

Implementation of a Sensor-Based Flash Flood Early Warning System and River Normalization Design in Aie Angek Village, Tanah Datar Regency, West Sumatra

Penerapan *Early Warning System* Banjir Bandang Berbasis Sensor dan Pembuatan Desain Normalisasi Sungai di Nagari Aie Angek, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat

Fauzan^{*1}, Zaini², Basril Basyar³, Rinaldi Eka P.⁴, Aprisal⁵, Fahmi Lubis⁶, Rayhan Assiddiqy L.⁷, Rizqi Fadhiya A.⁸, Lina Syahmina⁹, Rudra Adrika R. S.¹⁰, Lathifanisa Kamil¹¹, Michel Gustia M.¹², Yolanda Lauzy F.¹³, Fauzan Al M.¹⁴, Muhammad Ridho K.¹⁵, Uais¹⁶

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

^{2,4}Pusat Studi Bencana, Universitas Andalas

^{1,3,16}Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas

⁴Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik

^{5,10,11,12,13}Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

⁷Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas

^{6,8,9}Fakultas Teknik, Universitas Andalas

^{2,14,15}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

E-mail: fauzan@eng.unand.ac.id¹, zzaini21@gmail.com², bbbasrilbasyar4@gmail.com³, rinaldiekaputra@yahoo.co.id⁴, aprisalunand@yahoo.co.id⁵, ffahmiilubissss@gmail.com⁶, lionarrayhan1305@gmail.com⁷, rizfadfadhiya@gmail.com⁸, linasyahmina619@gmail.com⁹, adrikarudra@gmail.com¹⁰, fani.kamil04@gmail.com¹¹, michelgustia8@gmail.com¹², yolandalauzy@gmail.com¹³, fauzanalmunawar888@gmail.com¹⁴, ridhokurnia1705@gmail.com¹⁵, uaisaisph20@gmail.com¹⁶

Abstract

Nagari Aie Angek in Tanah Datar Regency is highly vulnerable to flash floods (galodo), threatening public safety, infrastructure, and socio-economic activities. This community service program aims to strengthen disaster mitigation efforts through the implementation of a sensor-based Early Warning System (EWS) and the development of a river normalization design in disaster-prone areas. Activities included field surveys to identify critical locations, installation and testing of EWS devices, as well as community outreach on disaster preparedness and proper responses to warning signals. Hydrological analysis was also conducted to determine recommended structural actions such as channel widening, reinforcement of unstable riverbanks, and removal of sediment and log debris. The results of the service program show improved community awareness and readiness in utilizing the EWS, alongside technical recommendations to enhance water flow and reduce blockage risk. This integrated effort is expected to increase local resilience and serve as a sustainable mitigation model for similar regions.

Keywords: *Early Warning System, Galodo, River Normalization, Disaster Mitigation, Aie Angek.*

Abstrak

Nagari Aie Angek di Kabupaten Tanah Datar memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana galodo yang berdampak pada keselamatan masyarakat serta kerusakan infrastruktur dan aktivitas ekonomi. Program Pengabdian kepada Masyarakat Terintegrasi Kegiatan Mahasiswa (PkM TKM) ini bertujuan meningkatkan mitigasi bencana melalui penerapan Early Warning System (EWS) berbasis sensor dan penyusunan desain normalisasi sungai. Kegiatan meliputi survei lokasi rawan, pemasangan dan uji coba EWS, serta sosialisasi kesiapsiagaan bencana kepada masyarakat. Selain itu, dilakukan analisis hidrologi untuk merumuskan rekomendasi teknis seperti pelebaran alur, penguatan tebing rawan longsor, dan pembersihan sedimen maupun kayu penyumbat aliran. Hasil program pengabdian menunjukkan peningkatan pemahaman dan kemampuan masyarakat dalam merespons peringatan dini serta tersusunnya rancangan teknis mitigasi jangka panjang. Upaya ini diharapkan meningkatkan ketangguhan masyarakat dan dapat menjadi model mitigasi berkelanjutan di wilayah rawan bencana lainnya.

Kata kunci: *Early Warning System, Galodo, Normalisasi Sungai, Mitigasi Bencana, Aie Angek.*

1. PENDAHULUAN

Nagari Aie Angek di Kabupaten Tanah Datar merupakan wilayah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana banjir bandang atau yang dikenal secara lokal dengan istilah galodo. Fenomena ini kerap terjadi akibat curah hujan dengan intensitas sedang hingga tinggi yang mengguyur kawasan hulu Gunung Marapi, sehingga mengakibatkan aliran lahar dingin membawa material sedimen vulkanik, kayu, dan batu ke daerah aliran sungai. Kondisi topografi berbukit dengan lereng curam serta tingginya sedimentasi di aliran sungai semakin meningkatkan risiko terjadinya galodo. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kerusakan infrastruktur, namun juga mengancam keselamatan jiwa, pemukiman, serta aktivitas sosial ekonomi masyarakat.

Berangkat dari kondisi tersebut, diperlukan upaya mitigasi berbasis teknologi berupa penerapan *Early Warning System* (EWS) untuk memberikan peringatan dini kepada masyarakat ketika potensi galodo terdeteksi. EWS berfungsi sebagai sistem deteksi risiko melalui sensor, pemantauan debit air, serta penyampaian informasi kepada warga secara cepat dan tepat. Selain itu, normalisasi sungai juga menjadi langkah strategis untuk mengurangi hambatan aliran air dan meminimalisir potensi penyumbatan material yang dapat memperparah banjir bandang. Integrasi kedua strategi ini diharapkan mampu meningkatkan ketangguhan masyarakat Nagari Aie Angek dalam menghadapi bencana.

Permasalahan utama yang dihadapi adalah masih minimnya sistem peringatan dini bencana berbasis teknologi di daerah rawan, serta kondisi sungai yang belum tertata dengan baik. Hal ini menyebabkan masyarakat kurang memiliki kesiapan dalam merespons bencana secara cepat, sementara potensi kerugian semakin meningkat seiring perubahan iklim yang memperbesar intensitas hujan ekstrem. Oleh karena itu, pengabdian kepada masyarakat melalui pemasangan EWS dan perencanaan desain normalisasi sungai di Nagari Aie Angek menjadi sangat relevan dan mendesak.

Normalisasi sungai perlu dirancang dengan memperhatikan aspek perubahan tata guna lahan dikarenakan banjir bandang umumnya bukan hanya akibat kapasitas alur sungai yang terbatas tetapi juga karena adanya pengaruh dari material lereng yang erosi. Normalisasi Sungai juga membutuhkan kebijakan tata ruang yang tegas seperti larangan membangun pemukiman di sepanjang aliran sungai. Dengan adanya kolaborasi antara rekayasa teknis, konservasi lingkungan, dan penegakan regulasi, normalisasi sungai dapat berjalan lebih efektif serta berkelanjutan.

Tujuan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat Terintegrasi dengan Kegiatan Mahasiswa (PkM TKM) ini adalah: (1) meningkatkan kapasitas masyarakat dalam memahami risiko galodo dan pentingnya sistem peringatan dini, (2) menerapkan EWS di titik strategis sepanjang aliran sungai berpotensi rawan, serta (3) menyusun desain normalisasi sungai sebagai langkah teknis untuk memperlancar aliran air dan mengurangi potensi banjir bandang. Dengan adanya kegiatan ini, diharapkan masyarakat tidak hanya menjadi penerima manfaat, tetapi juga berperan aktif dalam menjaga dan mengelola sistem mitigasi bencana secara berkelanjutan.

Kajian literatur menunjukkan bahwa risiko banjir bandang di Sumatera Barat sangat tinggi, terutama di daerah sekitar Gunung Marapi yang memiliki sejarah panjang bencana hidrometeorologi (Arif, 2019; Prastiyani & Solikin, 2022). Penelitian sebelumnya juga menekankan pentingnya penilaian infrastruktur serta penerapan sistem mitigasi berbasis teknologi untuk mengurangi kerugian akibat bencana (Istijono & Ophiyandri, 2019; Wei & Xu, 2024). Hasil pengabdian yang dilakukan Fauzan dkk. (2025) di Kabupaten Tanah Datar dan Agam juga mengungkap bahwa banjir bandang lahar dingin dari Gunung Marapi telah menyebabkan kerusakan besar pada infrastruktur jalan, jembatan, dan pemukiman. Rekomendasi yang diberikan meliputi pembangunan tanggul, pengalihan aliran sungai, peningkatan drainase, dan penanaman vegetasi kuat untuk menahan erosi. Dengan mengaitkan temuan tersebut, penerapan EWS yang terintegrasi dengan normalisasi sungai di Nagari Aie Angek menjadi langkah

komprehensif dan berkesinambungan, tidak hanya sebagai peringatan dini tetapi juga sebagai upaya struktural dalam memperkuat ketahanan masyarakat terhadap bencana.

2. METODE

Kegiatan pembuatan *Early Warning System* (EWS) dan desain normalisasi sungai dilakukan dengan pendekatan partisipatif melalui beberapa tahapan. Pembuatan EWS terdiri dari beberapa tahapan yaitu diawali dengan melakukan survei lapangan untuk memetakan titik rawan banjir bandang. Survei dilakukan untuk mengetahui titik-titik rawan galodo disepanjang aliran sungai utama. Kedua, perencanaan teknis pemasangan *Early Warning System* (EWS), Ketiga, pemasangan alat dilakukan dilokasi yang telah ditentukan sebelumnya (Gambar 1). Setelah alat sudah terpasang maka akan dilakukan uji coba. Jika sudah dipastikan alat dapat berfungsi dengan baik maka akan dilakukan sosialisasi serta pelatihan masyarakat mengenai penggunaan EWS. Desain normalisasi Sungai dilakukan survei hidrologi untuk mengukur lebar, kedalaman, dan kondisi tebing, diikuti analisis teknis guna mengidentifikasi titik penyumbatan akibat sedimen, kayu, dan batu. Berdasarkan hasil tersebut, disusun rekomendasi desain normalisasi berupa pelebaran alur pada bagian yang menyempit, penguatan tebing rawan longsor, serta pembersihan material sedimen dan kayu yang berpotensi menghambat aliran.



Gambar 1. Kegiatan *Survey* Penentuan Lokasi Pemasangan *Early Warning System*.

Sementara itu, desain normalisasi sungai diawali dengan pelaksanaan survei hidrologi yang berfokus pada pengukuran parameter fisik sungai, seperti lebar, kedalaman, kecepatan aliran, dan kondisi tebing sungai pada titik-titik kritis. Survei ini dilanjutkan dengan analisis teknis untuk mengidentifikasi titik penyumbatan akibat sedimen, kayu, maupun batu yang berpotensi menghambat aliran air saat debit meningkat. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan pendekatan hidraulika dan geoteknik guna menghasilkan rekomendasi teknis yang aplikatif. Rekomendasi desain normalisasi sungai meliputi pelebaran alur pada bagian sungai yang menyempit, penguatan struktur tebing pada lokasi rawan longsor menggunakan bronjong atau vegetasi pengikat tanah, serta pembersihan material sedimen, kayu, dan batu yang dapat menyebabkan penyumbatan aliran. Selain itu, kegiatan normalisasi sungai juga dipadukan dengan upaya penghijauan di sekitar daerah aliran sungai (DAS) sebagai bentuk konservasi jangka panjang. Dengan demikian, metode yang digunakan tidak hanya menekankan aspek teknis, tetapi juga memperhatikan aspek lingkungan dan sosial, sehingga keberlanjutan fungsi sungai serta kesiapsiagaan masyarakat terhadap potensi bencana dapat terjamin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian (PkM TKM) di Nagari Aie Angek menghasilkan beberapa capaian penting. Pertama, melalui survei lapangan berhasil dipetakan titik-titik rawan galodo di sepanjang

aliran sungai utama, yang menjadi dasar penentuan lokasi strategis pemasangan *Early Warning System* (EWS) (Gambar 1). Pemetaan dilakukan dengan observasi langsung ke lapangan dan analisis data historis kejadian banjir bandang. Titik-titik rawan teridentifikasi kemudian akan dijadikan dasar dalam penentuan Lokasi strategis untuk pemasangan alat EWS, sehingga alat dapat menjangkau wilayah yang rentan terdampak.

Kedua, melakukan proses perancangan dan perakitan alat EWS (Gambar 2). Perancangan desain sistem yang meliputi pemilihan komponen elektronik, penyusunan rangkaian, dan pembuatan prototype EWS. Proses perakitan dilakukan secara bertahap, mulai dari pemasangan sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, hingga perangkat *output* peringatan (sirene, lampu peringatan, atau pengirim pesan otomatis).

Ketiga, dilakukan tahap pemasangan alat *Early Warning System* (EWS) di Lokasi yang telah ditentukan (Gambar 3). Pemasangan dilakukan secara hati-hati dengan mempertimbangkan posisi sensor agar dapat membaca muka air sungai secara akurat, sekaligus memastikan panel surya mendapatkan paparan sinar matahari secara optimal. Proses ini meliputi penegakan tiang penyangga, pemasangan kotak kontrol, penyambungan kabel, serta penyesuaian arah perangkat komunikasi agar sinyal peringatan dapat diteruskan tanpa hambatan.

Terakhir, EWS berupa sensor tinggi muka air dan sistem alarm berhasil dipasang serta diuji coba, dengan hasil sistem mampu memberikan peringatan dini secara efektif dan dapat diakses oleh masyarakat (Gambar 4). Uji coba memperlihatkan bahwa alarm terdengar dengan jelas oleh warga sekitar sehingga meningkatkan kesiapsiagaan ketika terjadi kenaikan debit air secara tiba-tiba. Ketiga, masyarakat memperoleh peningkatan pengetahuan melalui pelatihan dan sosialisasi, yang ditunjukkan dengan kemampuan mereka memahami prosedur evakuasi serta cara merespon sinyal peringatan. Dengan demikian, penerapan EWS di Nagari Aie Angek tidak hanya memberi manfaat langsung berupa sistem peringatan dini, tetapi juga mendorong masyarakat berperan aktif dalam pengelolaan risiko bencana.



Gambar 2. Perancangan dan Perakitan Alat *Early Warning System*

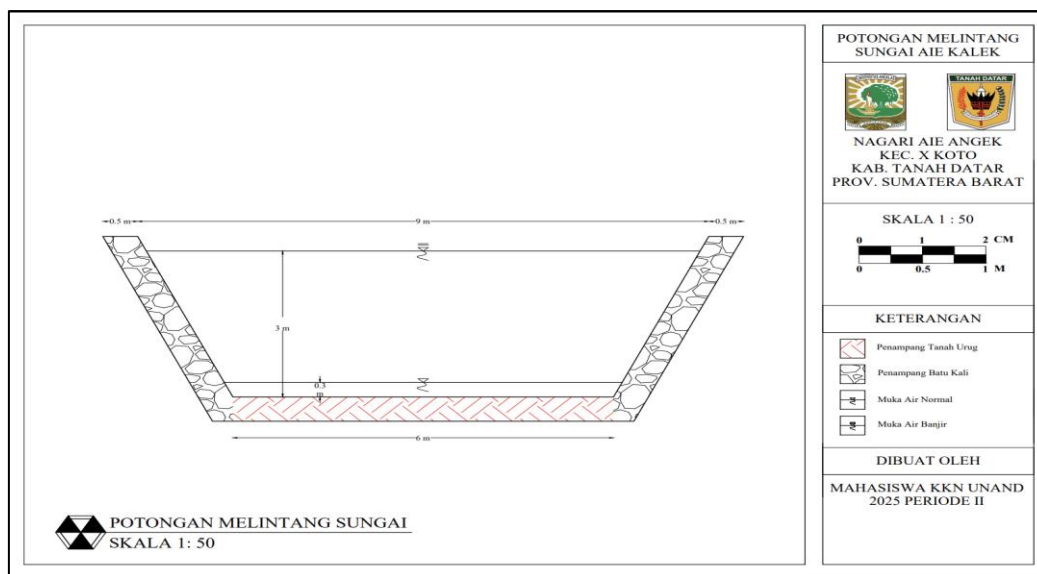


Gambar 3. Pemasangan Alat EWS



Gambar 4. Simulasi Penggunaan Alat EWS

Selain itu, dari hasil analisis hidrologi dan kondisi sungai, diperoleh desain normalisasi yang merekomendasikan pelebaran jalur aliran (Gambar 5), penguatan tebing rawan longsor, serta pembersihan material sedimen dan kayu yang berpotensi menyumbat aliran. Rekomendasi ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Fauzan dkk. (2025) yang menekankan pentingnya integrasi langkah struktural seperti pembangunan tanggul dan perbaikan alur sungai dengan sistem mitigasi berbasis teknologi untuk mengurangi kerusakan akibat banjir bandang. Proses penyusunan desain normalisasi dilakukan melalui survei lapangan yang mencatat lebar sungai, kedalaman muka air normal dan muka air banjir, serta titik rawan longsor. Data tersebut kemudian dianalisis secara teknis untuk menentukan bagian sungai yang perlu diperlebar, lokasi penguatan tebing, serta volume material yang harus dibersihkan. Tahapan ini menghasilkan rancangan teknis yang dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah maupun masyarakat dalam melaksanakan kegiatan normalisasi secara bertahap dan berkelanjutan. Dengan adanya metode yang jelas, normalisasi sungai tidak hanya bersifat reaktif terhadap bencana, tetapi juga menjadi strategi preventif dalam menjaga keberlangsungan aliran air dan mengurangi risiko banjir bandang di masa depan.



Gambar 5. Desain Normalisasi Sungai

Adapun tantangan yang dihadapi selama pelaksanaan kegiatan antara lain akses menuju lokasi yang cukup terjal dan memakan waktu, kondisi sinyal komunikasi di lapangan yang tidak stabil, serta ketiadaan aliran listrik yang menyulitkan saat pemasangan pada malam hari karena minim pencahayaan. Kendala-kendala ini menjadi catatan penting untuk penyempurnaan kegiatan serupa di masa mendatang, khususnya dalam menyiapkan dukungan logistik dan teknis yang lebih baik.

Pengembangan *Early Warning System* (EWS) di kemudian hari dapat diarahkan dengan penggunaan teknologi seperti kecerdasan buatan. Penggunaan teknologi dapat membantu memprediksi potensi galodo melalui analisis tren curah hujan dan juga kelembaban tanah. Peringatan juga dapat disampaikan melalui media komunikasi seperti radio komunitas, pengeras suara, dan juga pesan otomatis ke masyarakat sekitar.

Keberlanjutan EWS sangat ditentukan oleh keterlibatan masyarakat lokal. Dibutuhkan kelompok relawan siaga bencana di tingkat nagari yang terlatih secara rutin untuk mengoperasikan, merawat, dan memperbaiki peralatan EWS. Tanpa pengelolaan berbasis komunitas, banyak perangkat EWS berpotensi tidak berfungsi akibat kurangnya perawatan. Oleh karena itu, program pelatihan, pembentukan tim siaga, serta integrasi dengan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) menjadi kunci keberhasilan sistem dalam jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Program pengabdian Masyarakat (PkM TKM) ini berhasil menerapkan *Early Warning System* (EWS) dan menyusun desain normalisasi sungai sebagai bentuk mitigasi bencana galodo di Nagari Aie Angek. Hasil survei lapangan menunjukkan adanya beberapa titik rawan bencana yang kemudian dijadikan lokasi pemasangan EWS. Sistem yang dipasang mampu mendeteksi kenaikan debit air dan memberikan peringatan dini melalui alarm yang terdengar jelas di sekitar area sungai. Uji coba membuktikan bahwa perangkat bekerja dengan baik sehingga berfungsi sebagai sistem mitigasi berbasis teknologi yang efektif. Selain itu, melalui analisis kondisi hidrologi, disusun desain normalisasi sungai yang meliputi pelebaran alur sungai, penguatan tebing rawan longsor, serta pembersihan material sedimen dan kayu yang berpotensi menghambat aliran.

Upaya ini diharapkan dapat memperlancar jalannya aliran air dan mengurangi risiko terjadinya banjir bandang di masa mendatang. Dengan demikian, integrasi antara EWS dan desain normalisasi sungai menjadi solusi komprehensif dalam menghadapi ancaman galodo di Nagari Aie Angek. Tantangan yang masih perlu diperhatikan adalah kestabilan jaringan komunikasi untuk mendukung kinerja sistem serta kebutuhan perawatan perangkat agar tetap berfungsi optimal. Harapannya, pendekatan ini berpotensi dijadikan model mitigasi bencana yang dapat direplikasi pada wilayah lain yang memiliki risiko serupa di Sumatera Barat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Andalas yang telah memberikan pendanaan dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat Program Kemitraan Masyarakat Terintegrasi dengan Kegiatan Mahasiswa (PKM-TKM) Batch II Melalui RKAT 2025 dengan No.30/UN16.19/PM.03.03/PKM-TKM/2025. Dukungan tersebut sangat berarti dalam menunjang kelancaran pelaksanaan kegiatan pengabdian serta menjadi fondasi penting bagi tersusunnya penelitian ini. Bantuan yang diberikan tidak hanya terbatas pada aspek pendanaan, tetapi juga berupa fasilitas akademik dan administratif yang memungkinkan seluruh rangkaian kegiatan dapat berjalan secara sistematis dan terarah sesuai dengan tujuan program.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, F. (2019). Kajian banjir bandang di Sumatera Barat: Faktor penyebab dan strategi mitigasi. *Jurnal Lingkungan Hidup Indonesia*, 7(2), 101–112.
- Cahaya Putra, V. H., Kanugrahan, G., & Wahyu, A. P. (2024). Sistem Peringatan Dini Banjir Bandang di Wilayah Penambangan Pasir Vulkanik Menggunakan Internet of Things. *Jurnal Responsif: Riset Sains dan Informatika*, 6(1).
- Fauzan, M., Yulnafatmawita, & Ophiyandri, T. (2025). Analisis dampak banjir bandang lahar dingin Gunung Marapi terhadap infrastruktur di Kabupaten Tanah Datar dan Agam. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dinamisia*, 9(3), 906–913.
- Hasan, M. F., Sonalitha, E., & Romadhon, R. H. (2024). *Monitoring Early Warning System (EWS) pada Bencana Banjir dan Tanah Longsor Berbasis LoRa (Long Range) RA-02*. JE-UNISLA, 9(2), 144–158.
- Istijono, B., & Ophiyandri, T. (2019). Penilaian infrastruktur pada kawasan rawan banjir bandang di Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 45–54.
- Prastiyani, R., & Solikin, A. (2022). Analisis risiko hidrometeorologi di lereng Gunung Marapi, Sumatera Barat. *Jurnal Kebencanaan*, 11(2), 88–96.
- Tumpu, F., Yuliana, R., & Ardi, H. (2023). Peran normalisasi sungai dalam mitigasi banjir di kawasan rawan longsor. *Jurnal Mitigasi Bencana Indonesia*, 5(1), 33–41.
- Wei, L., & Xu, H. (2024). Application of early warning systems for flood disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Science*, 15(4), 455–467.