

Implementasi *Early Warning System* Amblesan untuk Peringatan Keselamatan Sumber Air Goa Pulejajar, Gunungkidul

Sri Mulyaningsih^{1)*}, Septian Vienastra²⁾, Nur Rahmawati³⁾, dan Iva Mindhayani⁴⁾

^{1,2,3)} Universitas AKPRIND Indonesia

⁴⁾ Universitas Widya Mataram Yogyakarta

^{1,2,3)} Jl. Kalisahak No. 28 Komplek Balapan Yogyakarta, Indonesia

⁴⁾ Jl. Tata Bumi Selatan, RT.06/RW.08, Area Sawah, Banyuraden, Kapanewon Gamping, Kabupaten Sleman, DI Yogyakarta, Indonesia

Email: sri_m@akprind.ac.id

ABSTRAK

Kalurahan Jepitu adalah bagian dari Karst Gunung Sewu yang berisiko amblesan sinkhole; yang dapat mengancam keselamatan sumber air bersih di Goa Pulejajar. Tujuan pengabdian kepada masyarakat adalah untuk mengimplementasikan teknologi tepat guna sistem peringatan dini amblesan terhadap sumber air bersih Goa Pulejajar. Metode yang digunakan adalah pendekatan partisipatif, mencakup sosialisasi, pelatihan, dan pendampingan intensif kepada Mitra Pokdarwis Idaman. Sistem ini mengintegrasikan sensor tekanan dan kelembaban batuan, unit mikrokontroler berbasis Internet of Things (IoT), dan pelat pengaman modular sebagai proteksi fisik. Kegiatan ini berhasil menginstalasi dan mengoperasionalisasi sistem peringatan dini, ditandai dengan peningkatan kapasitas Pokdarwis dalam melakukan pengawasan, pembacaan data, dan pemeliharaan alat. Di dalamnya telah terbentuk protokol peringatan dini di tingkat lokal dengan memberdayakan masyarakat. Implementasi teknologi tepat guna yang partisipatif terbukti layak secara teknis, efektif dalam membangun kesiapsiagaan masyarakat dan meningkatkan keamanan sumber air bersih Goa Pulejajar. Keberhasilan ini menjadi model mitigasi potensial untuk direplikasi di kawasan karst lainnya. Sistem ini merupakan inovasi baru berbasis sensor tekanan dan kelembaban dengan panel surya yang menunjukkan peningkatan efektivitas respon alat hingga 87% dibandingkan uji awal, menjadi model mitigasi potensial untuk direplikasi di kawasan karst lainnya.

Kata kunci: amblesan, karst, keberlanjutan, pemberdayaan, dan peringatan dini

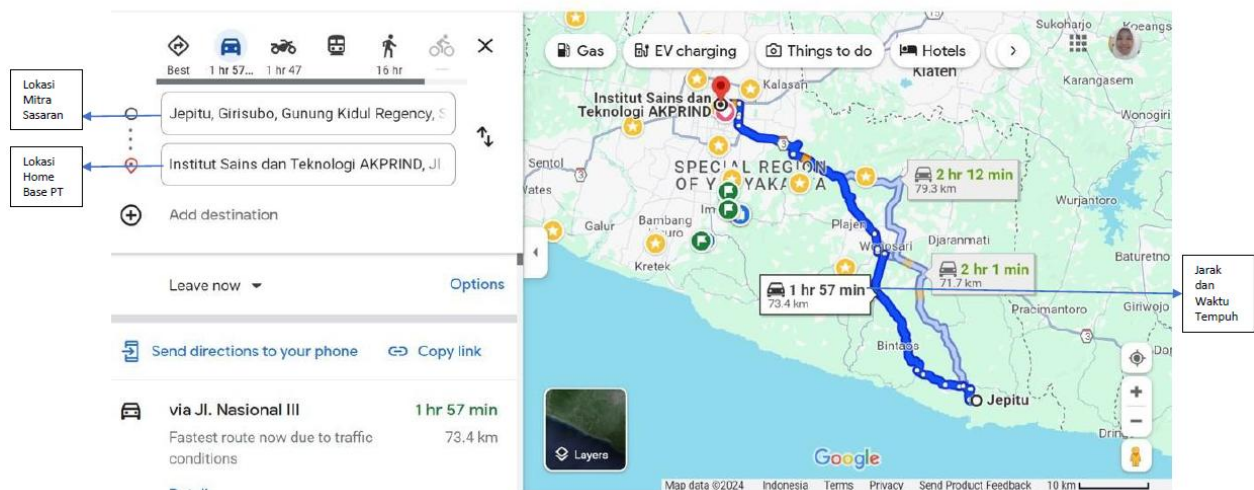
ABSTRACT

Jepitu Village is situated within the Gunung Sewu Karst, which is prone to sinkhole subsidence, posing a continuous threat to the safety of clean water at Pulejajar Cave. This community service aims to implement appropriate technology for a subsidence early warning system for the Pulejajar Reservoir. The methodology employed a participatory approach encompassing socialization, training, and intensive mentoring for Pokdarwis Idaman. The system integrates pressure and rock moisture sensors, Internet of Things (IoT)-based microcontroller units, and modular protective plates for physical safety. The program was successfully installed and operationalized, demonstrated by enhanced Pokdarwis' capacity in monitoring, data interpretation, and equipment maintenance. A local-level early warning protocol has been established through community empowerment. The participatory technological implementation proved technically viable, effective in building community preparedness, and successful in securing the Pulejajar Reservoir. This achievement serves as a potential mitigation model for replication across other karst regions. This system represents a new innovation based on pressure and humidity sensors powered by solar panels, demonstrating an 87% increase in response effectiveness compared to the initial test and serving as a potential mitigation model to be replicated in other karst areas.

Keywords: sinkhole, karst, sustainability, empowerment, and early warning system.

1. Pendahuluan

Karst Gunung Sewu, membentang di tiga provinsi di Pulau Jawa, yaitu Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Tengah, dan Jawa Timur, diakui sebagai bagian dari Jaringan Gunung Sewu UNESCO Global Geopark (Parno, 2018). Di balik status itu, kawasan ini menyimpan potensi bencana amblesan karst (*sinkhole*) (Adji dkk., 2017; RODHI dkk., 2016). Hal itu terkait dengan karakteristik batugamping yang menyusunnya, yang mudah larut oleh air, membentuk rongga karst, seperti goa dan sungai bawah tanah yang kompleks (Tjia, 2013). Proses pelarutan tersebut berlangsung selama ribuan hingga jutaan tahun, membentuk rongga-rongga bawah permukaan (Haryono dkk., 2022; Riyanto dkk., 2020; Suherningtyas dkk., 2024) yang pada akhirnya runtuh secara tiba-tiba, menimbulkan berbagai kerusakan infrastruktur vital di sekitarnya, seperti sumber air bersih. Frekuensi amblesan karst di Gunungkidul, dikategorikan tinggi (Gemintang dkk., 2022; Mulyaningsih, Rahmawati, Rahayu, dkk., 2024) (Gambar 2) yang menuntut perhatian serius dalam upaya mitigasi bencana. Goa Pulejajar terletak di Kalurahan Jepitu (Gambar 1), adalah salah satu sumber air bersih vital dengan debit yang sangat besar (Reinhart & Rifani, 2021) di Kapanewon Girisubo, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Goa ini berada tepat di jantung karst Gunung Sewu dengan zona risiko tinggi amblesan (Pemkal Jepitu Kapanewon Girisubo Kab. Gunungkidul, 2024). Kegiatan ini diharapkan dapat menghadirkan kontribusi baru dalam langkah mitigasi bencana di lahan karst yang menggabungkan sistem proteksi fisik bersensor IoT, berbasis tekanan dan kelembaban, dengan peran aktif masyarakat lokal, membentuk model mitigasi terpadu berskala nasional pada kawasan karst.



Gambar 1. Lokasi Pengabdian kepada Masyarakat di Goa Pulejajar, Kalurahan Jepitu, Kapanewon Girisubo; berjarak 23,4 KM yang dapat ditempuh dalam waktu kurang lebih 2 jam dari kota Yogyakarta

Mobilisasi *truck* tangki air yang tinggi, berpotensi menambah beban di permukaan yang dapat mempercepat laju degradasi daya dukung lahan, dan memicu keruntuhan. Sistem peringatan dini yang terpasang di lokasi tersebut, yang dapat memberikan peringatan dini terkait gejala-gejala awal amblesan belum mencukupi. Ketidacukupan sistem deteksi dini menciptakan kerentanan yang tinggi, tidak hanya bagi keselamatan sumber air, juga terhadap masyarakat dan keberlanjutan ekonomi lokal.

Menyadari adanya kesenjangan antara potensi bencana dan kapasitas mitigasi di tingkat lokal, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dirancang untuk menjawab kebutuhan mendesak dari masyarakat khususnya mitra Kelompok Sadar Wisata (Pokdarwis) Idaman. Pokdarwis Idaman memiliki peran strategis, namun menghadapi keterbatasan pengetahuan teknis dan akses teknologi dalam memantau risiko bencana geologi. Yaitu kebutuhan solusi yang tidak hanya efektif secara

teknis, tetapi juga sederhana, terjangkau, dan dapat dioperasikan secara mandiri. Program ini bertujuan untuk mengimplementasikan sebuah sistem peringatan dini amblesan di lahan geomorfologi karst, untuk meningkatkan kewaspadaan akan keselamatan Sumber Air (Reservoir) Goa Pulejajar. Secara spesifik, program ini memiliki tiga tujuan turunan, yaitu (1) merancang dan mengimplementasikan sistem peringatan dini amblesan yang mengintegrasikan sensor pemantau kondisi bawah permukaan dengan mekanisme proteksi fisik di permukaan; (2) meningkatkan pengetahuan dan keterampilan teknis Mitra dalam mengoperasikan, memelihara, dan merespons sistem peringatan dini; dan (3) membangun sebuah model percontohan mitigasi bencana amblesan berbasis masyarakat yang dapat direplikasi di lokasi lain. Jadi, selain solusi teknologi, program ini juga berinvestasi dalam pemberdayaan dan kemandirian masyarakat lokal dalam menghadapi risiko bencana.



Gambar 2. Jejak kejadian amblesan (sinkhole) di wilayah Kalurahan Jepitu

2. Tinjauan Pustaka

Amblesan karst atau sinkhole adalah fenomena geologi yang umum terjadi pada batugamping yang mudah larut (Adji dkk., 2019). Proses utamanya adalah pelarutan kimia oleh air: air hujan yang bersifat sedikit asam (karena menyerap CO₂ dari atmosfer dan tanah) meresap ke dalam tanah / batuan dan masuk melalui celah atau retakan batuan. Air ini secara perlahan melarutkan batuan karbonat, menciptakan rongga-rongga di bawah permukaan. Seiring waktu, rongga ini membesar, dan ketika lapisan tanah atau batuan di atasnya tidak lagi mampu menahan beban, terjadilah keruntuhan atau amblesan yang membentuk lubang di permukaan. Hal itu sebagaimana dijelaskan oleh (Tjia, 2013).

Meskipun proses pelarutan terjadi secara alami, amblesan sering kali dipicu atau dipercepat oleh beberapa faktor (De Waele & Gutiérrez, 2022), yaitu (1) Peningkatan volume air tanah secara drastis oleh air hujan dapat mengikis material penutup rongga dan menambah beban, memicu keruntuhan; (2) Penurunan muka air tanah (misalnya akibat pemompaan berlebih atau musim kemarau panjang) dapat menghilangkan daya dukung hidrostatik yang sebelumnya menopang atap rongga; (3) Getaran dari lalu lintas, konstruksi, dan kebocoran pipa infrastruktur bawah tanah dapat mengganggu kestabilan tanah dan memicu amblesan. Fenomena ini menjadi ancaman serius di kawasan seperti Gunung Sewu, yang memang dikenal sebagai bentang alam karst.

Sistem Peringatan Dini (Early Warning System - EWS) adalah rangkaian sistem terintegrasi untuk memantau, memprediksi, dan menyebarkan peringatan mengenai potensi bencana, sehingga memungkinkan tindakan evakuasi dan mitigasi untuk mengurangi risiko (Kurnia dkk., 2025; Pamungkas dkk., 2022; Rahmawati, 2025; Yunus dkk., 2024a). Perkembangan Internet of Things (IoT) telah merevolusi EWS dengan memungkinkan pemantauan lingkungan secara luas dan real-time dengan biaya yang lebih rendah (Fahmi, 2019). EWS berbasis IoT, terdiri atas (Fahmi, 2019; Sujadi dkk., 2020):

- 1) Jaringan Sensor: Berbagai jenis sensor (geoteknik, hidrologi, seismik) dipasang di lokasi rawan bencana untuk mengumpulkan data parameter fisik secara terus-menerus.
- 2) Transmisi Data: Data dari sensor dikirimkan secara nirkabel (misalnya melalui sinyal seluler seperti 5G atau teknologi lain) ke pusat data atau *cloud*.
- 3) Analisis Data: Data yang terkumpul dianalisis secara otomatis untuk mendeteksi anomali atau pola yang mengindikasikan bahaya.
- 4) Diseminasi Peringatan: Jika ambang batas bahaya terlampaui, sistem akan secara otomatis menyebarkan peringatan kepada pihak berwenang dan masyarakat melalui berbagai saluran (sirine, SMS, aplikasi seluler).

Teknologi ini mentransformasi dari manajemen bencana yang reaktif menjadi prediktif dan preventif (Sujadi dkk., 2020). Deteksi Preventif tersebut dilakukan dengan mengkombinasikan sensor kelembaban batuan (*soil/rock moisture*) dan sensor tekanan (*pressure sensor*), sistem ini dapat mendeteksi perubahan kondisi geoteknik sebelum keruntuhan terjadi. Peningkatan kelembaban dapat mengindikasikan infiltrasi air yang agresif, sementara penurunan tekanan tanah dapat menandakan hilangnya material pendukung di bawahnya (awal terbentuknya rongga). Penggunaan sensor kelembaban saja, seperti pada sistem lama, bersifat ambigu karena bisa mendeteksi setelah amblesan terjadi. Namun, dengan memadukannya dengan sensor tekanan, Anda dapat mendeteksi penurunan daya dukung batuan yang merupakan indikator kunci dari potensi amblesan. Ini adalah pendekatan yang lebih holistik untuk memantau prekursor (gejala awal) amblesan. Penambahan pelat pengaman modular adalah sebuah inovasi krusial yang tidak ada pada paten pembanding. Fitur ini memberikan dua fungsi, yaitu preventif untuk mengurangi dampak langsung dari amblesan kecil dan protektif dengan memberikan waktu tambahan yang sangat berharga saat peringatan dini aktif, dengan menahan sebagian material runtuh dan melindungi infrastruktur vital (seperti reservoir) dari kerusakan total. Deteksi dini *subsidence* dan sistem peringatan dini penurunan tanah (*subsidence*) sebelumnya adalah didasarkan pada *Global Position System* (GPS) and *hydrostatic leveling* (Yeh dkk., 2025) untuk akurasi pengukuran laju *subsidence* secara *real-time*, namun tidak spesifik memberikan perlindungan fisik. Alat deteksi dini amblesan yang lain berfungsi memantau ketinggian muka air pada lubang amblesan (*collapse pit*) secara mekanis tanpa perlu mendekat ke lokasi yang berisiko tinggi (FAN dkk., 2025), pun juga tidak bersifat preventif, alat bekerja saat amblesan telah terjadi.

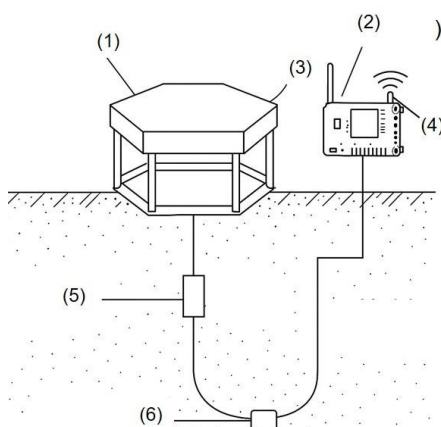
Teknologi EWS ini mendeteksi perubahan geologi sebelum amblesan terjadi, serta sensor dan proteksi fisik berupa pelat pengaman modular terdefinisi bersifat preventif dan protektif, yang dimaksudkan untuk mengatasi permasalahan yang dikemukakan di atas dengan mengkombinasikan pemantauan tekanan dan kelembaban tanah, serta pencegahan dan pengurangan risiko bencana amblesan di permukaan melalui kelengkapan pengaman pelat modular. Keunggulan alat ini dibandingkan dengan alat yang sudah ada adalah alat ini dapat mendeteksi amblesan sebelum amblesan terjadi. Pelat penyangga yang dipasang di atasnya dapat menahan agar amblesan yang akan terjadi kerusakan yang akan ditimbulkan. Alat yang lama menggunakan sensor kelembaban tanah (batuan) sehingga deteksi hanya dapat dilakukan setelah amblesan terjadi, sedangkan alat ini menggunakan sensor kelembaban yang dipadukan dengan sensor penurunan tekanan udara yang dapat mendeteksi penurunan daya dukung batuan yang berpotensi ambles.

3. Metodologi

Pelaksanaan PKM ini didekati dengan *Community-Based Disaster Risk Management* (CBDRM), yang menempatkan masyarakat sebagai aktor utama dalam proses pengelolaan risiko bencana (Yunus dkk., 2024b). Pendekatan ini memastikan bahwa solusi yang dikembangkan tidak hanya relevan dengan konteks lokal, tetapi juga berkelanjutan. Kerangka pemecahan masalah dimulai dari analisis situasi partisipatif untuk memahami persepsi dan kebutuhan masyarakat, dilanjutkan dengan

perancangan solusi teknologi yang adaptif, implementasi di lapangan, transfer pengetahuan melalui pelatihan dan pendampingan, hingga evaluasi bersama untuk mengukur keberhasilan dan merumuskan rencana tindak lanjut (Mulyaningsih, Rahmawati, Suhartono, dkk., 2024). Mitra utama kegiatan adalah anggota Pokdarwis Idaman, yang secara langsung bertanggung jawab atas pengelolaan dan keamanan Goa Pulejajar. Selain itu, program ini juga menyasar khalayak sekunder, termasuk masyarakat sekitar, dan perangkat pemerintah Kalurahan Jepitu, sebagai penerima manfaat dari peningkatan keselamatan.

Pelaksanaan program dibagi ke dalam lima tahapan (Mulyaningsih, Rahmawati, Suhartono, dkk., 2024). (1) Sosialisasi yang telah dilaksanakan pada 5 Juli 2025. Pada tahap ini, tim pelaksana melakukan diskusi mendalam dengan Pemerintah Kalurahan, pengurus dan anggota Pokdarwis untuk memaparkan tujuan program, menyamakan persepsi mengenai risiko bencana, dan secara partisipatif pemetaan lokasi-lokasi yang dianggap paling rawan ambles. Hasil pemetaan ini menjadi dasar penentuan lokasi pemasangan alat. (2) Pelatihan Teknis diselenggarakan pada 25 Agustus 2025; dirancang untuk membekali peserta dengan pengetahuan dan keterampilan dasar mengenai teknologi yang akan diimplementasikan, mencakup pemahaman komponen sistem, prinsip kerja alat (sensor tekanan dan kelembaban), prosedur standar pengamatan visual, serta cara membaca dan menginterpretasikan data sederhana yang ditampilkan oleh sistem. (3) Implementasi TTG yang merupakan inti dari kegiatan berlangsung dari 25 Agustus hingga akhir September 2025. Tim pelaksana bersama-sama dengan anggota Pokdarwis melakukan pemasangan seluruh komponen sistem di lokasi yang telah ditentukan. Proses ini meliputi penggalian lubang untuk penempatan sensor, instalasi panel kontrol yang berisi mikrokontroler dan sistem catu daya, serta perakitan pelat pengaman modular di permukaan tanah. Setelah sistem terpasang, dilakukan serangkaian uji coba untuk memastikan setiap komponen bekerja dengan baik. (4) Pendampingan intensif dilakukan kepada tim kecil yang ditunjuk sebagai penanggung jawab. Pendampingan meliputi cara mengoperasikan, pemeliharaan rutin, dan cara mengatasi permasalahan teknis sederhana. (5) Evaluasi Keberlanjutan, dilaksanakan pada 10 September 2025 melalui Focus Group Discussion (FGD) untuk mengevaluasi secara komprehensif efektivitas program dari sudut pandang mitra, mengidentifikasi kendala yang dihadapi, dan bersama-sama merumuskan strategi untuk memastikan keberlanjutan fungsi sistem dan program dalam jangka panjang.



Gambar 3. Prinsip dan skema instalasi sistem peringatan dini amblesan karst yang diimplementasikan pada Mitra Pokdarwis Idaman di Goa Pulejajar untuk mitigasi keselamatan airtanah Pulejajar.

Teknologi tepat guna yang menjadi substansi utama dalam program ini adalah Sistem Proteksi Amblesan Karst Modular Berbasis Sensor Tekanan (Gambar 3). Sistem ini merupakan sebuah invensi yang menggabungkan dua pendekatan mitigasi, yaitu deteksi dini (aktif) dan proteksi fisik (pasif).

Komponen utama sistem terdiri dari: (1) Sensor, mencakup sensor tekanan tanah (*load cell*) yang ditanam pada kedalaman 0,5 hingga 1 meter untuk memonitor integritas struktural tanah/batuan di bawahnya, serta sensor kelembaban tanah (*soil moisture sensor*) untuk mendeteksi perubahan kadar air yang dapat mengindikasikan adanya pelarutan aktif atau penjenjutan rongga. (2) Unit Pengolah Data, menggunakan mikrokontroler berbasis IoT (seperti ESP32 atau Arduino) yang diprogram untuk mengakuisisi data dari sensor secara real-time dan menganalisisnya berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan. (3) Sistem Peringatan, yang akan aktif jika data sensor melampaui ambang batas, terdiri dari alarm lokal berupa sirine dan lampu rotator untuk peringatan langsung di lokasi, serta sistem notifikasi nirkabel melalui SMS gateway atau aplikasi pesan instan (Telegram) yang mengirimkan pesan peringatan ke gawai penanggung jawab. (4) Proteksi Fisik, berupa pelat pengaman modular berbentuk heksagonal yang terbuat dari material komposit atau logam ringan. Pelat-pelat ini disusun di atas permukaan tanah di area yang dipantau dan didukung oleh rangka penahan, berfungsi untuk mendistribusikan beban dan mencegah orang atau benda jatuh langsung ke dalam lubang jika amblesan terjadi secara tiba-tiba. Prinsip kerja sistem ini adalah memantau secara terus-menerus stabilitas bawah permukaan; setiap penurunan tekanan tanah yang signifikan atau lonjakan kelembaban yang anomali akan diinterpretasikan sebagai indikasi awal dari proses pembentukan rongga atau pelemahan struktur batuan, yang kemudian memicu sistem peringatan untuk memberikan waktu bagi evakuasi dan tindakan pengamanan.

4. Hasil dan Pembahasan

Implementasi Sistem Peringatan Dini Amblesan Karst di Goa Pulejajar menunjukkan hasil yang signifikan baik dari aspek teknis maupun sosial. Berdasarkan hasil survei geologi awal dan pemetaan partisipatif bersama Pokdarwis Idaman (Gambar 4), lokasi pemasangan sistem diputuskan di area celah pintu masuk goa yang merupakan jalur utama yang menunjukkan beberapa indikasi minor ketidakstabilan batuan (Gambar 4). Proses instalasi perangkat keras dilakukan secara kolaboratif. Tim pelaksana dan anggota Pokdarwis bekerja sama dalam penggalian lubang sensor, perakitan panel kontrol, dan pemasangan pelat pengaman modular. Keterlibatan aktif mitra dalam proses instalasi ini tidak hanya mempercepat pekerjaan, tetapi juga menjadi sarana pembelajaran langsung yang sangat efektif. Panel kontrol berisi mikrokontroler, modem GSM (untuk notifikasi), dan sumber daya; ditempatkan dalam kotak pelindung tahan cuaca. Di permukaan, 18 buah pelat pengaman heksagonal dipasang saling mengunci, membentuk area aman seluas kurang lebih 5m². Dalam perangkat lunak, mikrokontroler diprogram menggunakan algoritma sederhana untuk membandingkan data sensor secara *real-time* dengan nilai ambang batas yang ditetapkan berdasarkan kondisi awal media batuan. Uji coba fungsionalitas sistem dilakukan dengan memberikan tekanan berlebih dan mensimulasikan penurunan tekanan pada sensor *load cell*. Hasilnya, sistem merespon secara akurat, *alarm* sirine dan lampu rotator berbunyi dalam hitungan detik setelah anomali terdeteksi, diikuti dengan terkirimnya notifikasi SMS ke nomor *handphone* yang didaftarkan. Keberhasilan uji coba ini memvalidasi sistem dapat berfungsi dan siap dioperasikan. Implementasi sistem peringatan dini amblesan karst di Goa Pulejajar ini telah merepresentasikan penerapan nyata konsep *Community-Based Disaster Risk Management (CBDRM)*. Melalui keterlibatan aktif anggota Pokdarwis Idaman dalam survei geologi, pemetaan partisipatif, serta instalasi dan uji coba alat, masyarakat tidak hanya menjadi penerima manfaat, tetapi juga pelaku utama dalam mitigasi risiko. Integrasi teknologi IoT dengan pendekatan sosial berbasis komunitas ini membentuk sistem mitigasi yang adaptif dan berkelanjutan, sejalan dengan prinsip-prinsip CBDRM yang menekankan kemandirian dan ketangguhan lokal.



Gambar 4. Kegiatan di lapangan dalam rangka pra-instalasi alat peringatan dini sinkhole di sekitar Goa Pulejajar, pada 25 Februari 2025

Peningkatan kapasitas mitra merupakan salah satu capaian terpenting dari program ini. Untuk mengukur efektivitas transfer pengetahuan, dilakukan pre-test dan post-test kepada 10 anggota Pokdarwis yang ditugaskan mengikuti pelatihan. Hasil pre-test menunjukkan skor rata-rata 46 dari 100, yang mengindikasikan pengetahuan awal yang sangat terbatas mengenai konsep dasar geologi karst, prinsip kerja sensor, dan mitigasi bencana; setelah pelatihan dan pendampingan, hasil post-test menunjukkan peningkatan skor rata-rata menjadi 84 (Tabel 1). Peningkatan ini membuktikan efektivitas metode pelatihan yang menggabungkan teori di dalam kelas dengan praktik langsung di lapangan. Lebih dari sekadar peningkatan skor, yang lebih esensial adalah tumbuhnya kepercayaan diri dan kemampuan praktis anggota Pokdarwis. Pasca-pendampingan, mereka mampu secara mandiri melakukan pengecekan rutin harian terhadap sistem, membaca indikator pada panel kontrol, dan memahami arti dari setiap notifikasi yang mungkin diterima. Antusiasme yang tinggi selama seluruh rangkaian kegiatan, mulai dari sosialisasi hingga evaluasi, mencerminkan relevansi program dengan kebutuhan nyata yang mereka rasakan. Kemampuan baru ini menjadi modal dasar bagi keberlanjutan operasional sistem di masa mendatang.

Tabel 1. Peningkatan kapasitas pengetahuan dan keterampilan Mitra terhadap pelatihan dan pendampingan implementasi teknologi tepat guna sistem peringatan dini amblesan karst.

No.	Nama	Alamat	Pre-Test	Post-Test
1.	Yanuri Rahman	Jepitu	60	85
2.	Ayogo Sukarjito	Jepitu	50	80
3.	M. Fatah	Jepitu	60	80
4.	Rahayu Kembarsari	Karanglor	45	75
5.	Sudarto	Jepitu	70	90
6.	Subono	Jepitu	30	80
7.	Sadimin	Pelem	25	85
8.	Yuniyanto	Jepitu	45	80
9.	Heri Purnomo	Jepitu	30	90
10.	Suhendro	Jepitu	45	95
Nilai Rata-rata			46	84

Evaluasi program yang dilaksanakan melalui Focus Group Discussion (FGD) mengungkap persepsi positif dari para penerima manfaat. Seluruh peserta FGD menyatakan bahwa sistem peringatan dini ini memberikan peningkatan kepercayaan diri terhadap kemungkinan terjadinya bencana amblesan karst terhadap fasilitas vital Reservoir airtanah yang mereka miliki. Kemudahan pengoperasian menjadi salah satu keunggulan yang paling sering disebut; sistem dirancang untuk bekerja secara otomatis dan hanya memerlukan pemantauan minimal. Meskipun demikian, beberapa kendala juga teridentifikasi, seperti kekhawatiran mengenai keberlangsungan pasokan listrik dan kebutuhan untuk kalibrasi sensor dalam jangka panjang. Menindaklanjuti hasil evaluasi ini, dirumuskan beberapa rencana tindak lanjut yang konkret. Pokdarwis Idaman sepakat untuk membentuk tim kecil yang secara khusus bertanggung jawab atas pengawasan dan pemeliharaan sistem, dengan jadwal piket yang jelas. Mereka juga berinisiatif untuk mengalokasikan sebagian kecil dari pendapatan pengambilan air bersih di Goa Pulejajar untuk dana pemeliharaan. Dari sisi teknis, tim pelaksana memberikan rekomendasi untuk penambahan panel surya sebagai sumber energi alternatif di masa depan. Lebih jauh lagi, keberhasilan program ini mendorong Pokdarwis untuk mengadvokasi Pemerintah Kalurahan dan Dinas Pariwisata Kabupaten agar model serupa dapat direplikasi di titik-titik rawan lainnya, serta mengintegrasikan Standar Operasional Prosedur (SOP) EWS ini ke dalam rencana mitigasi bencana desa yang lebih luas. Pembahasan ini menunjukkan bahwa program tidak hanya berhenti pada instalasi alat, tetapi telah memicu proses pemberdayaan dan inisiatif lokal yang berkelanjutan.

5. Kesimpulan

Program pengabdian kepada masyarakat ini mengimplementasi sistem peringatan dini amblesan karst yang inovatif, partisipatif, dan berfungsi secara efektif di sumber air bersih Goa Pulejajar. Sistem yang mengkombinasi deteksi dini berbasis sensor, IoT, dan proteksi fisik modular, terbukti mampu menjadi solusi terhadap potensi bencana amblesan di area ini. Keberhasilan program terletak pada peningkatan kapasitas masyarakat dalam mengoperasikan dan memelihara sistem secara mandiri, serta melandasi keberlanjutannya; strategi efektif dalam peningkatan keselamatan dan resiliensi di kawasan karst yang rentan. Namun, dalam menjaga keberlanjutannya tersebut perlu dilakukan kalibrasi dan validasi data sensor secara berkala. Mengingat keberhasilan model ini, sangat direkomendasikan bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan terkait untuk mereplikasi program serupa di area permukiman rawan amblesan lainnya di sepanjang karst Gunung Sewu. Upaya replikasi ini perlu didukung dengan kebijakan yang jelas dan alokasi anggaran untuk memastikan mitigasi bencana menjadi prioritas pembangunan daerah. Selain memberikan manfaat praktis dalam pengurangan risiko bencana, model ini juga memiliki kontribusi ilmiah berupa integrasi teknologi sensor berbasis IoT, proteksi fisik modular, dan pemberdayaan masyarakat lokal yang terbukti efektif dalam meningkatkan kesiapsiagaan serta keandalan sistem peringatan dini. Inovasi TTG ini berpotensi menjadi rujukan replikasi program mitigasi amblesan di tingkat kabupaten maupun nasional.

6. Ucapan Terima Kasih

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini adalah bagian dari Hibah Pengabdian kepada Masyarakat Skema Pemberdayaan Wilayah, pendanaan dari Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek) tahun ke dua dari tiga tahun, dengan nomor Kontrak Pengabdian kepada Masyarakat Nomor 19/SPP/DP2M/PKM/VI/2025, berdasarkan Surat Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Nomor 3293/M/06/2024, dan Kontrak Pelaksanaan antara LLDIKTI Wilayah V dengan Universitas AKPRIND Indonesia Nomor 0499.24/LL5-INT/AL/2025. Tim pelaksana juga mengucapkan terima kasih yang tulus kepada seluruh anggota Kelompok Sadar Wisata (Pokdarwis) Idaman atas partisipasi aktif, antusiasme, dan kerja sama yang luar biasa selama pelaksanaan

program. Apresiasi juga kami sampaikan kepada Pemerintah Kalurahan Jepitu, Kapanewon Girisubo, dan segenap masyarakat yang telah memberikan dukungan penuh.

Daftar Pustaka

- Adji, T. N., Haryono, E., Fatchurohman, H., & Oktama, R. (2017). Spatial and temporal hydrochemistry variations of karst water in Gunung Sewu, Java, Indonesia. *Environmental earth sciences*, 76, 1–16.
- Adji, T. N., Haryono, E., Mujib, A., Fatchurohman, H., & Bahtiar, I. Y. (2019). Assessment of aquifer karstification degree in some karst sites on Java Island, Indonesia. *Carbonates and Evaporites*, 34, 53–66.
- De Waele, J., & Gutiérrez, F. (2022). *Karst hydrogeology, geomorphology and caves*. John Wiley & Sons.
- Fahmi, D. K. N. (2019). Perancangan Early Warning System pada Bencana Alam Berbasis IoT dengan Standalone Global Positioning System. *SinarFe7*, 2(1), 264–269.
- Fan, H., Chen, H., Zhao, D., Zhu, Z., Zhao, Z., Zhu, Y., & Gao, X. (2025). Study on lining water pressure distribution and early warning control standard of in-service karst tunnel. *Rock and Soil Mechanics*, 45(7), 7.
- Gemintang, K. N., Hanatha, F. D., Indriatmoko, T. W., Qurrotu'aeni, W. S., Azis, B. N. L., & Hamdalah, H. (2022). IDENTIFIKASI ZONA RAWAN AMBLESAN BERDASARKAN PARAMETER HVSR DAN GROUND SHEAR STRAIN DI DAERAH GUA PINDUL. *Jurnal Geosaintek*, 8(3), 232–241.
- Haryono, E., Adji, T. N., Cahyadi, A., Widyastuti, M., Listyaningsih, U., & Sulistyowati, E. (2022). Groundwater and livelihood in Gunungsewu karst area, Indonesia. Dalam *Groundwater for Sustainable Livelihoods and Equitable Growth* (hlm. 1–23). CRC Press.
- Kurnia, D., Indra, B., Effendi, R., Rustini, R., Usman, E., & Aulia, A. (2025). Efektivitas Edukasi dan Pelatihan Early Warning System (EWS) untuk Meningkatkan Kesiapsiagaan Tenaga Kesehatan Rumah Sakit. *Jurnal Locus Penelitian dan Pengabdian*, 4(5), 1874–1880.
- Mulyaningsih, S., Rahmawati, N., Rahayu, S. S., Kiswiranti, D., Vienastra, S., Hidayah, R. A., & Suhartono. (2024). *Paten: Sistem Proteksi Amblesan Karst Modular Berbasis Sensor Tekanan*.
- Mulyaningsih, S., Rahmawati, N., Suhartono, S., & Vienastra, S. (2024). *Laporan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun 1: Pemberdayaan Wilayah Pantai Selatan DIY Menuju Transformasi Kota Wisata dengan Aglomerasi Ekonomi Biru*.
- Pamungkas, T. P., Andriani, R., Akbara, A. W., & Samudra, Y. S. (2022). Sistem Informasi Early Warning System berbasis Website. *Intechno Journal: Information Technology Journal*, 4(2), 68–74.
- Parno, P. (2018). *Gunung Sewu UNESCO global geopark* (hlm. 75). Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa.
- Pemkal Jepitu Kapanewon Girisubo Kab. Gunungkidul. (2024). *LAPORAN PENYELENGGARAAN PEMERINTAHAN DESA KEPALA DESA KEPADA KEPALA DAERAH*.
- Rahmawati, S. A. (2025). SISTEM EARLY WARNING BERBASIS ELEKTRONIKA UNTUK MITIGASI BENCANA ALAM. *Jurnal Ilmu Sains dan Teknologi*, 1(2), 90–97.
- Reinhart, H., & Rifani, A. (2021). Water quality of Pulejajar Underground River, Karst of Gunung Sewu as the basis of karst management. *Sustainability (STPP) Theory, Practice and Policy*, 1(1), 77–94.
- Riyanto, I. A., Widyastuti, M., Cahyadi, A., Agniy, R. F., & Adji, T. N. (2020). Groundwater management based on vulnerability to contamination in the tropical karst region of Guntur Spring, Gunungsewu Karst, Java Island, Indonesia. *Environmental Processes*, 7(4), 1277–1302.

- Rodhi, A., Indrajaya, E., Prasetyadi, C., Setiawan, J., & Pratiknyo, P. (2016). *Fractures Control of Groundwater Aquifer Configuration at Baturagung Volcanic Range, A Potential New Geosite of Gunung Sewu Geopark*.
- Suherningtyas, I. A., Pitoyo, A. J., & Widayani, P. (2024). Spatial Analysis of the Economic Resilience Index during COVID-19 in the Marginal Land of the Gunungsewu Karst Area, Gunungkidul, Indonesia. *International Journal of Geoinformatics*, 20(8).
- Sujadi, H., Susandi, D., & Rohmanudin, W. (2020). Pemanfaatan Internet Of Things Dalam Sistem Peringatan Dini Pada Smart Village. *J. Nas. Komputasi dan Teknol. Inf.*, 3(1), 29–37.
- Tjia, H. (2013). Morphostructural Development of Gunungsewu Karst, Jawa Island Perkembangan Morfostruktur Kars Gunungsewu di Pulau Jawa. *Indonesian Journal of Geology*, 8(2), 75–88.
- Yeh, T.-K., Lee, T.-Y., Lee, I.-H., Yen, J.-Y., & Ni, C.-F. (2025). Applying precise point positioning method and multiple sensors to monitor the land subsidence in Taiwan. *Land Surface and Cryosphere Remote Sensing V*, 13263, 68–73.
- Yunus, A. Y., Ahmad, S. N., Latief, R., Mulfiyanti, D., Badrun, B., Syarif, M., Rachman, R. M., Sya'ban, A. R., Wulansari, I., & Aryadi, A. (2024a). *Bencana alam dan manajemen risiko bencana*. Tohar Media.
- Yunus, A. Y., Ahmad, S. N., Latief, R., Mulfiyanti, D., Badrun, B., Syarif, M., Rachman, R. M., Sya'ban, A. R., Wulansari, I., & Aryadi, A. (2024b). *Bencana alam dan manajemen risiko bencana*. Tohar Media.