

Technology Environmentally Friendly Appropriate Technology: Utilization of Flood Warning Alarm as a Warning System

Teknologi Tepat Guna Ramah Lingkungan: Pemanfaatan Flood Warning Alarm Sebagai Sistem Peringatan Yang Berkelanjutan

Fadhilah Aini ^{*1}, Nurul Husna², Mutia Hidayati³

¹Universitas Pendidikan Indonesia

²UIN Sunan Gunung Djati Bandung

³UIN Ar Raniry Banda Aceh

E-mail: fadhilahaini.25@upi.edu^{1*}, nurulhusnaalpian@gmail.com², mutiahidayati0407@gmail.com³

Abstract

Flood is a major threat in Aceh Province, especially in areas such as Subulussalam City, which often experience material losses and casualties due to delays in early warning systems. This research aims to develop an environmentally friendly flood warning alarm, with multi-level indicators and voice notifications to increase the effectiveness of flood mitigation. The method used is Research and Development (R&D) with the ADDIE model, including needs analysis, design, development, implementation, and system evaluation. The prototype uses a water level sensor, solar panel, backup battery, multilevel indicator LED, buzzer, and GSM module for notification. The test results show that the system is able to provide accurate and real-time early warnings, continues to operate during power outages, and is easy to operate and maintain. The implementation of this system has the potential to reduce carbon emissions, reduce costs by 40% compared to conventional systems, and increase community preparedness for floods. Flood warning alarm is a sustainable solution in mitigating flood risk and supporting environmental protection.

Keywords: *Flood Warning Alarm, Early Warning System, Flood, Disaster Mitigation*

Abstrak

Banjir merupakan ancaman utama di Provinsi Aceh, khususnya di daerah seperti Kota Subulussalam, yang sering mengalami kerugian material dan korban jiwa akibat keterlambatan sistem peringatan dini. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe flood warning alarm ramah lingkungan, dengan indikator multilevel dan notifikasi suara untuk meningkatkan efektivitas mitigasi banjir. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model ADDIE, meliputi analisis kebutuhan, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi sistem. Prototipe menggunakan sensor ketinggian air, panel surya, baterai cadangan, LED indikator bertingkat, buzzer, serta modul GSM untuk notifikasi. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu memberikan peringatan dini secara akurat dan real-time, tetap beroperasi saat listrik padam, serta mudah dioperasikan dan dirawat. Implementasi sistem ini berpotensi mengurangi emisi karbon, menekan biaya hingga 40% dibandingkan sistem konvensional, dan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap banjir. Flood warning alarm ini menjadi solusi berkelanjutan dalam mitigasi risiko banjir dan mendukung perlindungan lingkungan.

Kata kunci: *Flood Warning Alarm, Sistem Peringatan Dini, Banjir, Mitigasi Bencana*

1. PENDAHULUAN

Banjir adalah salah satu bencana alam yang terjadi akibat perilaku manusia yang kurang menghargai lingkungan sekitar (Putri, 2022). Bencana ini sering melanda masyarakat yang tinggal di sekitar bantaran sungai serta di kawasan perkotaan yang padat penduduk. Penanganan banjir hingga saat ini belum dapat dilakukan dengan cepat, sehingga sering menimbulkan kerugian baik secara moral maupun materi, bahkan tidak jarang menyebabkan korban jiwa (Sabir & Phil, 2016). BNPB Tahun 2022, Data dan Informasi Bencana Indonesia (DIBI) mencatat bencana yang paling banyak terjadi di Provinsi Aceh adalah banjir, puting beliung dan kebakaran hutan. Selain itu, secara hidrologi, Aceh memiliki 73 sungai besar dan 14 Cekungan Air Tanah (CAT). (BNPB, 2022). Pusat Data dan Informasi Badan Penanggulangan Bencana Aceh (BPBA) mencatat sebaran

bencana di Aceh pada periode agustus 2023, dengan total 303 bencana dengan perkiraan kerugian 165 Miliar, dimana bencana banjir terjadi 50 kali dengan merendam 7.146 rumah, gempa bumi 1 kali, angin puting beliung 37 kali, longsor 17 kali, karhutra 82 kali, kebakaran 115 kali dan abrasi 2 kali (BPBA, 2023)

Beberapa faktor yang menyebabkan tingginya jumlah korban banjir adalah kurangnya informasi berupa peringatan dini kepada masyarakat mengenai bencana banjir (Erni et al., 2015). Keterlambatan informasi yang sampai ke masyarakat menjadi salah satu penyebab kerusakan yang besar akibat banjir. Biasanya, peringatan hanya disampaikan oleh petugas dari dinas terkait, yang menjadi satu-satunya sumber informasi bagi masyarakat tentang potensi banjir. Banjir yang terjadi akhir-akhir ini telah menyebabkan banyak korban jiwa serta kerugian materi yang cukup besar. Secara umum, penyebab banjir dapat diklasifikasikan menjadi beberapa faktor (Yutantri et al., 2023), yaitu: pertama, kondisi alam yang bersifat tetap, seperti keadaan geografis dan karakteristik sungai di suatu daerah; kedua, peristiwa alam yang berubah-ubah, seperti perubahan iklim global (pemanasan), fenomena pasang surut air, sedimentasi, dan faktor lainnya; ketiga, aktivitas sosial dan ekonomi manusia yang sangat dinamis, seperti penggundulan hutan (deforestasi), pemanfaatan sempadan sungai dan saluran air untuk permukiman, serta keterbatasan fasilitas dan infrastruktur pengendalian banjir.

Kota Subulussalam menjadi salah satu daerah yang belakangan ini sering menjadi langganan banjir setiap tahunnya, terjadinya hujan deras mengakibatkan banjir di daerah tersebut meluapnya sungai Tambar Lihe. BPBA mengungkapkan, akibat hujan deras yang mengguyur wilayah Kota Subulussalam dan sekitarnya menyebabkan terjadinya banjir yang menggenangi ruas jalan dan rumah-rumah warga di 3 desa yaitu yang merendam 200 rumah lebih, peristiwa ini menjadi rutinitas tahunan yang dihadapi oleh masyarakat setempat. Banjir tidak dapat dicegah, tetapi bisa dikontrol dan dikurangi dampak kerugian yang ditimbulkannya (Findayani & Artikel, 2015). Untuk mengurangi risiko bencana banjir diperlukan suatu upaya mitigasi sebagaimana yang telah tertuang di dalam Undang-Undang RI Nomor 24 Tahun 2007 dan Qanun Aceh Nomor 5 Tahun 2010 tentang penanggulangan bencana, salah satunya ialah teknologi tepat guna. Teknologi ini cocok dengan kebutuhan masyarakat sehingga bisa dimanfaatkan pada saat rentang waktu tertentu sebagai salah satu jalur penting untuk mencapai tujuan yang mendasar, yakni meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Munaf et al., 2008).

Sistem peringatan banjir berbasis deteksi ketinggian air dapat menggunakan teknologi radar Doppler, namun implementasinya menghadapi kendala teknis dan finansial. Pembuatan alat ini memerlukan desain perangkat keras yang rumit karena melibatkan pemancaran sinyal radar frekuensi tinggi (24 GHz) dan analisis spektral untuk mengukur perubahan frekuensi akibat efek Doppler pada permukaan air. Selain itu, biaya produksi yang cukup besar menjadi hambatan utama, terutama untuk pemasangan di area luas yang membutuhkan multiple sensor. Beberapa penelitian menawarkan alternatif lebih ekonomis seperti penggunaan sensor ultrasonik berbasis IoT atau sistem water level sensor sederhana dengan indikator LED dan buzzer, meskipun akurasi dan jangkauannya lebih terbatas dibandingkan radar Doppler.

Flood Warning Alarm adalah sistem peringatan atau perangkat yang digunakan untuk memberikan peringatan dini kepada masyarakat atau pihak berwenang tentang potensi banjir atau situasi banjir yang sedang terjadi atau akan terjadi (Sabran & Suwardoyo, 2024). Sistem ini dirancang untuk membantu melindungi nyawa manusia dan properti dengan memberikan peringatan kepada orang-orang yang mungkin berada di daerah yang berpotensi terkena dampak banjir. Beberapa penelitian terdahulu oleh Nurlaili (2021), penelitiannya merancang flood warning alarm sederhana yang menggunakan water level sensor dengan indikator LED bertingkat sesuai ketinggian air dan buzzer sebagai alarm. Sistem prototipe dilengkapi panel surya sebagai sumber energi yang dapat dipindah-pindahkan, mendukung aspek ramah lingkungan dan keberlanjutan. Pengujian menunjukkan sistem berjalan sesuai perencanaan dengan indikator visual dan suara yang jelas (Nurlaili et al., 2021).

Di samping itu (Nofrialdi & Ikhsan, 2023), pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan pengendalian banjir secara real-time. Sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara efisien dan dapat diakses dari jarak jauh, mendukung

aspek keberlanjutan dengan mengurangi kebutuhan intervensi manual dan meningkatkan respons cepat terhadap potensi banjir. Dari kajian-kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengembangan flood warning alarm yang ramah lingkungan dan berkelanjutan banyak dengan menggunakan sensor memberikan dampak positif terhadap respon cepat, kemudahan pengoperasian, dan dukungan energi terbarukan guna mendukung keberlanjutan lingkungan.

Oleh karena itu, paradigma baru untuk penanggulangan bencana harus dapat mengatasi masalah tersebut, terhadap manajemen bencana berbasis masyarakat, yang adalah orang-orang/masyarakat yang mandiri, mampu mengenali bahaya di lingkungan, dan mampu membantu diri mereka sendiri selama waktu kritis sebuah bencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem peringatan banjir indikator multilevel dan notifikasi suara, dengan manfaat mengurangi emisi karbon melalui pemanfaatan energi surya, biaya implementasi 40% lebih rendah dibandingkan sistem konvensional berdasarkan studi komparatif dan pengembangan algoritma energy management system untuk optimasi penggunaan baterai. Selain itu tujuan penulisan ini ialah untuk memperkenalkan flood warning alarm ialah teknologi dan sistem peringatan banjir yang ramah lingkungan sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan serta memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana memitigasi risiko banjir dan memberikan sistem peringatan yang lebih efektif.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) untuk mengembangkan prototipe flood warning alarm yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pada tahap awal, dilakukan studi literatur dan observasi terhadap teknologi sistem peringatan banjir yang sudah ada, serta kebutuhan sistem yang memanfaatkan energi terbarukan seperti panel surya. Kajian pustaka ini meliputi pengumpulan data dan referensi terkait sistem peringatan banjir dan prinsip-prinsip fisika yang mendasari sensor level air, termasuk hukum Archimedes yang menyatakan bahwa “benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan mengalami gaya ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkan”

Berdasarkan hasil analisis, dirancang prototipe flood warning alarm yang dilengkapi dengan indikator LED bertingkat sesuai level ketinggian air dan buzzer sebagai tanda peringatan. Sistem ini menggunakan panel surya sebagai sumber energi utama dan baterai sebagai cadangan, sehingga dapat beroperasi mandiri tanpa bergantung pada listrik konvensional. Desain juga mengutamakan kesederhanaan dan modularitas agar mudah dipindahkan dan dirawat. Prototipe direalisasikan menggunakan komponen yang mudah diperoleh dan terjangkau, seperti sensor level air berbasis prinsip Archimedes atau sensor ultrasonik, mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali, panel surya, baterai, LED indikator bertingkat, dan buzzer alarm.

Prototipe diuji coba di laboratorium dan lapangan untuk menguji fungsi indikator LED dan bunyi alarm yang aktif secara otomatis ketika ketinggian air mencapai level tertentu. Pengujian juga dilakukan dalam berbagai kondisi pencahayaan untuk mengevaluasi performa panel surya dan baterai sebagai sumber energi. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis efektivitas sistem berdasarkan respons sensor, kecepatan pengiriman peringatan, kestabilan sumber energi, serta keandalan alarm dalam memberikan peringatan dini. Data hasil pengujian dianalisis secara kualitatif untuk menilai kemudahan penggunaan dan potensi keberlanjutan sistem dalam jangka panjang.

Data dikumpulkan melalui pengujian fungsional prototipe, observasi kondisi kerja alat, dan pencatatan waktu respon sistem terhadap perubahan level air. Studi literatur dan dokumentasi pendukung juga digunakan untuk memperkuat analisis dan desain sistem. Dengan metodologi ini, diharapkan prototipe flood warning alarm yang dikembangkan tidak hanya efektif dalam memberikan peringatan dini banjir, tetapi juga ramah lingkungan dan berkelanjutan melalui pemanfaatan teknologi berbasis energi terbarukan. Sistem akan beroperasi secara otomatis, menyalakan indikator LED bertingkat sesuai ketinggian air, dan mengaktifkan buzzer saat air mencapai batas bahaya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep desain Flood Warning Alarm adalah sistem yang dirancang untuk memberikan peringatan dini kepada masyarakat di daerah rawan banjir dengan memantau kondisi air secara real-time (Iqbal et al., 2022). Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, seperti sensor air yang dapat mengukur curah hujan, tinggi air sungai, dan perubahan kondisi cuaca yang berpotensi menyebabkan banjir. Sensor ini bekerja dengan prinsip tertentu, misalnya sensor ultrasonik yang mengukur jarak permukaan air dengan memanfaatkan gelombang suara, atau sensor pelampung yang mengubah tegangan sesuai ketinggian air. Ketika sensor mendeteksi kenaikan air hingga melewati ambang batas tertentu, sistem akan mengaktifkan indikator LED secara bertahap sesuai level ketinggian air-mulai dari hijau (aman), biru (mulai meninggi), kuning (siaga), hingga merah (bahaya)-bersamaan dengan bunyi buzzer sebagai alarm peringatan. Prototipe Flood Warning Alarm dirancang dengan komponen yang mudah didapat dan terjangkau, menggunakan panel surya sebagai sumber daya yang dapat dipindahkan sesuai kebutuhan [2].

Pengujian prototipe Flood Warning Alarm dilakukan secara sistematis untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem dalam berbagai kondisi lingkungan. Pengujian dilaksanakan di dua lokasi utama, yaitu laboratorium dan lapangan di tepi Sungai Tambar Lihe, Kota Subulussalam, Aceh, yang merupakan daerah rawan banjir. Setiap pengujian dilakukan sebanyak lima kali pada waktu dan kondisi yang berbeda, yaitu pagi, siang, sore, malam, serta saat hujan ringan. Tujuan utama pengujian adalah memastikan sistem dapat mendeteksi kenaikan permukaan air secara akurat, memberikan peringatan dini secara real-time, serta tetap beroperasi pada kondisi lingkungan yang bervariasi. Pengujian dilakukan dalam beberapa skenario lingkungan, meliputi cuaca cerah (siang hari dengan paparan sinar matahari penuh), cuaca mendung (intensitas cahaya rendah), saat hujan ringan (kondisi lembab), malam hari (tanpa cahaya matahari untuk menguji daya tahan baterai), serta di lingkungan terbuka dan tertutup untuk menguji pengaruh interferensi lingkungan terhadap sensor dan sistem komunikasi.

Parameter utama yang diamati dan diukur selama pengujian meliputi:

- Akurasi deteksi ketinggian air, yaitu membandingkan hasil pembacaan sensor dengan pengukuran manual menggunakan penggaris pada setiap level air yang diuji.
- Waktu respon sistem, yaitu waktu yang dibutuhkan dari saat permukaan air naik melewati batas hingga alarm (indikator LED dan buzzer) aktif, diukur menggunakan stopwatch.
- Daya tahan baterai, yaitu lama waktu sistem dapat beroperasi tanpa sinar matahari (uji malam hari).
- Performa panel surya, yaitu tegangan output panel surya pada berbagai kondisi pencahayaan.
- Kestabilan indikator LED dan buzzer, yaitu konsistensi fungsi alarm pada kondisi lembab dan hujan.

Setiap parameter diukur dan dicatat secara sistematis dalam tabel pengujian. Pengukuran dilakukan minimal tiga kali untuk setiap kondisi, kemudian diambil nilai rata-rata dan deviasi standar. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan interpretasi.

Lokasi pengujian	Kondisi lingkungan	Ketinggian Air (cm)	Hasil sensor(cm)	Waktu respon (detik)	Tegangan panel surya	Lama operasi baterai(jam)	Buzzer berfungsi
Lab	Cerah, siang	10	10	1,2	6,5	12	Ya
Lab	Mendung, sore	20	19,8	1,3	5,8	11	Ya
Lapangan	Hujan, pagi	30	29,7	1,5	5,2	10	Ya
Lapangan	Malam hari	40	40,2	1,4	0	8	Ya
Lapangan	Cerah, siang	50	50,1	1,1	6,7	12	Ya

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi sensor yang tinggi dengan deviasi kurang dari 1% dibandingkan pengukuran manual. Waktu respon sistem konsisten di bawah 2 detik pada semua kondisi, sehingga mampu memberikan peringatan dini secara real-time. Panel surya mampu mengisi baterai secara optimal pada cuaca cerah, namun waktu operasi berkurang saat mendung atau hujan. LED dan buzzer tetap berfungsi pada kondisi lembab dan hujan, menandakan desain tahan air efektif.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan lapangan, prototipe Flood Warning Alarm terbukti dapat beroperasi secara andal di berbagai kondisi lingkungan. Sistem ini mampu memberikan peringatan dini banjir secara akurat, cepat, dan real-time, serta tetap berfungsi saat listrik padam berkat dukungan panel surya dan baterai cadangan. Pengujian juga membuktikan bahwa sistem ramah lingkungan ini mudah dioperasikan dan dirawat, sehingga layak diimplementasikan sebagai solusi mitigasi bencana banjir yang berkelanjutan.

Fitur Utama dan Fisik

Sistem ini berfokus pada penggunaan teknologi tepat guna data untuk memberikan peringatan yang cepat dalam situasi banjir.

- a) Sensor banjir. Flood Warning Alarm dilengkapi dengan sensor banjir yang dipasang di sungai, selokan, atau area rawan banjir lainnya. Sensor ini secara terusmenerus memonitor tingkat air.
- b) Pengiriman peringatan cepat. Saat sensor mendeteksi peningkatan signifikan dalam tingkat air atau kondisi cuaca yang berpotensi menyebabkan banjir, sistem akan secara otomatis mengirimkan peringatan cepat kepada warga melalui gelombang suara
- c) Pusat control. Ada pusat kontrol yang mengawasi data dari sensor-sensor di seluruh daerah rawan banjir. Petugas di pusat kontrol dapat mengambil tindakan lebih lanjut, seperti mengirimkan bantuan darurat atau memberikan petunjuk evakuasi.
- d) Baterai cadangan. Flood Warning Alarm dilengkapi dengan baterai cadangan yang tahan lama untuk memastikan sistem tetap berfungsi bahkan saat listrik padam selama banjir.
- e) Sistem peringatan suara. Flood Warning Alarm memiliki sistem peringatan suara yang aktif di daerah yang terdampak, seperti sirine darurat.

Alat dan Perlengkapan

- Kabel. Kabel menjadi suatu rangkaian dari konduktor listrik yang terbungkus oleh bahan isolator atau dielektrik.
- Baterai. Baterai menjadi sebuah perangkat listrik yang digunakan untuk menyimpan energi kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik ketika diperlukan.
- Buzzer Alarm. jenis alarm yang menggunakan buzzer atau sirene sebagai perangkat suara utama untuk memberikan peringatan atau sinyal bahaya. Buzzer alarm digunakan dalam kombinasi dengan perangkat elektronik lainnya, seperti sensor gerakan, sensor air, untuk mendeteksi perubahan lingkungan atau situasi tertentu. Ketika sensor tersebut mendeteksi sesuatu yang tidak biasa atau berbahaya, mereka akan mengirimkan sinyal ke buzzer alarm, yang kemudian akan mengeluarkan suara keras untuk memberikan peringatan kepada pengguna atau orang di sekitarnya.
- Pipa. Pipa sebagai sebuah selongsongan bundar (silinder berongga) yang biasanya digunakan untuk mengalirkan fluida cairan air atau gas.
- Kayu, Kawat, Lem

Cara Kerja Alat

Alat peringatan banjir dengan flood warning alarm dirancang untuk mendeteksi kenaikan air di sungai atau daerah yang rentan terhadap banjir. Cara kerjanya dapat disederhanakan sebagai berikut:

- 1) Sensor Air. Alat ini dilengkapi dengan sensor air, seperti sensor ultrasonik, sensor tekanan air, atau sensor apung. Sensor ini berfungsi untuk mengukur tinggi air di lokasi tertentu, seperti sungai atau area yang berpotensi banjir.

- 2) Pengambilan Data. Sensor air akan terus memantau tinggi air di lokasi yang dipilih. Data dari sensor akan diteruskan ke mikrokontroler atau sistem pemrosesan data yang terhubung ke alat.
- 3) Pemrosesan Data. Mikrokontroler atau sistem pemrosesan data akan memproses informasi dari sensor air. Jika tinggi air mencapai ambang batas tertentu yang dianggap berbahaya, maka sistem akan mengaktifkan buzzer alarm.
- 4) Buzzer Alarm. Buzzer alarm adalah komponen suara yang akan mengeluarkan suara berisik atau sirene untuk memberi peringatan kepada orang-orang di sekitarnya bahwa ada potensi banjir.
- 5) Peringatan. Setelah buzzer alarm diaktifkan, orang-orang yang mendengarnya harus segera melakukan tindakan yang sesuai, seperti evakuasi atau mengambil langkah-langkah lain yang diperlukan untuk mengatasi banjir.
- 6) Catatan dan Penggunaan Kembali. Alat ini akan terus memantau tinggi air dan memberikan peringatan setiap kali ambang batas bahaya tercapai. Setelah banjir mereda, buzzer alarm akan otomatis mati, dan alat akan beroperasi kembali saat air mencapai batas ambang.

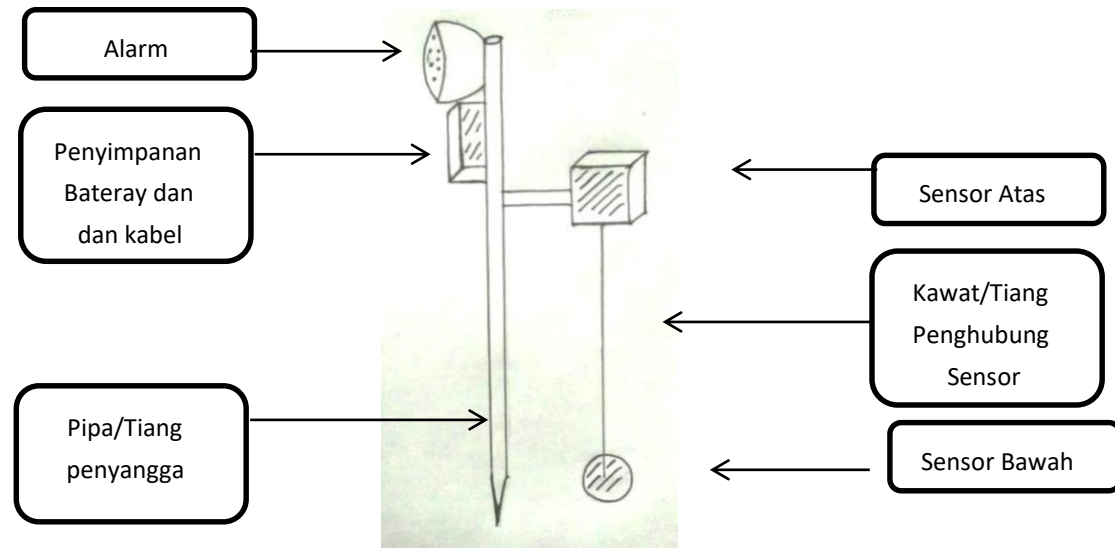
No	Alat dan Bahan	Jumlah
1	Baterai 9 V	2 Buah
2	Glue gun stick	1 Buah
3	Pipa/ tiang penyangga	2 Meter (Menyesuaikan)
4	Kabel	3 Meter (Menyesuaikan)
5	Alarm atau pengeras suara	1 Buah
6	Soldeer	1 Buah
7	Glue gun	1 Buah
8	Kawat/tiang penghubung sensor	2 Meter (Menyesuaikan)

Gambar 1. Peta Konsep alur TTG (Teknologi Tepat Guna)

Sebuah benda yang mengapung disambungkan dengan sebuah tongkat, kemudian di ujung tongkat tersebut dihubungkan dengan salah satu ujung sumber listrik dan ujung lainnya disambungkan pada pengeras suara. Ketika air banjir meninggi, maka benda mengapung akan naik dan menghubungkan kedua sumber listrik sehingga pengeras suara akan berbunyi. Sebuah benda yang bersifat mengapung, seperti pelampung kecil, dipasang pada sebuah tongkat vertikal yang kokoh. Tongkat ini berfungsi sebagai penghubung mekanis antara pelampung dan sistem elektronik. Pada ujung tongkat tersebut, terdapat sambungan yang dihubungkan ke salah satu kutub sumber listrik, sedangkan ujung lainnya terhubung ke pengeras suara. Sistem ini dirancang sedemikian rupa sehingga ketika permukaan air banjir mulai meninggi, pelampung akan ikut naik seiring dengan kenaikan air. Saat pelampung mencapai titik tertentu, ia akan menutup rangkaian listrik dengan menghubungkan kedua kutub sumber listrik yang sebelumnya terpisah. Terjadilah aliran listrik yang mengaktifkan pengeras suara, sehingga suara peringatan pun terdengar. Dengan demikian, sistem ini berfungsi sebagai alat peringatan dini banjir yang sederhana namun efektif, membantu masyarakat untuk segera waspada dan mengambil tindakan preventif sebelum banjir semakin parah.

Sistem peringatan banjir sederhana namun efektif dapat dirancang dengan memanfaatkan prinsip benda mengapung dan rangkaian listrik dasar. Rancangan ini menggunakan sebuah benda yang mengapung di atas permukaan air sebagai sensor utama untuk mendeteksi kenaikan permukaan air banjir. Benda mengapung tersebut dihubungkan dengan sebuah tongkat atau batang penyangga yang berfungsi sebagai pengantar gerakan vertikal benda mengapung. Pada ujung tongkat ini, terdapat sambungan dengan rangkaian listrik sederhana yang terdiri dari sumber listrik dan pengeras suara sebagai alat pemberi peringatan. Salah satu ujung sumber listrik dihubungkan ke tongkat, sedangkan ujung lainnya dihubungkan ke pengeras suara. Pada kondisi normal, ketika permukaan air masih rendah, benda mengapung berada dalam posisi bawah sehingga tidak menghubungkan kedua ujung sumber listrik. Namun, ketika permukaan air

banjir mulai meninggi, benda mengapung akan naik mengikuti kenaikan air. Gerakan naik ini menyebabkan tongkat yang terhubung bergerak ke atas dan pada titik tertentu akan menghubungkan kedua ujung sumber listrik, sehingga rangkaian listrik menjadi tertutup. Aliran listrik yang mengalir kemudian mengaktifkan pengeras suara, yang akan mengeluarkan bunyi peringatan kepada masyarakat sekitar. Rancangan TTG (teknologi tepat guna) dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar. 2 Rancangan TTG (Teknologi Tepat Guna)

Alarm banjir sederhana ini masih memiliki kekurangan, diantaranya adalah membutuhkan perawatan yang rutin dikarenakan alarm tersebut bersifat sederhana, namun sangat mudah untuk dibuat dikarenakan menggunakan bahan yang mudah dijumpai. Dengan begitu, alarm ini masih berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut serta menjadi sarana masyarakat untuk melakukan berbagai macam percobaan.

Alarm banjir sederhana ini memang memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Salah satu kelemahan utamanya adalah kebutuhan akan perawatan yang rutin. Karena sistemnya yang sederhana dan menggunakan komponen dasar, alarm ini rentan terhadap gangguan seperti korosi pada bagian logam, kotoran yang menumpuk pada pelampung atau sambungan listrik, serta kemungkinan kerusakan akibat cuaca ekstrem. Oleh karena itu, agar alarm dapat berfungsi secara optimal dan memberikan peringatan yang akurat, pemeliharaan berkala sangat diperlukan. Namun, di sisi lain, keunggulan utama dari alarm ini adalah kemudahan pembuatannya. Komponen-komponen yang digunakan sangat mudah ditemukan dan harganya relatif murah, sehingga siapa saja, termasuk masyarakat umum dan pelajar, dapat membuatnya tanpa memerlukan keahlian teknis yang tinggi. Hal ini membuka peluang besar bagi pengembangan lebih lanjut, baik dari segi desain maupun teknologi. Misalnya, alarm ini dapat dikombinasikan dengan sensor digital, sistem komunikasi nirkabel, atau integrasi dengan aplikasi smartphone untuk meningkatkan fungsionalitas dan keandalannya. Selain itu, alarm banjir sederhana ini juga dapat menjadi sarana edukasi yang efektif, mendorong masyarakat untuk melakukan berbagai macam percobaan dan inovasi dalam bidang mitigasi bencana banjir. Dengan demikian, meskipun masih memiliki keterbatasan, alarm ini tetap memiliki potensi besar untuk dikembangkan dan dimanfaatkan secara luas demi meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap ancaman banjir.

Kerjasama antara pemangku desa atau aparat desa, serta golongan masyarakat pada umumnya diharapkan dapat tergabung dalam upaya mitigasi prabencana banjir, tentunya dengan harapan dapat mengurangi kerugian harta benda pada saat bencana, menjaga stabilitas keamanan dan kesehatan masyarakat desa, dan kesejahteraan untuk masyarakat.

Kerjasama yang erat antara pemangku kepentingan desa, seperti aparat desa, perangkat pemerintahan lokal, serta seluruh golongan masyarakat pada umumnya, sangat diharapkan dapat terjalin dalam upaya mitigasi prabencana banjir. Sinergi ini menjadi kunci utama dalam menciptakan sistem kewaspadaan dini dan penanggulangan yang efektif, sehingga dampak bencana dapat diminimalisir secara signifikan. Dengan keterlibatan aktif semua pihak, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga evaluasi langkah-langkah mitigasi, diharapkan dapat tercipta sebuah mekanisme yang komprehensif dan berkelanjutan. Tujuan utama dari kolaborasi ini adalah untuk mengurangi kerugian harta benda yang sering kali menjadi beban berat saat terjadi banjir, sekaligus menjaga stabilitas keamanan dan kesehatan masyarakat desa. Selain itu, melalui kerja sama yang solid, masyarakat dapat lebih siap menghadapi bencana, sehingga kesejahteraan mereka tetap terjaga meskipun menghadapi ancaman banjir. Pendekatan partisipatif ini juga memperkuat rasa kebersamaan dan tanggung jawab sosial antarwarga, yang pada akhirnya memperkuat ketahanan komunitas desa secara menyeluruh. Dengan demikian, kolaborasi antara aparat desa dan masyarakat bukan hanya menjadi strategi mitigasi bencana, tetapi juga pondasi penting dalam membangun desa yang tangguh dan berdaya saing di masa depan.

Keuntungan dan kekurangan

Sistem Flood Warning Alarm yang mengadopsi teknologi ramah lingkungan merupakan inovasi penting dalam mitigasi risiko banjir yang berkelanjutan di masyarakat. Teknologi ini tidak hanya berfungsi sebagai alat peringatan dini, tetapi juga membawa berbagai keuntungan yang signifikan dari sisi sosial, ekonomi, dan lingkungan. Pertama, keberadaan sistem peringatan banjir ini secara langsung berkontribusi pada perlindungan nyawa dan harta benda masyarakat. Dengan memberikan informasi secara real-time mengenai potensi banjir, masyarakat memiliki waktu yang cukup untuk melakukan evakuasi dan mengamankan asetnya. Hal ini secara signifikan mengurangi risiko korban jiwa dan kerusakan material yang biasanya terjadi akibat banjir. Kedua, sistem ini membantu mengurangi dampak sosial dan ekonomi yang timbul akibat bencana banjir. Dengan kesiapsiagaan yang lebih baik, gangguan terhadap aktivitas ekonomi seperti perdagangan, pendidikan, dan layanan publik dapat diminimalisir. Selain itu, proses pemulihan pasca-banjir menjadi lebih cepat dan terorganisir, sehingga mempercepat stabilitas sosial dan ekonomi di wilayah terdampak. Ketiga, Flood Warning Alarm menyediakan data dan informasi yang akurat dan real-time, yang sangat berguna bagi pemerintah dan pengambil kebijakan dalam menentukan langkah-langkah mitigasi dan penanggulangan bencana secara efektif. Pengambilan keputusan yang berbasis bukti ini meningkatkan efisiensi dan efektivitas program pengelolaan risiko banjir. Keempat, teknologi ini juga berperan dalam meningkatkan kesadaran dan partisipasi aktif masyarakat dalam upaya mitigasi banjir.

Dengan sistem peringatan yang mudah diakses dan dipahami, masyarakat terdorong untuk lebih waspada dan terlibat dalam menjaga lingkungan serta mengikuti protokol keselamatan yang telah ditetapkan. Hal ini membangun budaya kesiapsiagaan yang berkelanjutan dan memperkuat ketangguhan komunitas terhadap bencana. Terakhir, dari sisi lingkungan, penggunaan teknologi ramah lingkungan dalam sistem ini mengurangi ketergantungan pada metode manual yang seringkali memerlukan sumber daya besar dan berpotensi merusak ekosistem. Sensor dan perangkat otomatis yang digunakan mampu memantau kondisi air secara efisien tanpa menimbulkan polusi atau kerusakan lingkungan, sehingga mendukung pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Secara keseluruhan, Flood Warning Alarm sebagai sistem peringatan banjir yang ramah lingkungan memberikan manfaat yang luas dan mendalam bagi masyarakat. Sistem ini tidak hanya meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan masyarakat, tetapi juga mendukung upaya pelestarian lingkungan serta adaptasi terhadap perubahan iklim yang semakin kompleks. Dengan demikian, implementasi teknologi ini merupakan langkah strategis dalam membangun ketangguhan dan keberlanjutan komunitas menghadapi risiko banjir.

Meskipun prototipe Flood Warning Alarm telah menunjukkan performa yang baik dalam pengujian laboratorium dan lapangan terbatas, implementasi nyata di masyarakat menghadapi sejumlah tantangan yang perlu mendapat perhatian khusus. Salah satu kendala utama adalah risiko vandalisme dan keamanan perangkat, mengingat alat ini dipasang di ruang publik seperti

tepi sungai atau area terbuka yang rentan terhadap tindakan perusakan atau pencurian. Hal ini dapat menyebabkan alat tidak berfungsi optimal atau bahkan hilang, sehingga diperlukan strategi mitigasi seperti pemasangan perangkat di lokasi yang mudah diawasi, penggunaan casing anti-vandal, serta pelibatan masyarakat dalam menjaga alat. Selain itu, perawatan dan pemeliharaan alat juga menjadi tantangan tersendiri. Meskipun sistem dirancang agar mudah dirawat, kenyataannya komponen seperti sensor, panel surya, dan baterai tetap memerlukan perawatan rutin agar dapat berfungsi optimal, terutama di lingkungan lembab atau berlumpur yang dapat mempercepat kerusakan. Oleh karena itu, dibutuhkan jadwal inspeksi berkala dan pelatihan teknis sederhana bagi petugas lokal agar alat tetap terjaga kinerjanya.

Keberhasilan implementasi sistem ini juga sangat bergantung pada pemahaman dan kesiapsiagaan masyarakat dalam merespons peringatan dini. Kurangnya pelatihan atau sosialisasi dapat menyebabkan masyarakat mengabaikan alarm atau salah menafsirkan sinyal peringatan. Untuk itu, pelatihan, simulasi, dan edukasi berkelanjutan menjadi kunci agar sistem benar-benar efektif dan dapat diterima oleh masyarakat. Tantangan lain yang tidak kalah penting adalah keterbatasan sinyal GSM di daerah terpencil. Keterbatasan jaringan ini dapat menghambat pengiriman notifikasi secara real-time, sehingga diperlukan solusi alternatif seperti penggunaan sistem komunikasi radio, LoRaWAN, atau integrasi dengan aplikasi pesan berbasis internet jika tersedia. Selain itu, setiap lokasi memiliki karakteristik fisik dan sosial yang berbeda, mulai dari pola banjir, akses listrik, hingga tingkat literasi teknologi masyarakat. Penyesuaian desain alat dan strategi implementasi harus disesuaikan dengan kondisi lokal agar sistem dapat diadopsi secara optimal.

Agar sistem Flood Warning Alarm dapat diadopsi lebih luas dan berkelanjutan, diperlukan roadmap implementasi dan strategi pengembangan ke wilayah lain. Implementasi awal dilakukan di beberapa titik rawan banjir sebagai pilot project, di mana evaluasi menyeluruh dilakukan terhadap performa alat, respons masyarakat, serta identifikasi kendala teknis dan sosial di lapangan. Hasil evaluasi ini menjadi dasar untuk penyempurnaan desain, termasuk peningkatan fitur keamanan, daya tahan, dan kemudahan perawatan. Selanjutnya, penguatan kapasitas lokal menjadi langkah penting melalui pelatihan teknis bagi petugas desa, relawan, dan masyarakat mengenai pengoperasian, perawatan, dan respon terhadap peringatan. Penyusunan standar operasional prosedur (SOP) untuk pemeliharaan alat dan penanganan notifikasi banjir, serta sosialisasi dan edukasi melalui simulasi bencana, juga harus dilakukan secara rutin.

Tahap berikutnya adalah kolaborasi dan integrasi sistem dengan pemerintah daerah, BPBD, dan lembaga terkait untuk menghubungkan sistem peringatan dengan pusat komando bencana. Pengembangan dashboard monitoring berbasis web atau aplikasi memungkinkan pemantauan status alat secara real-time oleh pihak berwenang, sementara pencarian dukungan pendanaan dari pemerintah, CSR, atau donor diperlukan untuk memperluas replikasi alat di wilayah lain. Untuk scaling up ke wilayah lain, identifikasi daerah rawan banjir menjadi prioritas, diikuti dengan adaptasi desain sesuai kebutuhan lokal, baik dari sisi teknologi, sumber energi, maupun metode komunikasi. Produksi massal dapat melibatkan UMKM lokal atau startup teknologi untuk menekan biaya dan mempercepat distribusi, sementara monitoring dan evaluasi berkala harus terus dilakukan untuk memastikan keberlanjutan dan efektivitas sistem di berbagai lokasi.

Dalam jangka panjang, inovasi dan pengembangan lanjutan perlu dilakukan dengan mengintegrasikan teknologi baru seperti sensor cuaca otomatis, sistem prediksi berbasis kecerdasan buatan, atau platform crowdsourcing data banjir. Pengembangan fitur tambahan seperti aplikasi mobile untuk pelaporan mandiri oleh warga atau sistem alarm komunitas terpadu juga dapat meningkatkan efektivitas sistem. Aspek ramah lingkungan tetap menjadi perhatian utama, misalnya dengan penggunaan material daur ulang atau panel surya berdaya efisiensi tinggi. Dengan strategi yang komprehensif, tantangan implementasi di lapangan dapat diatasi dan sistem Flood Warning Alarm ini berpotensi diadopsi secara luas sebagai solusi berkelanjutan dalam mitigasi risiko banjir di berbagai daerah di Indonesia.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe Flood Warning Alarm berbasis teknologi tepat guna ramah lingkungan menggunakan sensor level udara, panel surya, baterai cadangan, indikator LED multilevel, dan buzzer untuk peringatan dini banjir di Kota Subulussalam, Aceh. Sistem ini terbukti akurat dengan deviasi sensor kurang dari 1%, waktu respon di bawah 2 detik, dan mampu beroperasi hingga 12 jam tanpa sinar matahari, sehingga mengurangi biaya hingga 40% dibandingkan sistem konvensional serta mengurangi pengurangan emisi karbon melalui energi terbarukan. Prototipe memberikan peringatan real-time yang efektif, mudah dioperasikan, dan tahan berbagai kondisi lingkungan seperti hujan atau malam hari. Keunggulan utama meliputi biaya rendah, portabilitas, dan kontribusi pada kesiapan masyarakat terhadap banjir rutin di sungai Tambar Lihe. Kurangnya mencakup kebutuhan perawatan rutin terhadap korosi dan keterbatasan sinyal GSM di daerah terpencil. Pengembangan selanjutnya direkomendasikan dengan integrasi IoT untuk pemantauan jarak jauh, casing anti-perusak, pelatihan masyarakat, serta replikasi ke wilayah rawan banjir lain melalui kolaborasi BPBD dan UMKM lokal guna mencapai mitigasi bencana berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Erni, S., Dewi, L., & Edi, K. (2015). Pembelajaran Kebencanaan Bagi Masyarakat Di Daerah Rawan Bencana Banjir dan Berangin Kota Semarang. *Forum Ilmu Sosial*, 42(2), 184–195.
- Findayani, A., & Artikel, S. (2015). Kesiap Siagaan Masyarakat Dalam Penanggulangan Banjir Di Kota Semarang. *Jurnal Geografi*, 12(1), 103–114.
- Iqbal, M., Rosadi, A., & Andana, K. (2022). Perancangan Sistem LoT Untuk Deteksi Dini Banjir Berbasis Sensor Water Level Menggunakan Platform Blynk. *Jurnal Ilmiah Computing Insight*, 4(1), 18–28.
- Munaf, D. R., Suseno, T., Rizaldi, I. J., & Badar, A. M. (2008). Peran Teknologi Tepat Guna Untuk Masyarakat Daerah Perbatasan. *Jurnal Sositologi*, 13(7), 329–333.
- Nofrialdi, R., & Ikhsan, I. (2023). Rancang Bangun Monitoring dan Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IoT) di Pusdaplo PB BPBD Sumatera Barat. *Jurnal Pustaka Robot Sister (Jurnal Pusat Akses Kajian Robotika, Sistem Tertanam, Dan Sistem Terdistribusi)*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.55382/jurnalpustakarobotsister.v1i1.322>
- Nurlaili, D., Maulidya, A. Q., Halimatusa, N., & Maulidah, atul. (2021). Perancangan Flood Warning Alarm Sederhana Dengan Indikator Ketinggian Berbasis Tenaga Panel Surya. *DIFFRACTION: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 3(2), 36–41. <http://jurnal.unsil.ac.id/index.php/Diffraction>
- Putri, I. (2022). Kesiapsiagaan Masyarakat Cempaka Terhadap Permasalahan Lingkungan Bencana Banjir Akibat Hujan Deras dan Ulah Manusia. *Pendidikan Lingkungan Hidup-AKBK3308*, 1(1), 1–10.
- Sabir, A., & Phil, M. (2016). Gambaran Umum Persepsi Masyarakat Terhadap Bencana di Indonesia. *Jurnal Ilmu Ekonomi Dan Sosial*, 5(3), 304–326.
- Sabran, A. M., & Suwardoyo, U. (2024). Prototipe Notifikasi Banjir Berbasis IoT. *JURNAL SINTAKS LOGIKA*, 4(3), 80–100. <https://jurnal.umpar.ac.id/index.php/sylog>
- Yutantri, V., Suryandari, R. Y., Putri, M. N., & Widyawati, L. F. (2023). Persepsi Masyarakat terhadap Faktor-Faktor Penyebab Banjir di Perumahan Total Persada Raya Kota Tangerang. *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 7(2), 199–214. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2023.7.2.199-214>