

COMMUNITY ENGAGEMENT ARTICLE

Penguatan Ketangguhan Desa Pasca Bencana melalui Implementasi *Early Warning System* Berbasis IoT dan Sistem Pencahayaan Energi Surya di Gampong Lhok Sandeng, Pidie Jaya

Muhammad Wali¹ | Abdus Salam^{2*} | Ridho Mahara³ | Aqiel Ali Yusa⁴ | Fauzan Irsal Qurbani⁵ | Nelson Sani⁶ | Salamudin⁷ | Sely Andriani⁸ | Intan Safrina⁹ | Aditya Toha Putra Mandala¹⁰ | Hafis Bohate¹¹

^{1,2*} Program Studi Manajemen Informatika,
Fakultas Ilmu Komputer, STMIK Indonesia
Banda Aceh, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh,
Indonesia.

^{3,4,5,6,7,8,9} Program Studi Sistem Informasi,
Fakultas Ilmu Komputer, STMIK Indonesia
Banda Aceh, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh,
Indonesia.

^{10,11} Program Studi Sistem Komputer,
Fakultas Ilmu Komputer, STMIK Indonesia
Banda Aceh, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh,
Indonesia.

Correspondence

^{2*} Program Studi Manajemen Informatika,
Fakultas Ilmu Komputer, STMIK Indonesia
Banda Aceh, Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh,
Indonesia.

Email: abdussalam@stmiki.ac.id.

Funding information

Direktorat Penelitian dan Pengabdian
kepada Masyarakat (DPPM), Direktorat
Jenderal Riset dan Pengembangan,
Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan
Teknologi (Kemdiktisaintek).

Abstract

Gampong Lhok Sandeng, Pidie Jaya Regency was severely affected by flash floods in late 2025, causing infrastructure damage and economic disruption. The Student Impact Program of STMIK Indonesia Banda Aceh responded through a Participatory Action Research (PAR) approach, mobilizing 58 students from three study programs over 65 days. The initiative integrated Internet of Things (IoT) technology and renewable energy through the installation of an IoT-based Early Warning System (EWS), solar-powered street lighting, portable emergency lights, and an agricultural water pump. Results were disseminated via social media, national press, and video documentation. Long-term sustainability is anchored in a formally legalized Village Disaster Response Team and Maintenance Team, demonstrating that participatory appropriate technology effectively fosters sustainable post-disaster rural resilience.

Keywords

Community Empowerment, Disaster-Resilient Village, Early Warning System, Internet of Things, Solar Energy.

Abstrak

Gampong Lhok Sandeng, Kabupaten Pidie Jaya terdampak parah oleh banjir bandang pada akhir 2025 yang merusak infrastruktur dan perekonomian warga. Program Mahasiswa Berdampak STMIK Indonesia Banda Aceh merespons kondisi ini melalui pendekatan Participatory Action Research (PAR) yang melibatkan 58 mahasiswa dari tiga program studi selama 65 hari. Program ini mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) dan energi terbarukan melalui pemasangan Early Warning System (EWS) berbasis IoT, lampu jalan tenaga surya, lampu darurat portabel, dan pompa air rehabilitasi lahan. Diseminasi luaran dilakukan melalui media sosial, pemberitaan nasional, dan video dokumentasi. Keberlanjutan program dijamin melalui legalisasi Tim Siaga Bencana dan Tim Pemeliharaan Desa, membuktikan bahwa teknologi tepat guna berbasis partisipasi aktif masyarakat efektif memperkuat ketangguhan desa pascabencana secara berkelanjutan.

Kata Kunci

Desa Tangguh Bencana, Early Warning System, Energi Surya, Internet of Things, Pemberdayaan Masyarakat.

1 | PENDAHULUAN

Bencana banjir merupakan salah satu ancaman hidrometeorologi yang paling berulang dan menimbulkan kerusakan signifikan di wilayah Aceh. Posisi geografis Aceh yang berada di kawasan bercurah hujan tinggi, dikombinasikan dengan kondisi tutupan lahan yang terus menurun, menjadikan banjir bukan sekadar peristiwa musiman, melainkan ancaman berulang yang membutuhkan respons sistemik pada berbagai tingkatan, mulai dari pemerintah daerah hingga komunitas desa. Setiap tahun, puluhan gampong di berbagai kabupaten harus berhadapan dengan luapan sungai yang merendam permukiman, menghanyutkan ternak, dan memutus akses transportasi darat, sementara kapasitas mitigasi pada tingkat komunitas desa masih terbatas.

Kabupaten Pidie Jaya merupakan salah satu wilayah yang konsisten terdampak luapan air sungai. Pada akhir tahun 2025, bencana banjir terjadi sebanyak dua kali dalam rentang waktu satu bulan. Banjir bandang yang melanda pada November dan Desember 2025 tidak hanya merusak infrastruktur fisik, tetapi juga melumpuhkan kapasitas sosial dan ekonomi masyarakat yang belum sempat pulih dari bencana sebelumnya (HEOC Dinkes KB Pidie Jaya, 2026; Pemerintah Kabupaten Pidie Jaya, 2025). Di antara wilayah yang terdampak, Gampong Lhok Sandeng di Kecamatan Meurah Dua mengalami kerusakan yang tergolong parah. Posisi geografisnya di hilir Krueng Meureudu menjadikan desa ini titik akumulasi aliran air dari kawasan hulu, sehingga peningkatan debit sungai dapat mengancam permukiman warga dalam waktu singkat. Wawancara awal bersama perangkat gampong dan tokoh masyarakat menunjukkan bahwa desa ini mengalami luapan air tiga hingga lima kali per tahun, namun belum didukung sistem peringatan dini yang andal. Kondisi fisik lingkungan desa pascabanjir disajikan pada Gambar 1. Ketiadaan sistem deteksi otomatis dan minimnya sarana evakuasi menyebabkan penyebaran peringatan kenaikan debit air hanya berlangsung dari mulut ke mulut, yang sangat berisiko saat bencana terjadi di malam hari (Amin & Burhan, 2025; Perdana & Hamid, 2025).



Gambar 1. Kondisi Pasca-Banjir Gampong Lhok Sandeng, Pidie Jaya, 2025

(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

Dampak banjir juga mencakup tertimbunnya lahan pertanian warga oleh endapan lumpur, sehingga lahan produktif tidak dapat digarap dan memutus sumber pendapatan utama puluhan keluarga petani (Jamin & Risfaisal, 2021; Werdana & Damaiyanti, 2024). Pemadaman jaringan listrik PLN pascabencana menyebabkan jalan desa gelap gulita tanpa penerangan umum, yang menghambat mobilitas warga serta menghentikan aktivitas ekonomi rumah tangga pada malam hari (Chandra *et al.*, 2025). Selama lebih dari satu dekade, permohonan pengadaan penerangan jalan umum belum terealisasi, sehingga kerentanan warga saat keadaan darurat tetap tinggi (Perdana & Hamid, 2025). Guna merumuskan langkah penanganan yang tepat, tim pengabdian melakukan survei lapangan dan dialog bersama pemangku kepentingan desa sebagaimana terdokumentasi pada Gambar 2. Survei tersebut mengonfirmasi dua kebutuhan prioritas: pengadaan penerangan jalan umum dan penyediaan sistem peringatan dini banjir yang mandiri energi (Waluyo & Putra, 2024; Amin & Burhan, 2025). Kebutuhan lapangan ini sejalan dengan skema pengabdian masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, sehingga intervensi yang dirancang memiliki pijakan empiris sekaligus payung program yang terstruktur (Hijri *et al.*, 2020; Rahman *et al.*, 2023).



Gambar 2. Survei dan Wawancara Tim Pengabdian bersama Perangkat Gampong Lhok Sandeng, Januari 2026
(Sumber: Dokumentasi Tim Mahasiswa)

Penyelesaian masalah tersebut difokuskan pada dua kelompok mitra produktif dengan karakteristik peran yang berbeda. Kelompok Tani Lhok Sandeng Jaya yang beranggotakan 29 petani difokuskan pada pemulihan lahan pertanian produktif dan pengelolaan operasional sistem peringatan dini. Sementara itu, Kelompok Lhok Pineung/PKK dengan 27 anggota diprioritaskan pada akses pencahayaan darurat mandiri untuk rumah tangga serta penguatan kesiapsiagaan keluarga pascabencana (Werdana & Damaiyanti, 2024; Perdana & Hamid, 2025). Dari sisi kebijakan, intervensi ini selaras dengan dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kabupaten Pidie Jaya dalam prioritas ketangguhan bencana dan kemandirian energi desa, sekaligus mendukung implementasi Asta Cita Poin 2 dan 3 terkait swasembada energi dan pembangunan infrastruktur desa (Hijri *et al.*, 2020; Rahman *et al.*, 2023). Program ini juga berkontribusi pada capaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) serta Tujuan 13 (Penanganan Perubahan Iklim) (Rahman *et al.*, 2023; Chandra *et al.*, 2025). Penerapan sistem peringatan dini berbasis *Internet of Things* (IoT) dan pencahayaan tenaga surya merupakan wujud *transfer* teknologi tepat guna yang berfungsi mengatasi kendala darurat sekaligus memperkuat kapasitas mitigasi jangka panjang (Wali *et al.*, 2026; Amin & Burhan, 2025; Waluyo & Putra, 2024). Berdasarkan latar belakang tersebut, program ini bertujuan membangun ketangguhan Gampong Lhok Sandeng pascabencana melalui implementasi teknologi peringatan dini berbasis IoT dan pencahayaan mandiri energi surya, serta memperkuat kelembagaan lokal dalam mengelola dan memelihara sistem secara mandiri.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bencana Banjir dan Kebutuhan Sistem Peringatan Dini di Negara Berkembang

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering melanda dan menimbulkan dampak parah bagi masyarakat perdesaan di negara berkembang. Kerusakan yang ditimbulkan tidak hanya terbatas pada prasarana fisik lingkungan, tetapi juga melumpuhkan sektor pertanian produktif, mengganggu stabilitas ekonomi rumah tangga, dan memutus akses terhadap layanan dasar publik. Kondisi kerentanan tersebut diperburuk oleh minimnya infrastruktur pemantauan dan peringatan dini di kawasan terpencil, tempat jaringan komunikasi seluler dan pasokan energi listrik konvensional kerap terputus saat banjir bandang terjadi. Kajian sistematis oleh Aprianti *et al.* (2025) mengenai sistem peringatan dini di Indonesia menunjukkan bahwa titik lemah utama dalam penanggulangan bencana berada pada fase pemulihan dan kesiapsiagaan berulang. Sebagian besar intervensi cenderung berfokus pada tanggap darurat jangka pendek tanpa membekali komunitas lokal dengan kapasitas teknis yang memadai untuk menghadapi potensi bencana berikutnya. Di samping itu, integrasi kearifan lokal dan pelibatan aktif warga dalam operasional sistem pemantauan masih sangat rendah, sehingga perangkat yang dipasang kerap terbengkalai setelah masa tugas lembaga pendamping berakhir. Temuan ini menegaskan bahwa intervensi kebencanaan tidak cukup hanya mengandalkan instrumen teknologi, melainkan harus dirancang bersama model penguatan kapasitas lokal sejak tahap awal.

2.2 Sistem Peringatan Dini Berbasis IoT untuk Mitigasi Banjir

Teknologi *Internet of Things* (IoT) berkembang pesat sebagai fondasi utama dalam perancangan sistem peringatan dini banjir yang hemat biaya, fleksibel, dan mampu bekerja secara otonom. Zakaria *et al.* (2023) merancang sistem pemantauan debit air berbasis LoRaWAN dengan perangkat suar (*beacon*) bertenaga surya yang mampu mentransmisikan data kondisi sungai secara *real-time* ke aplikasi telepon pintar (*mobile application*) dan antarmuka pemantauan (*dashboard*) web. Pengujian performa menunjukkan keandalan komunikasi data yang tinggi di wilayah terisolasi melalui

indikator *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dan *Packet Delivery Ratio* (PDR) yang stabil. Keandalan tersebut diperkuat oleh Abdullah *et al.* (2026) melalui uji coba lapangan sistem IoT berbasis LoRa di kawasan perdesaan Bangladesh. Sistem tersebut mencatat rasio pengiriman paket sebesar 97% dengan latensi 95 ms pada kondisi cuaca ekstrem, serta menghasilkan tingkat akurasi deteksi elevasi muka air sebesar 94%. Pengembangan sistem peringatan dini di kawasan rawan bencana juga memerlukan diversifikasi kanal diseminasi dan keandalan transmisi cadangan. Kamali *et al.* (2023) merancang instrumen *Early Warning System* (EWS) yang mengintegrasikan unit sensor IoT bertenaga panel surya dengan saluran media sosial seperti Telegram dan media sosial daring lainnya untuk menyebarkan notifikasi bahaya secara serentak kepada masyarakat dan pemangku kepentingan. Untuk mengantisipasi kelumpuhan jaringan telekomunikasi seluler, Megawati *et al.* (2025) mengembangkan perangkat EWS bertenaga surya dengan mekanisme konektivitas ganda *online-offline* memanfaatkan gelombang radio LoRa, sehingga transmisi peringatan bahaya tetap terkirim saat akses internet publik terputus total. Dari sisi kontinuitas daya, Pereyra dan Mayr (2025) melalui arsitektur *FloodGuardian* membuktikan bahwa ketersediaan daya mandiri sepanjang tahun dapat dipertahankan melalui integrasi panel surya berkapasitas memadai, unit baterai penyimpan daya, serta penerapan algoritma *adaptive duty-cycling* untuk menghemat konsumsi energi pada periode tutupan awan mendung yang panjang di wilayah tropis.

2.3 Energi Surya sebagai Tulang Punggung Sistem Peringatan Dini Mandiri

Ketergantungan instrumen peringatan dini konvensional pada jaringan listrik utama PLN menjadi titik kerentanan kritis, mengingat suplai listrik sering kali padam seketika saat banjir bandang melanda permukiman. Penerapan energi surya terdesentralisasi menjadi solusi paling realistis untuk menjaga kesiapan operasional sensor dan sirine peringatan dini di kawasan perdesaan terpencil. Wali *et al.* (2026) mengembangkan purwarupa EWS berbasis IoT mandiri berdaya panel surya yang dilengkapi sirine alarm audio-visual berbiaya di bawah dua juta rupiah per unit. Desain sistem tersebut mengedepankan pendekatan *community-based sustainability*, di mana kemudahan pemeliharaan dan pengadaan suku cadang lokal menjadi faktor utama agar komunitas desa mampu merawatnya secara swadaya dalam jangka panjang. Pemanfaatan tenaga surya sebagai sumber energi terbarukan mandiri juga diuji oleh Choosumrong *et al.* (2025) pada sistem pemantauan tinggi muka air berbasis sensor IoT dan pemetaan sistem informasi geografis (GIS) di kawasan pertanian dataran rendah Thailand. Kajian tersebut menggarisbawahi bahwa efektivitas pasokan fotovoltik sangat ditentukan oleh manajemen cadangan baterai, mengingat anomali cuaca berupa hujan lebat dan tutupan awan berkepanjangan dapat memicu dormansi sensor jika kapasitas daya cadangan tidak dirancang dengan ambang batas toleransi yang memadai.

2.4 Partisipasi Komunitas sebagai Faktor Penentu Keberhasilan EWS

Keandalan sistem peringatan dini pada akhirnya sangat ditentukan oleh tingkat penerimaan dan kesiapsiagaan warga setempat selaku pengguna utama peringatan bahaya. Keunggulan teknis instrumen peringatan berisiko tidak berfungsi optimal jika masyarakat tidak memahami arti sinyal bahaya atau tidak mengetahui jalur evakuasi yang aman saat alarm berbunyi. Geetha dan Deepika (2025) membuktikan hal tersebut melalui uji lapangan di tiga wilayah perdesaan, di mana sistem peringatan bahaya berbasis kecerdasan buatan (AI) dan IoT yang dirancang dengan melibatkan warga sejak awal berhasil memperoleh tingkat kepatuhan respons evakuasi hingga 93%. Rancangan sistem yang mengutamakan rasa kepemilikan lokal terbukti meningkatkan efektivitas tanggap darurat secara signifikan. Pentingnya integrasi pengetahuan lokal juga ditekankan oleh Pereyra dan Mayr (2025), yang menganjurkan keterlibatan lembaga penanggulangan bencana dan tokoh masyarakat setempat dalam penetapan batas kritis (*threshold*) tinggi muka air, dengan merujuk pada catatan sejarah banjir bandang masa lalu. Sementara itu, Hlal *et al.* (2025) dalam tinjauan sistematis manajemen risiko banjir perkotaan dan perdesaan menegaskan bahwa negara berkembang kerap menghadapi tantangan ganda berupa minimnya kepadatan sensor dan lemahnya tata kelola teknologi berbasis warga. Pendekatan perancangan bersama (*co-design*) antara akademisi, praktisi, dan warga desa menjadi prasyarat fundamental agar sistem yang diinstalasi tetap kontekstual, dipercaya, dan digunakan secara konsisten.

2.5 Keberlanjutan Program Pascabencana dan Relevansinya terhadap Pembangunan Desa

Keberlanjutan program merupakan indikator paling substantif dalam mengukur keberhasilan intervensi teknologi tepat guna di tingkat desa. Program pemberdayaan yang berhenti berfungsi sesaat setelah tim pendamping meninggalkan lokasi tidak memberikan dampak transformatif, bahkan dapat membebani masyarakat dengan infrastruktur yang rusak tanpa adanya kemampuan perawatan lokal. Wali *et al.* (2026) menunjukkan bahwa pemeliharaan instrumen EWS di perdesaan dapat dijamin melalui pelembagaan iuran sukarela tingkat rukun tetangga atau kas gampong yang terjangkau, didukung oleh transfer keterampilan kepada pemuda desa sebagai teknisi operasional berkala. Pendekatan ini sangat sesuai untuk desa-desa di Indonesia yang memiliki keterbatasan anggaran fisik namun memiliki modal sosial gotong royong yang kokoh. Keberhasilan resiliensi perdesaan juga ditentukan oleh edukasi yang berkesinambungan. Aprianti *et al.* (2025) menyatakan bahwa intervensi mitigasi yang mampu bertahan pada fase rehabilitasi dan rekonstruksi adalah program yang secara nyata mentransfer kapasitas operasional, sehingga masyarakat memahami mekanisme kerja alat, tata cara perawatan berkala, serta prosedur keselamatan saat bencana terjadi. Selain itu, Choosumrong *et al.* (2025)

menemukan bahwa transparansi akses terhadap data pemantauan elevasi air secara terbuka bagi warga desa—bukan sekadar terdistribusi ke aparatur birokrasi—berhasil memupuk kesadaran kolektif. Ketika warga memiliki akses informasi lingkungan secara mandiri, kesiapsiagaan bencana tumbuh secara organik dari dalam struktur komunitas.

3 | METODE

3.1 Pendekatan dan Metode

Program pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan selama 65 hari kerja efektif, terhitung sejak 31 Januari hingga 3 April 2026, berlokasi di Gampong Lhok Sandeng, Kecamatan Meurah Dua, Kabupaten Pidie Jaya. Pendekatan intervensi yang diterapkan adalah *Participatory Action Research* (PAR), yang menempatkan warga gampong sebagai mitra setara dan subjek aktif pada setiap fase kegiatan, mulai dari identifikasi masalah, perancangan solusi teknis, pemasangan instrumen, hingga pengujian dan evaluasi luaran (Hijri *et al.*, 2020; Perdana & Hamid, 2025). Pendekatan partisipatif ini dipilih karena penguatan ketangguhan bencana bukan sekadar penyediaan infrastruktur fisik, melainkan pembentukan kapasitas kelembagaan lokal agar masyarakat memiliki rasa tanggung jawab dan kepemilikan penuh terhadap teknologi yang dipasang. Secara operasional, pelaksanaan program mengintegrasikan tiga pilar utama: instalasi teknologi tepat guna berbasis kebutuhan lokal, lokakarya pelatihan berbasis praktik lapangan, serta pendampingan kelembagaan yang intensif. Kondisi geografis Gampong Lhok Sandeng yang terpencil dan berjarak cukup jauh dari pusat logistik kabupaten menjadi pertimbangan teknis tersendiri, di mana seluruh komponen perangkat IoT dan modul surya didatangkan dari Banda Aceh dan Sigli. Mengingat mayoritas warga berprofesi sebagai petani yang beraktivitas di ladang hingga sore hari serta kantor desa belum dapat difungsikan pascabanjir, sosialisasi lapangan dilakukan secara persuasif dan fleksibel melalui pendekatan pintu ke pintu (*door-to-door*), pertemuan langsung di kawasan persawahan, serta rembuk warga setelah salat Magrib di meunasah. Program ini melibatkan 58 mahasiswa dari Program Studi Manajemen Informatika, Sistem Informasi, dan Sistem Komputer dengan akumulasi 11.504 Jam Kerja Efektif Mahasiswa (JKEM) yang direkognisi setara 20 Satuan Kredit Semester (SKS).

3.2 Tahapan Pelaksanaan

Program dilaksanakan dalam lima tahap sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

- 1) Tahap 1 — Sosialisasi (Minggu 1)
Forum sosialisasi melibatkan perangkat gampong, perwakilan kedua kelompok mitra, dan tokoh masyarakat. Forum ini sekaligus menjadi ruang verifikasi lapangan untuk memastikan permasalahan yang teridentifikasi sesuai dengan kondisi nyata warga. Keluaran tahap ini adalah dokumen kesepakatan program yang ditandatangani bersama mitra sasaran.
- 2) Tahap 2 — Pelatihan (Minggu 2)
Pelatihan dilaksanakan dalam dua sesi paralel. Sesi pertama melatih 10 calon anggota Tim Siaga Bencana tentang cara membaca indikator EWS, prosedur evakuasi, dan komunikasi darurat. Sesi kedua melatih 15 calon anggota Tim *Maintenance* Desa tentang perawatan rutin panel surya, penggantian komponen dasar, dan pengecekan berkala sensor EWS.
- 3) Tahap 3 — Penerapan Teknologi (Minggu 2–4)
Instalasi dilakukan dalam tiga klaster secara paralel. Klaster pertama mencakup pemasangan 2 unit EWS berbasis IoT di dua titik strategis Krueng Lhok Sandeng. Klaster kedua mencakup pemasangan 30 unit lampu jalan *solar cell* sepanjang 3,5 km. Klaster ketiga mencakup distribusi 15 unit lampu darurat portabel kepada rumah tangga terdampak dan pengoperasian 1 unit pompa air untuk rehabilitasi lahan. Seluruh instalasi dilakukan bersama warga secara gotong royong, sehingga proses pemasangan sekaligus menjadi pelatihan praktik langsung di lapangan.
- 4) Tahap 4 — Pendampingan dan Evaluasi (Minggu 4–8)
Pendampingan dilakukan dua kali per minggu selama empat minggu pascainstalasi. Evaluasi dilakukan melalui simulasi evakuasi berskala penuh yang melibatkan seluruh warga desa, dengan indikator utama berupa perbandingan waktu evakuasi aktual terhadap *baseline* kondisi sebelum program.
- 5) Tahap 5 — Keberlanjutan (Minggu 8 hingga Selesai)
Keberlanjutan dijamin melalui tiga mekanisme: SK resmi Tim *Maintenance* Desa dari Keuchik beserta *toolkit* dan panduan teknis, sistem pemantauan jarak jauh berbasis *web*, serta paket dokumentasi teknis lengkap yang dirancang sebagai model replikasi untuk desa-desa lain di Kabupaten Pidie Jaya.

3.3 Strategi Diseminasi dan Publikasi

Penyebarnya capaian program dilakukan secara berkesinambungan melalui pemanfaatan saluran multi-platform untuk menjangkau khalayak akademisi dan masyarakat luas. Publikasi kegiatan dikemas dalam bentuk materi edukasi mitigasi bencana yang diunggah secara berkala ke media sosial Instagram, TikTok, dan YouTube dengan gaya

penyampaian visual yang komunikatif. Kemitraan strategis dengan jurnalis media massa daring nasional turut dijalin guna memublikasikan dampak pemberdayaan komunitas desa pascabencana ke tingkat nasional. Selain itu, seluruh dokumentasi proses rekayasa sosial dan teknologi dirangkum dalam video dokumenter berdurasi penuh yang dipublikasikan secara terbuka pada kanal YouTube resmi lembaga sebagai referensi percontohan replikasi bagi wilayah rawan bencana lainnya.

4 | HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Program pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan selama 65 hari kerja efektif, mulai 31 Januari hingga 3 April 2026, di Gampong Lhok Sandeng, Kecamatan Meurah Dua, Kabupaten Pidie Jaya. Pelaksanaan program diawali dengan pemberangkatan 58 mahasiswa dan dua dosen pembimbing lapangan dari kampus STMIK Indonesia Banda Aceh pada 31 Januari 2026. Perjalanan darat memakan waktu sekitar tiga jam melalui jalur lintas Pidie Jaya yang sebagian ruasnya masih dalam tahap perbaikan pascabanjir bandang November–Desember 2025. Setibanya di lokasi, tim disambut secara resmi oleh Keuchik Mursalin beserta jajaran aparaturnya dan tokoh masyarakat di meunasah gampong sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Pertemuan tersebut difokuskan untuk menyelaraskan jadwal kerja lapangan dan memverifikasi kesiapan lokasi posko pengabdian.



Gambar 3. Penerimaan Tim Pengabdian dan Rembuk Warga

(Sumber: Dokumentasi Tim, 2026)

Proses mobilisasi material dan komponen teknis dari Banda Aceh dan Sigli menghadapi kendala kondisi jalan yang belum sepenuhnya pulih pascabencana. Hambatan logistik tersebut diperberat oleh ketiadaan sinyal telekomunikasi seluler di kawasan pemukiman warga. Untuk menjaga kelancaran koordinasi pengiriman bahan, pelaporan berkala ke LPPM, serta konsultasi teknis jarak jauh, tim menyiasatinya dengan memanfaatkan satu titik jaringan nirkabel (*WiFi*) di warung kopi perbatasan desa pada jam yang dijadwalkan, sementara perakitan modul diprioritaskan secara luring (*offline*). Dua unit sistem *Early Warning System* (EWS) berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dipasang di dua titik rawan luapan bantaran Krueng Lhok Sandeng pada hari ke-18 pelaksanaan. Setiap instrumen dilengkapi sensor ultrasonik pengukur elevasi muka air, modul pemrosesan data nirkabel, lampu indikator tiga warna, sirine peringatan dini, dan panel fotovoltik surya mandiri. Ambang batas (*threshold level*) peringatan ditetapkan bersama warga berdasarkan pengalaman banjir historis, yaitu status Normal (< 80 cm), Waspada (80–120 cm), dan Bahaya (> 120 cm). Sepanjang masa pemantauan, sistem mencatatkan tingkat keandalan operasional (*uptime*) sebesar 98,6%, melampaui target awal sebesar 95%. Dokumentasi perakitan instrumen EWS dan tiang lampu surya ditampilkan pada Gambar 4.



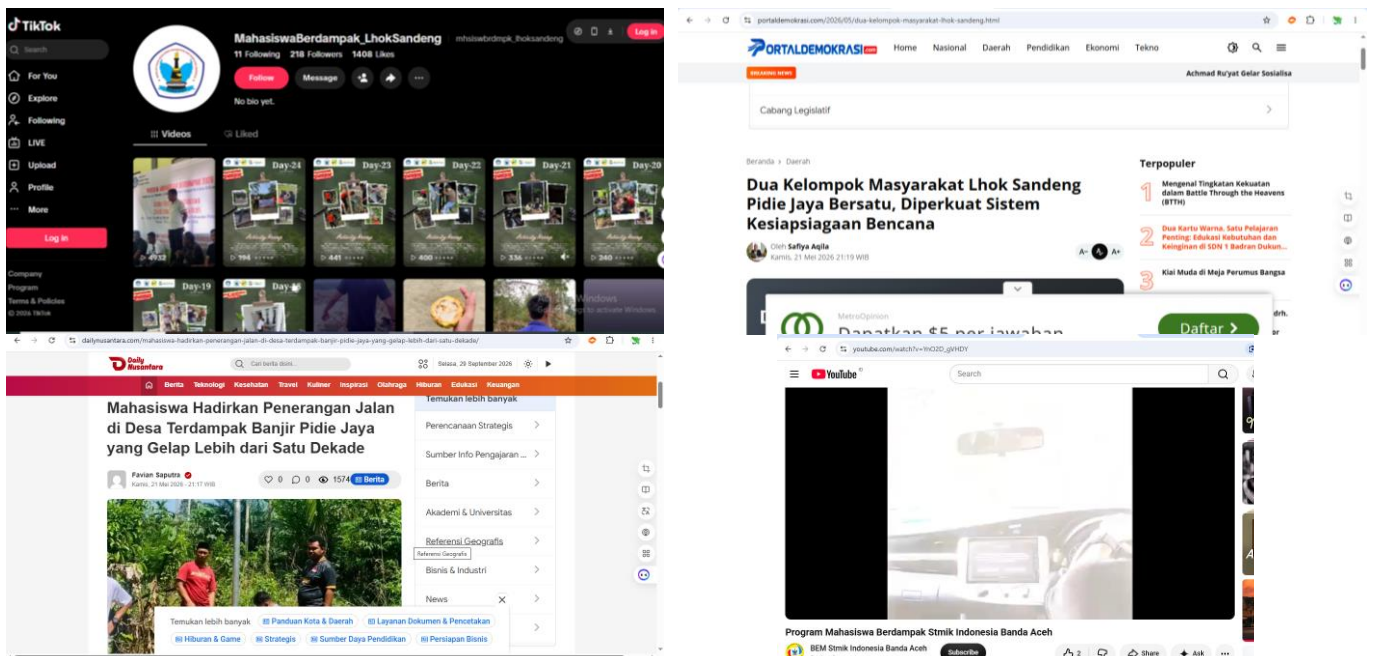
Gambar 4. Instalasi Lampu Jalan Solar Cell dan EWS
(Sumber: Dokumentasi Tim, 2026)

Penyediaan pencahayaan umum mandiri diwujudkan melalui pemasangan 30 unit lampu jalan bertenaga surya (*solar cell*) di sepanjang 3,5 km jalan desa dalam kurun waktu enam hari kerja. Proses pendirian tiang dan perakitan rangka melibatkan 34 warga desa yang bergotong royong secara sukarela. Seluruh lampu menyala optimal sejak malam pertama pengujian. Tim pengabdian juga menyalurkan 15 unit lampu darurat portabel bertenaga surya untuk 10 rumah tangga terdampak parah dan dipasang di sepanjang 1,2 km rute evakuasi resmi gampong dengan kapasitas pencahayaan 8 hingga 10 jam per malam. Guna merehabilitasi 5 hektar lahan pertanian produktif yang tertimbun endapan sedimen lumpur setebal 1 hingga 2 meter, satu unit pompa air irigasi diserahkan kepada Kelompok Tani Lhok Sandeng Jaya. Penguatan kelembagaan lokal diwujudkan melalui pembentukan Tim Siaga Bencana (10 orang) dan *Tim Maintenance Desa* (15 orang) yang disahkan secara hukum melalui Surat Keputusan Keuchik. Kedua tim dibekali modul panduan teknis 24 halaman yang sedang dalam proses pendaftaran Hak Cipta ke DJKI melalui LPPM STMIK Indonesia Banda Aceh, video pelatihan 18 menit, dua set peralatan perawatan mandiri (*toolkit*), serta dua unit perlengkapan SAR. Peningkatan kesiapsiagaan dievaluasi melalui simulasi evakuasi mandiri skala penuh yang melibatkan 153 jiwa warga gampong pada kondisi malam hari. Waktu evakuasi tercatat mencapai 23 menit, atau terpankas sebesar 48,9% dari kondisi awal (*baseline*) sebelum program yang mencapai 45 menit. Dampak sosial-ekonomi yang terukur dalam empat minggu pertama pascapemasangan meliputi kenaikan omzet pedagang rata-rata 24% seiring perpanjangan jam operasional warung dari 8 menjadi 14 jam per hari, nihilnya laporan pencurian hasil bumi, serta tersedianya fasilitas penerangan yang layak bagi 23 anak sekolah pada malam hari. Pelaksanaan pelatihan, simulasi evakuasi, dan serah terima aset teknologi disajikan pada Gambar 5. Akumulasi seluruh kegiatan membukukan 11.504 Jam Kerja Efektif Mahasiswa (JKEM) dari 58 mahasiswa yang direkognisi setara 20 SKS penuh per mahasiswa.



Gambar 5. Pelatihan Kader, Simulasi Evakuasi, dan Serah Terima Aset
 (Sumber: Dokumentasi Tim, 2026)

Kronologi dan capaian kegiatan didokumentasikan secara harian melalui akun media sosial TikTok resmi @mhsiswbrdmpk_lhoksandeng yang menghasilkan 53 konten video pendek dengan total akumulasi 19.947 suka (*likes*) dan 221 pengikut (*followers*), dengan tingkat interaksi (*engagement*) tertinggi pada video pemasangan tiang lampu jalan sebesar 2.690 suka. Video dokumenter komprehensif berdurasi 3 menit 12 detik diunggah ke kanal YouTube BEM STMIK Indonesia Banda Aceh sebagai arsip publik. Pelaksanaan program juga memperoleh peliputan luas dari berbagai media massa daring nasional, sebagaimana dirangkum pada Gambar 6. Habanusantara.net merilis berita utama berjudul *"STMIK Indonesia Turunkan 50 Mahasiswa ke Pidie Jaya, Pasang Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis IoT"* pada 2 Februari 2026. Liputan dilanjutkan oleh Gampong News (8 Mei 2026) berjudul *"Mahasiswa STMIK Indonesia Hadirkan Lampu Tenaga Surya di Gampong Terpencil Pidie Jaya"*, Portal Demokrasi dan Kampushub.com (21 Mei 2026) berjudul *"Dua Kelompok Masyarakat Lhok Sandeng Pidie Jaya Bersatu, Diperkuat Sistem Kesiapsiagaan Bencana"*, serta Daily Nusantara (21 Mei 2026) dengan judul *"Mahasiswa Hadirkan Penerangan Jalan di Desa Terdampak Banjir Pidie Jaya yang Gelap Lebih dari Satu Dekade"*.



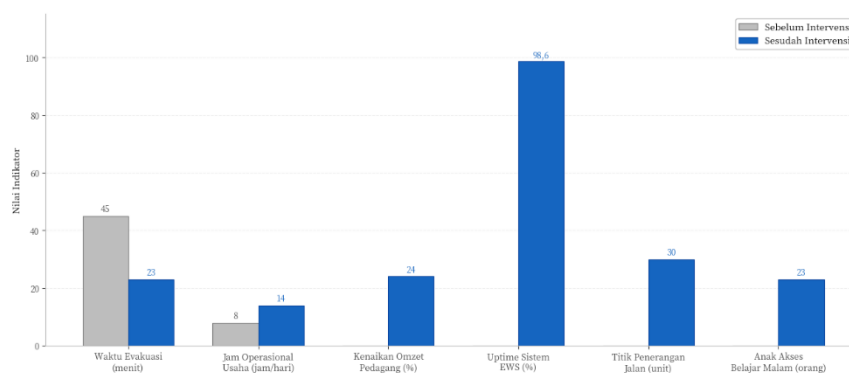
Gambar 6. Publikasi Media Massa dan Kanal Digital
 (Sumber: Habanusantara.net; TikTok @mhsiswbrdmpk_lhoksandeng; YouTube BEM STMIK Indonesia Banda Aceh, 2026)

4.2 Pembahasan

Penurunan waktu evakuasi dari 45 menit menjadi 23 menit membuktikan bahwa penguatan mitigasi bencana pada tingkat komunitas membutuhkan integrasi simultan antara sistem deteksi otomatis, kejelasan visual rute penyelamatan di malam hari, dan pemahaman kolektif warga terhadap tata cara penyelamatan darurat. Pendekatan terpadu ini jauh lebih efektif dibandingkan intervensi parsial yang hanya berfokus pada pengadaan perangkat keras (Amin & Burhan, 2025; Waluyo & Putra, 2024). Nilai keandalan (*uptime*) EWS sebesar 98,6% mengonfirmasi bahwa pasokan fotovoltik tenaga surya mampu menjadi sumber daya mandiri yang sangat andal untuk mengatasi kerentanan pemadaman jaringan listrik PLN di daerah terisolasi (Chandra *et al.*, 2025; Waluyo & Putra, 2024). Di sektor ekonomi, kenaikan omzet usaha kecil sebesar 24% dalam kurun waktu tiga minggu membuktikan bahwa ketiadaan penerangan umum selama bertahun-tahun telah menjadi faktor pembatas struktural bagi produktivitas warga pascabencana (Jamin & Risfaisal, 2021). Penerangan jalan terbukti memperpanjang jam transaksi usaha warga sekaligus memberikan efek disinsentif terhadap potensi tindak kriminalitas pencurian hasil panen (Perdana & Hamid, 2025). Selain dampak finansial langsung, penyediaan lampu darurat bagi 10 rumah tangga memberikan manfaat penting bagi pemenuhan hak belajar 23 anak usia sekolah pada malam hari.

Ditinjau dari aspek tantangan lapangan, pelaksanaan program menghadapi hambatan biofisik dan sosial. Letak geografis gampong yang berbatasan langsung dengan kawasan tutupan hutan lebat menghadirkan risiko perjumpaan dengan satwa liar di sempadan Krueng Lhok Sandeng selama proses perakitan sensor EWS, yang diantisipasi melalui pengaturan jadwal kerja kelompok berbasis zonasi keselamatan. Sementara itu, dinamika sosial yang muncul dipicu oleh ketegangan warga akibat persepsi ketimpangan penyaluran bantuan masa tanggap darurat dari pihak eksternal sebelum program mahasiswa dimulai. Mengatasi resistensi tersebut, tim pengabdian mengalihkan pola komunikasi dari pertemuan formal berskala besar ke pendekatan personal dari pintu ke pintu (*door-to-door*), pertemuan di saung ladang, serta rembuk santai di meunasah pascasalat Magrib. Strategi persuasif ini terbukti efektif mencairkan ketegangan sosial dan menumbuhkan partisipasi sukarela warga (Hijri *et al.*, 2020; Perdana & Hamid, 2025).

Keterlibatan langsung 34 warga dewasa dalam pekerjaan fisik instalasi menjadi wujud nyata keberhasilan metode *Participatory Action Research* (PAR). Partisipasi aktif tersebut mentransformasikan persepsi warga dari posisi penerima pasif menjadi pemilik aset gampong yang sah. Rasa tanggung jawab ini tercermin dari kesiapan *Tim Maintenance Desa* dalam merawat perangkat secara berkala tanpa bergantung pada pihak luar (Hijri *et al.*, 2020). Selain aspek kemandirian teknis, kelayakan program didukung oleh proyeksi nilai ekonomi desa yang mencapai Rp 64,4 hingga Rp 70,4 juta pada tahun pertama, yang diperoleh dari efisiensi belanja energi, pencegahan kerusakan gabah, serta peningkatan omzet pedagang lokal (Wali *et al.*, 2026; Werdana & Damaiyanti, 2024). Kombinasi antara kesiapan teknis kader lokal, legitimasi Surat Keputusan Keuchik, panduan operasional standar, dan dampak ekonomi yang terukur menjadikan skema pengabdian ini memiliki model keberlanjutan struktural yang siap direplikasi di wilayah rawan bencana lainnya (Chandra *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2023). Rekapitulasi perbandingan kondisi indikator utama sebelum dan sesudah program diuraikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan indikator capaian sebelum dan sesudah intervensi
(Sumber: Data Primer Tim Pelaksana, 2026).

5 | KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Program Mahasiswa Berdampak STMIK Indonesia Banda Aceh di Gampong Lhok Sandeng, Kabupaten Pidie Jaya berhasil diselesaikan selama 65 hari kerja efektif dengan seluruh indikator target tercapai dan terlampaui. Lima luaran teknologi tepat guna telah diserahkan dan berfungsi secara optimal: dua unit EWS berbasis IoT dengan tingkat keandalan (*uptime*) 98,6%, 30 unit lampu penerangan jalan umum bertenaga surya sepanjang 3,5 km, 15 unit lampu darurat portabel di rute evakuasi 1,2 km serta rumah tangga terdampak parah, satu unit pompa air irigasi rehabilitasi

lahan pertanian, serta modul pelatihan teknis dan paket peralatan perbaikan mandiri (*toolkit*) bagi *Tim Maintenance Desa*. Implementasi teknologi ini berhasil memangkas durasi evakuasi banjir dari 45 menit menjadi 23 menit (penurunan sebesar 48,9%) yang meningkatkan keselamatan 153 jiwa warga. Pada sektor ekonomi dan sosial, pendapatan pedagang lokal meningkat rata-rata 24% dalam tiga minggu pascainstansi, laporan pencurian hasil bumi tercatat nihil, serta 23 anak sekolah memperoleh fasilitas penerangan belajar di malam hari. Seluruh aktivitas ini merealisasikan 11.504 Jam Kerja Efektif Mahasiswa (JKEM) dari 58 mahasiswa yang direkognisi setara 20 SKS penuh. Program ini membuktikan bahwa rekayasa teknologi tepat guna berbasis partisipasi masyarakat melalui pendekatan *Participatory Action Research* dan legalitas kelembagaan gampong yang kuat mampu mentransformasikan desa terdampak banjir menjadi desa yang tangguh secara mandiri dalam waktu kurang dari tiga bulan.

Berdasarkan pengalaman lapangan tersebut, sejumlah rekomendasi dirumuskan bagi para pemangku kepentingan. Bagi Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi selaku pengampu program, skema pemberdayaan ini direkomendasikan sebagai model percontohan nasional untuk direplikasi di wilayah rawan bencana lainnya, disertai alokasi pendanaan pendampingan lanjutan minimal satu tahun guna menjamin kemandirian operasional tim desa. Bagi STMIK Indonesia Banda Aceh, perlu dikembangkan kurikulum terintegrasi yang memadukan keahlian komputasi dengan kecakapan sosial kemanusiaan berbasis pembelajaran lapangan secara terstruktur. Bagi Pemerintah Gampong Lhok Sandeng, keberlanjutan instrumen perlu didukung melalui pengalokasian anggaran pemeliharaan rutin dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Gampong (APBDes), disertai penyegaran simulasi SOP evakuasi secara berkala bagi warga. Bagi pelaksana program pengabdian di masa depan, pendekatan kultural yang fleksibel dan kesediaan mendengar aspirasi warga merupakan fondasi utama keberhasilan alih teknologi di tingkat perdesaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemdiktisaintek) atas dukungan pendanaan melalui skema Program Mahasiswa Berdampak tahun 2026. Terima kasih kepada Ketua STMIK Indonesia Banda Aceh beserta LPPM atas dukungan kelembagaan dan pendampingan selama program berlangsung. Apresiasi yang tulus disampaikan kepada Keuchik Mursalin beserta perangkat dan seluruh warga Gampong Lhok Sandeng atas kepercayaan dan partisipasi aktif yang menjadi kekuatan sesungguhnya dari program ini. Penghargaan setinggi-tingginya kepada 58 mahasiswa dari Program Studi Sistem Komputer, Sistem Informasi, dan Manajemen Informatika yang telah bekerja dengan dedikasi dan kepedulian selama 65 hari di lapangan.

REFERENSI

- Abdullah, R., Sutradhar, Y., Siddique, M. M., Chowdhury, F., Khan, M. T. R., Adnan, M. N., & Galib, S. M. (2026). Design and implementation of a LoRa-based flood monitoring system for real-time disaster management and early warning. *Procedia Computer Science*, 283, 3397–3406. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.06.403>
- Amin, M., & Burhan, L. I. (2025). Integrasi sensor *low-cost*, aplikasi *mobile*, dan mekanisme respons komunitas: Model *early warning system* untuk desa berliterasi teknologi rendah. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Inovasi Teknologi Tepat Guna*, 1(4), 30–43. <https://doi.org/10.63982/dharmabakti.y5vf934>
- Aprianti, E., Hamzah, S., Cahyadi, M. N., Kusumawardani, D., Widjajanti, N., & Apdin, S. C. F. (2025). The systematic disaster management approach to assessing early warning systems in South Sulawesi: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(4), 24305–24310.
- Chandra, D., Satria, E., Pratoto, A., Ismail, F. A., Fauzan, F., Hakam, A., Putra, R. A., Saputra, R., & Hidayat, T. (2025). Penyediaan energi listrik darurat dan penanganan krisis air bersih untuk masyarakat terdampak banjir bandang di Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, 8(2), 198–206. <https://doi.org/10.25077/jhi.v8i2.851>
- Choosumrong, S., Piyathamrongchai, K., Hataitara, R., Soteyome, U., Konkong, N., Chalongsuppanyoo, R., & Nemoto, T. (2025). Development of an IoT-based flood monitoring system integrated with GIS for lowland agricultural areas. *Sensors*, 25(17), 5477. <https://doi.org/10.3390/s25175477>
- Geetha, K., & Deepika, J. (2025). AI-driven environmental alert and risk communication system for rural communities. *Journal of Intelligent Assistive Communication Technologies*, 82–88.

- Hijri, Y. S., Kurniawan, W., & Hilman, Y. A. (2020). Praktik penyusunan peraturan desa (Perdes) sebagai penguatan desa tangguh bencana di Kabupaten Malang. *Amalee: Indonesian Journal of Community Research and Engagement*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.37680/amalee.v1i01.131>
- Hlal, M., Baraka Munyaka, J. C., Chenal, J., Azmi, R., Diop, E. B., Bounabi, M., & Adraoui, M. (2025). Digital twin technology for urban flood risk management: A systematic review of remote sensing applications and early warning systems. *Remote Sensing*, 17(17), 3104. <https://doi.org/10.3390/rs17173104>
- Jamin, N. H., & Risfaisal, R. (2021). Perubahan sosial ekonomi masyarakat petani pasca banjir bandang di Desa Meli Kecamatan Baebunta Kabupaten Luwu Utara. *Aksiologi: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sosial*, 2(1), 32–39.
- Kamali, M. A., Utami, C. T., Ma'ady, M. N. P., & Amifia, L. K. (2023). IoT-based flood early warning system for remote deployment and an integrated social media. *Proceedings of the 2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 215–219. <https://doi.org/10.1109/AGERS61027.2023.10490838>
- Megawati, T. F., Labib, M. F., Jaima, Z. T., Islam, M. D. A., & Jubair, H. (2025). *Design and implementation of a solar-powered IoT flood detection system with dual online-offline connectivity and a two-tier alert mechanism using LoRa communication*. Authorea Preprints. <https://doi.org/10.22541/au.176159241.10729642/v1>
- Perdana, T. S., & Hamid, I. (2025). Pendekatan pemberdayaan masyarakat yang terabaikan: Kelemahan strategi mitigasi bencana BPBD Kabupaten Hulu Sungai Tengah. *Huma: Jurnal Sosiologi*, 4(2), 118–130. <https://doi.org/10.20527/h-js.v4i2.499>
- Pereyra, S., & Mayr, C. (2025). FloodGuardian: A LoRa-based early flood warning system for river basins. *Proceedings of the 2025 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 116–123. <https://doi.org/10.1109/GHTC66843.2025.11266348>
- Rahman, A. N., Viani, F. O., & Sitanggang, N. (2023). Implementasi program *Sustainable Development Goals* (SDGs) dalam upaya penanganan perubahan iklim di Provinsi Kepulauan Riau. *Aufklarung: Jurnal Pendidikan, Sosial dan Humaniora*, 3(3), 341–350.
- 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.
- Wali, M., Iqbal, T., Salam, A., & Syafrinal, S. (2026). Designing a solar-powered IoT-based flood early warning system prototype with audio-visual alarm for Aceh region. *Design Journal*, 4(1), 18–40. <https://doi.org/10.58477/dj.v4i1.386>
- Werdana, A. R., & Damaiyanti, V. P. (2024). *Livelihood strategy* masyarakat pasca banjir di Desa Bincau Muara Kecamatan Kabupaten Banjar. *Huma: Jurnal Sosiologi*, 3(1), 110–119. <https://doi.org/10.20527/h-js.v3i1.84>
- 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>

How to cite this article: Wali, M., Salam, A., Mahara, R., Yusa, A. A., Qurbani, F. I., Sani, N., Salamudin, S., Andriani, S., Safrina, I., Mandala, A. T. P., & Bohate, H. (2026). Penguatan Ketangguhan Desa Pasca Bencana melalui Implementasi Early Warning System Berbasis IoT dan Sistem Pencahayaan Energi Surya di Gampong Lhok Sandeng, Pidie Jaya. *AJAD : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(2), 514–524. <https://doi.org/10.59431/ajad.v6i2.914>.