi WiFi tunggal (Mekongga et al., 2023; Pratama et al., 2020; Waluyo & Putra, 2024), sistem ini diterapkan langsung pada pos pompa yang dikelola mitra, memakai transmitter level berkeluaran arus 4-20 mA yang lebih tahan terhadap gangguan pada kabel panjang, dan menyediakan dua jalur komunikasi. Klasifikasi tiga tingkat siaga pada Persamaan (7) sejalan dengan pendekatan berbasis ambang yang digunakan pada penelitian sebelumnya (Waluyo & Putra, 2024; Wikantama & Puspitasari, 2023), dengan perbedaan bahwa nilai ambang pada kegiatan ini ditetapkan bersama mitra dan dapat diubah melalui konfigurasi stasiun tanpa memprogram ulang perangkat. Pendekatan MQTT melalui jaringan seluler yang diterapkan juga sejalan dengan RiverCore (Moreno et al., 2019), sedangkan penambahan modul pelaporan berkala menjawab kebutuhan administratif instansi yang belum banyak dibahas pada penelitian AWLR berbasis web sebelumnya (Pianto et al., 2023).

Dari sisi konversi data, sebagian sistem sejenis mengklasifikasikan status langsung dari pembacaan sensor, misalnya rentang pembacaan 2 sampai 50 cm, 51 sampai 99 cm, dan 100 sampai 400 cm yang dipetakan ke status Siaga 1, Siaga 2, dan Siaga 3 (Waluyo & Putra, 2024). Pada kegiatan ini, pembacaan transmitter dikonversi terlebih dahulu menjadi TMA melalui Persamaan (1) sampai (5) dengan nilai acuan H0 hasil kalibrasi, lalu dibandingkan dengan ambang dalam satuan meter yang ditetapkan mitra melalui Persamaan (7). Pendekatan ini membuat ambang siaga dapat dibaca langsung oleh petugas sebagai tinggi muka air dan dapat disesuaikan tanpa memprogram ulang perangkat. Sistem berbasis LoRaWAN memakai empat tingkat risiko, yaitu safe, alert, cautious, dan dangerous, dengan sensor ultrasonik HC-SR04 berkeluaran digital (Zakaria et al., 2023), sedangkan kegiatan ini memakai tiga tingkat siaga ditambah status aman dan transmitter level berkeluaran arus 4-20 mA. Perbandingan kinerja beberapa jenis sensor ketinggian air menunjukkan bahwa jenis sensor perlu dipilih sesuai kondisi lapangan dan kebutuhan peringatan dini (Tawalbeh et al., 2023).

Dari sisi resolusi waktu, jaringan sensor nirkabel pada penelitian sebelumnya mengambil data setiap dua detik dengan waktu kirim notifikasi Telegram rata-rata 4,07 detik (Wahid et al., 2024), dan sistem berbasis MQTT lain mencatat tunda notifikasi rata-rata 0,561 detik (Wandi & Ashari, 2023). Kegiatan ini memakai interval pengiriman lima menit dan memutus koneksi WiFi setelah setiap siklus untuk menghemat energi perangkat yang bergantung pada panel surya dan baterai. Pada data lapangan, pesan notifikasi tampil pada menit yang sama dengan waktu pengukuran (Gambar 6), dan dengan laju kenaikan rata-rata 0,077 m per interval (Tabel 4) resolusi lima menit masih mampu

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

menangkap perpindahan status dari Siaga 2 ke Siaga 1 pada kejadian yang teramati. Interval yang lebih rapat dapat dipertimbangkan apabila kenaikan muka air berlangsung lebih cepat. Jika dipetakan pada tujuan penerapan IoT dalam manajemen risiko banjir (Bakhtiari et al., 2025), sistem ini mencakup fungsi peringatan dan visualisasi, serta menambahkan fungsi pelaporan berkala yang dibutuhkan instansi.

Dari sisi keberlanjutan, pelajaran dari AWLR terdahulu di Tukad Mati menunjukkan bahwa kegagalan alat lebih banyak disebabkan oleh lokasi dan pemeliharaan daripada teknologi pengukurannya (Parwita, 2017). Oleh karena itu, kegiatan ini menempatkan pemeliharaan berkala, pencatatan lokal di kartu SD, dan jaringan cadangan sebagai bagian dari rancangan. Dari sisi komponen sistem peringatan dini (Perera et al., 2020) , kegiatan ini memperkuat komponen pemantauan melalui data berinterval lima menit dan komponen diseminasi melalui notifikasi Telegram, sedangkan komponen kapasitas respons tetap berada pada prosedur operasional pos pompa milik mitra.

Bagi DPUPR Kabupaten Badung, penerapan sistem ini memiliki beberapa implikasi operasional. Pertama, status siaga yang diterima melalui Telegram dapat dipadankan dengan tindakan bertingkat dalam prosedur operasional pos pompa, misalnya peningkatan frekuensi pemantauan pada Siaga 3, penyiagaan operator dan pompa pada Siaga 2, serta eskalasi koordinasi kepada pimpinan dan instansi terkait pada Siaga 1. Pemadanan tersebut perlu ditetapkan secara resmi oleh mitra agar setiap notifikasi memiliki tindak lanjut yang jelas. Kedua, laporan Excel yang diunduh sesuai rentang tanggal dapat langsung digunakan sebagai lampiran rapat pimpinan dan pelaporan kepada instansi terkait, sehingga waktu penyusunan laporan berkurang dan formatnya seragam antarperiode. Ketiga, data historis TMA dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi kejadian siaga, misalnya waktu mulai dan durasi kenaikan muka air, sebagai bahan perencanaan pemeliharaan saluran dan jadwal operasi pompa. Keempat, data tegangan baterai yang terekam bersama TMA dapat digunakan sebagai indikator pemeliharaan preventif, karena penurunan tegangan yang berlanjut menandakan perlunya pemeriksaan panel surya atau baterai sebelum perangkat berhenti mengirim data. Kelima, karena platform dirancang multi-instansi, data stasiun dapat dibagikan kepada instansi lain dengan hak akses terbatas tanpa membangun sistem baru.

Kegiatan ini juga memiliki keterbatasan. Pemantauan baru mencakup satu titik, sehingga belum menggambarkan kondisi Tukad Mati dari hulu ke hilir. Rentang ukur sensor memiliki keterbatasan pada kondisi muka air rendah, sehingga penempatan dan kalibrasi H0 perlu ditinjau secara berkala. Notifikasi yang berulang setiap siklus selama kondisi siaga dapat dikembangkan menjadi notifikasi berbasis perubahan status. Selain itu, sistem bergantung pada ketersediaan jaringan internet dan server pusat. Peluang pengembangan meliputi penambahan titik pantau, integrasi stasiun cuaca dan penakar hujan otomatis yang telah didukung oleh skema data generik aplikasi, serta pemanfaatan data historis untuk analisis pola kenaikan muka air.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penerapan, ketiga tujuan kegiatan telah tercapai dengan rincian sebagai berikut.

1. Tujuan pertama tercapai melalui dashboard pemantauan real-time yang dapat diakses daring oleh mitra. Data dari perangkat lapangan berbasis ESP32 dan transmitter level 4-20 mA diterima server melalui MQTT dengan interval lima menit, menggunakan WiFi sebagai jalur utama dan GSM sebagai jalur cadangan, lalu ditampilkan dalam bentuk peta, tabel, grafik, dan video CCTV.
2. Tujuan kedua tercapai melalui modul pelaporan berkala yang menghasilkan berkas Excel sesuai rentang tanggal yang dipilih, sehingga laporan harian, mingguan, dan bulanan dapat disusun tanpa rekapitulasi manual.
3. Tujuan ketiga tercapai melalui notifikasi Telegram yang terkirim otomatis ketika TMA melampaui ambang siaga. Pada data lapangan, tingkat siaga yang tercantum pada pesan sesuai dengan hasil klasifikasi Persamaan (7), dan pesan tampil pada menit yang sama dengan waktu pengukuran.

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

4. Kelebihan sistem terletak pada penerapan langsung di pos pompa mitra, jalur komunikasi ganda, dan ambang siaga yang dapat diatur, sedangkan kekurangannya adalah cakupan satu titik dan ketergantungan pada jaringan internet.

Saran untuk pengembangan penelitian adalah penambahan titik pantau dari hulu ke hilir, pengujian akurasi pembacaan terhadap papan duga di lokasi, penerapan notifikasi berbasis perubahan status, serta pemanfaatan data historis untuk analisis laju kenaikan muka air. Saran praktis bagi mitra adalah menetapkan prosedur tindak lanjut untuk setiap tingkat siaga, menjadwalkan pemeriksaan rutin sensor, panel surya, dan baterai, serta melanjutkan dukungan jaringan internet bersama Diskominfo agar sistem tetap beroperasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) Universitas Warmadewa yang telah memberikan dukungan finansial melalui Hibah Pengabdian kepada Masyarakat Internal Tahun 2026, kepada DPUPR Kabupaten Badung sebagai mitra, serta kepada Diskominfo Kabupaten Badung atas dukungan jaringan internet.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, D. T., Mohammed Siddique, & Mohammad Shahid Husain. (2023). Flood Monitoring and Early Warning Systems – An IoT Based Perspective. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, *9*(2). https://doi.org/10.4108/eetiot.v9i2.2968

Ayyada, M. A. F., & Sari, D. N. (2025). Analisis Kerawanan Bencana Banjir dan Arahan Evakuasi berbasis SIG di DAS Tukad Mati Bali. *EL-JUGHRAFIYAH*, *5*(2), 297. https://doi.org/10.24014/jej.v5i2.37838

Bakhtiari, V., Kerchi, H. D., Piadeh, F., Behzadian, K., & Nasirzadeh, F. (2025). Role of the internet of things in flood risk management: a critical review on current practices and future directions. *Natural Hazards*, *121*(17), 19473–19505. https://doi.org/10.1007/s11069-025-07589-2

Esposito, M., Belli, A., Palma, L., & Pierleoni, P. (2023). Design and Implementation of a Framework for Smart Home Automation Based on Cellular IoT, MQTT, and Serverless Functions. *Sensors*, *23*(9), 4459. https://doi.org/10.3390/s23094459

Esposito, M., Palma, L., Belli, A., Sabbatini, L., & Pierleoni, P. (2022). Recent Advances in Internet of Things Solutions for Early Warning Systems: A Review. *Sensors*, *22*(6), 2124. https://doi.org/10.3390/s22062124

Mekongga, I., Mustaziri, Aryanti, A., & Intan Handayani, S. (2023). Integrasi Telegram App dalam Sistem Pemantauan Ketinggian Air Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Ampere*, *7*(2), 154–164. https://doi.org/10.31851/ampere.v7i2.13462

Mishra, B., & Kertesz, A. (2020). The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey. *IEEE Access*, *8*, 201071–201086. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3035849

Moreno, C., Aquino, R., Ibarreche, J., Pérez, I., Castellanos, E., Álvarez, E., Rentería, R., Anguiano, L., Edwards, A., Lepper, P., Edwards, R. M., & Clark, B. (2019). RiverCore: IoT Device for River Water Level Monitoring over Cellular Communications. *Sensors*, *19*(1), 127. https://doi.org/10.3390/s19010127

Parwita, I. Gst. L. M. (2017). Evaluasi kinerja automatic water level recorder (AWLR) Tukad Mati. *Jurnal Matrix*, *6*(3), 143. https://doi.org/10.46964/poligrid.v2i1.725

Perera, D., Seidou, O., Agnihotri, J., Mehmood, H., & Rasmy, M. (2020). Challenges and Technical Advances in Flood Early Warning Systems (FEWSs). In *Flood Impact Mitigation and Resilience Enhancement*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.93069

Pianto, T. A., Akbar, H. I., Sutejo, B., Rudiastuti, A. W., Sumargana, L., Purwandani, A., Santikayasa, I. P., Ambarwulan, W., Priyadi, H., & Nurdiansyah. (2023). Design and implementation of an IoT-based Automatic Water Level Recorder (AWLR) as a tool to mitigate the risk of tidal flood disasters in the coastal area of Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1266*(1), 012061. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1266/1/012061

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3923-3936
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1648

Pratama, N., Darusalam, U., & Nathasia, N. D. (2020). Perancangan Sistem Monitoring Ketinggian Air Sebagai Pendeteksi Banjir Berbasis IoT Menggunakan Sensor Ultrasonik. *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, *4*(1), 117. https://doi.org/10.30865/mib.v4i1.1905

Raharja, I. K. A. W., Agung Yujana, C., & Surya Kumara, M. (2025). TIRTA (TEKNOLOGI IOT UNTUK IRIGASI TERKENDALI DAN AUTOMASI): SISTEM IRIGASI PINTAR BERBASIS IOT DENGAN KONTROL OTOMATIS DAN PENJADWALAN DINAMIS. *Jurnal Abdi Daya*, *5*(2), 53–62. https://doi.org/10.22225/jad.5.2.2025.53-62

Raharja, I. K. A. W., Gde Wikan Pradnya Dana, I Gede Wira Darma, & I Gusti Agung Made Yoga Mahaputra. (2025). Optimasi Pengiriman dan Rekonstruksi Data Visual pada Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT menggunakan MQTT dan FFmpeg. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, *8*(3), 133–142. https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v8i3.1955

Tawalbeh, R., Alasali, F., Ghanem, Z., Alghazzawi, M., Abu-Raideh, A., & Holderbaum, W. (2023). Innovative Characterization and Comparative Analysis of Water Level Sensors for Enhanced Early Detection and Warning of Floods. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, *13*(2), 26. https://doi.org/10.3390/jlpea13020026

Wahid, A., Parenreng, J. M., Kusnandar, W. C. K., Adi, P. D. P., Mahabror, D., & Sariningrum, R. (2024). Telegram bot-based Flood Early Warning System with WSN Integration. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, *16*(2), 151–160. https://doi.org/10.33096/ilkom.v16i2.1699.151-160

Waluyo, A. F., & Putra, T. R. (2024). Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IOT) dan Telegram. *Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi*, *7*(1), 142–150. https://doi.org/10.29408/jit.v7i1.24109

Wandi, I. A., & Ashari, A. (2023). Monitoring Ketinggian Air dan Curah Hujan Dalam Early Warning System Bencana Banjir Berbasis IoT. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, *13*(1). https://doi.org/10.22146/ijeis.83569

Wikantama, P. T., & Puspitasari, R. (2023). Perancangan Perangkat Pengukur Ketinggian Banjir dengan ESP32 dan Telegram Berbasis IoT. *Elektriese: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro*, *13*(02), 107–114. https://doi.org/10.47709/elektriese.v13i02.3108

Zakaria, M. I., Jabbar, W. A., & Sulaiman, N. (2023). 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*, *3*, 249–261. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.005