

Model Pembelajaran Interaktif Berbasis *Internet of Things* untuk Meningkatkan Literasi Bencana pada Anak Usia Sekolah Dasar

An Interactive Learning Model Based on the Internet of Things to Enhance Disaster Literacy among Elementary School Children

Maya Hilda Lestari Louk^{1*}, Felix Handani¹, Liliana², Susana Limanto¹, Daniel Soesanto²

¹Program Studi Teknik Informatika, Universitas Surabaya, Surabaya 60293, Indonesia

²Program Studi Sistem Informasi, Universitas Surabaya, Surabaya 60293, Indonesia

(*Email Korespondensi: mayalouk@staff.ubaya.ac.id)

Abstrak: Gempa bumi dan angin puting beliung merupakan dua jenis bencana alam yang sering terjadi di Indonesia dan kerap menimbulkan kerusakan signifikan serta korban jiwa. Tingginya angka korban sering kali disebabkan oleh kurangnya edukasi kebencanaan sejak dini, terutama di tingkat sekolah dasar. Penelitian ini mengusulkan sebuah model pembelajaran interaktif berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan literasi bencana pada anak usia sekolah dasar, khususnya terkait gempa bumi dan angin puting beliung. Sistem yang dikembangkan terdiri dari maket edukatif yang dilengkapi dengan sensor *accelerometer* untuk mendeteksi getaran dan *anemometer* untuk mendeteksi kekuatan angin yang terhubung dengan unit pemroses *Raspberry Pi* lalu mengirimkan data *Cloud Computing Azure* untuk data dapat diolah dan ditampilkan secara menarik pada *website* edukasi. Dalam hal ini akan dilakukan simulasi guncangan dan hembusan angin. Sensor ini terhubung ke sebuah *platform website* edukasi yang menampilkan data *real-time* serta materi pembelajaran interaktif. Hasil pengujian akhir dilakukan dan disimulasikan di SD Kristen Petra 13 untuk kelas 3 dan 4, dari hasil wawancara menunjukkan bahwa sistem berjalan dengan baik dan materi simulasi bencana gempa bumi dan angin puting beliung dapat disampaikan oleh guru secara lebih menarik dan mudah dipahami oleh siswa. Model ini berpotensi menjadi media pembelajaran yang inovatif dalam mendukung program mitigasi bencana di lingkungan pendidikan dasar.

Kata Kunci: *Internet of Things*, edukasi kebencanaan, gempa bumi, angin puting beliung, sekolah dasar, pembelajaran interaktif

Abstract: Earthquakes and tornadoes are among the most frequent natural disasters in Indonesia, often resulting in substantial damage and loss of life. A major contributing factor to the high casualty rates is the lack of early disaster education, particularly at the elementary school level. This study proposes an interactive learning model based on the Internet of Things (IoT) to enhance disaster literacy among elementary school students, with a focus on earthquakes and tornadoes. The system comprises an educational miniature equipped with an accelerometer to detect tremors and an anemometer to measure wind intensity, both connected to a Raspberry Pi processing unit. Data collected is transmitted to Azure Cloud Computing for real-time processing and visualization on an educational website. The platform features interactive learning materials and real-time data simulations of seismic activity and wind gusts. The final system was tested through simulations conducted with third- and fourth-grade students at Petra 13 Christian Elementary School. Survey and interview results indicate that the system operated effectively and enabled teachers to deliver disaster education in a more engaging and comprehensible manner. The proposed model shows strong potential as an innovative educational tool to support disaster mitigation efforts in primary education settings.

Keywords: Internet of Things, disaster education, earthquake, tornado, elementary school, interactive learning

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat risiko bencana alam tertinggi di dunia. Letaknya yang berada di kawasan Cincin Api Pasifik menjadikan wilayah ini rawan terhadap berbagai bencana geologis dan meteorologis, seperti gempa bumi dan angin puting beliung. Data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia berada dalam kategori risiko tinggi terhadap bencana, baik dari sisi frekuensi kejadian maupun dampaknya terhadap kehidupan masyarakat (BNPB, 2020). Dalam konteks tersebut, peningkatan kapasitas masyarakat dalam menghadapi bencana menjadi sangat penting, termasuk melalui jalur pendidikan. UNESCO melalui *Comprehensive School Safety Framework* menekankan bahwa pendidikan kebencanaan harus dimulai sejak usia dini sebagai bagian dari strategi mitigasi dan pengurangan risiko bencana (UNESCO, 2022). Tingginya frekuensi kejadian ini menuntut upaya peningkatan literasi bencana, terutama di kalangan anak-anak usia sekolah dasar yang merupakan kelompok rentan. Penelitian menunjukkan bahwa kurangnya pemahaman dan keterampilan dasar mitigasi bencana menjadi salah satu penyebab utama tingginya angka korban jiwa pada kelompok usia ini (Maharani et al., 2024). Anak-anak, terutama siswa sekolah dasar, merupakan kelompok rentan yang membutuhkan pemahaman menyeluruh mengenai bencana dan langkah-langkah penyelamatan diri yang tepat. Namun, hingga kini masih banyak sekolah dasar di Indonesia yang belum menerapkan pendidikan kebencanaan secara sistematis dan menyeluruh (Setiyawan & Nugraha, 2021). Oleh karena itu, pendidikan kebencanaan yang terstruktur dan kontekstual sangat penting untuk ditanamkan sejak dini di lingkungan sekolah dasar (Nuraya, 2024).

Upaya integrasi pendidikan kebencanaan ke dalam sistem pendidikan dasar telah dilakukan dengan berbagai pendekatan. Salah satu pendekatan yang menunjukkan potensi besar adalah penggunaan teknologi *digital* dan perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT). Pemanfaatan IoT dalam sistem pemantauan bencana juga telah terbukti mendukung pengambilan keputusan dini di berbagai negara. APEC (2019) menguraikan bagaimana sistem berbasis IoT dapat digunakan untuk memantau gempa dan banjir secara *real-time*, memberikan data yang relevan untuk proses edukasi maupun peringatan dini. Selain itu, pendekatan gamifikasi yang terintegrasi dengan IoT juga telah diterapkan untuk meningkatkan keterlibatan dan kesadaran siswa dalam konteks pendidikan lingkungan dan mitigasi (Mylonas et al., 2023). Sakurai dan Shaw (2022) menekankan bahwa pendidikan kebencanaan berbasis *digital* tidak hanya mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), tetapi juga mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif dan berkelanjutan bagi siswa. Seiring perkembangan teknologi, pendekatan pembelajaran berbasis *Internet of Things* (IoT) menjadi alternatif potensial untuk menyampaikan materi kebencanaan secara lebih interaktif dan kontekstual. Teknologi IoT memungkinkan penyajian data *real-time* dari sensor lingkungan seperti getaran atau kecepatan angin, sehingga siswa dapat mengalami simulasi kondisi bencana secara langsung dalam lingkungan yang aman dan terkontrol. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi bencana dan memperkuat keterlibatan mereka dalam proses belajar (Winarno et al., 2022). Integrasi teknologi IoT dalam konteks pendidikan kebencanaan telah diterapkan dalam berbagai studi. Misalnya, Tsuei, Chang, dan Chiu (2022) mengembangkan model edukasi berbasis pemrograman IoT untuk pencegahan tanah longsor pada anak-anak, yang terbukti dapat meningkatkan keterampilan berpikir komputasional meskipun pemahaman konsep bencana masih perlu dikuatkan. Di sisi lain, How et al. (2020) merancang *flood learning kit* yang menggabungkan miniatur fisik dan *e-learning* interaktif untuk membangun ketangguhan pengetahuan siswa sekolah dasar terhadap bencana banjir. Dalam konteks sekolah, Qureshi et al. (2021) mengusulkan sistem *monitoring* dan *alert* berbasis IoT yang mampu meningkatkan keamanan dan kenyamanan lingkungan belajar. Sistem semacam ini membuka peluang besar untuk diadaptasi ke dalam simulasi dan praktik pendidikan kebencanaan yang lebih realistis dan berbasis data. Kombinasi antara teknologi, media interaktif, dan pedagogi yang disesuaikan dengan usia peserta didik menjadi faktor penting dalam menciptakan pengalaman belajar yang efektif dan bermakna.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan model pembelajaran interaktif berbasis IoT guna meningkatkan literasi bencana pada anak usia sekolah dasar, dengan fokus pada gempa bumi dan angin puting beliung. Model ini dirancang untuk mengintegrasikan maket fisik, sensor getar dan anemometer, serta platform

edukasi berbasis web sebagai satu kesatuan sistem pembelajaran yang adaptif dan inovatif. Pembelajaran interaktif berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat digunakan untuk meningkatkan literasi bencana pada siswa sekolah dasar. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan perangkat sensor, media digital, dan platform web edukatif untuk mendukung proses belajar yang tidak hanya teoritis tetapi juga berbasis simulasi nyata.

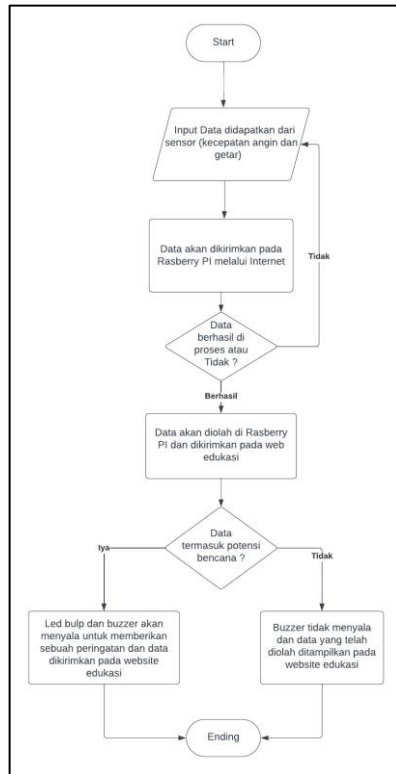
2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan mengadaptasi model pengembangan Borg & Gall (Gall, Gall, & Borg, 2007) yang telah disederhanakan menjadi beberapa tahapan utama: (1) potensi dan masalah, (2) pengumpulan data, (3) desain produk, (4) validasi desain, (5) revisi desain, (6) uji coba produk terbatas, (7) revisi produk akhir, dan (8) uji coba lapangan. Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan menghasilkan produk model pembelajaran interaktif berbasis IoT yang efektif dalam meningkatkan literasi bencana.

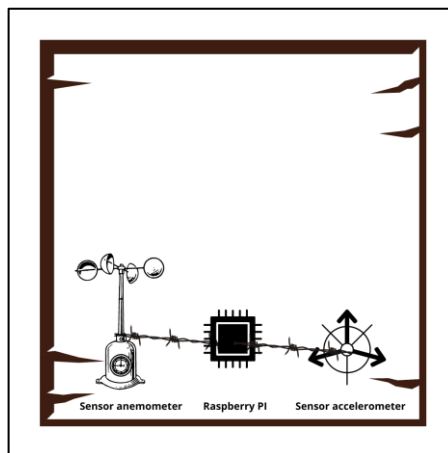
- Lokasi dan Subjek Penelitian: Penelitian dilaksanakan di salah satu sekolah dasar yang berada di wilayah rawan bencana (misalnya daerah rawan gempa, banjir, atau gunung berapi).
- Subjek penelitian terdiri dari: Siswa SD kelas IV–VI sebagai peserta pembelajaran, Guru kelas/Guru Pengajar, Ahli materi kebencanaan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)
- Prosedur Pengembangan
 - Identifikasi Potensi dan Masalah: Survei awal dan wawancara dengan guru dan siswa untuk mengidentifikasi kebutuhan dan pemahaman awal tentang bencana.
 - Pengumpulan Data Awal: Studi pustaka dan analisis kurikulum terkait literasi bencana serta kajian teknologi IoT yang relevan untuk pembelajaran anak.
 - Perancangan Model Pembelajaran: Mendesain model pembelajaran interaktif berbasis IoT, yang melibatkan skenario simulasi kebencanaan, sensor-sensor bencana (misalnya sensor getar untuk gempa), serta media pembelajaran digital.
 - Validasi Produk: Model divalidasi oleh ahli materi, ahli pembelajaran anak usia SD, dan ahli teknologi IoT menggunakan instrumen validasi yang telah dikembangkan.
 - Uji Coba Terbatas: Produk diuji coba dalam skala kecil pada satu kelas. Data efektivitas dan umpan balik dikumpulkan melalui observasi, angket, dan wawancara.
 - Revisi Produk: Berdasarkan hasil uji coba terbatas, dilakukan perbaikan pada model pembelajaran dan perangkat teknologinya.
 - Uji Coba Lapangan: Pengujian model secara lebih luas di beberapa kelas/sekolah untuk melihat efektivitasnya terhadap peningkatan literasi bencana.

3. Desain & Hasil

Alur keseluruhan proses sistem pembelajaran interaktif yang dikembangkan memanfaatkan *teknologi Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan literasi bencana pada anak usia sekolah dasar dapat dilihat pada Gambar 1. Alur kerja sistem diawali dengan proses akuisisi data dari sensor, yaitu sensor kecepatan angin dan sensor getaran. Sensor ini berfungsi untuk menangkap gejala-gejala awal yang dapat mengindikasikan potensi bencana alam seperti angin kencang atau gempa bumi. Data dari sensor kemudian dikirimkan secara *real-time* ke unit pemroses berupa *Raspberry Pi* melalui koneksi internet. Selanjutnya, *Raspberry Pi* akan memproses data tersebut dan informasi yang diperoleh akan dikirimkan dan ditampilkan di *platform website* edukasi yang telah dikembangkan sebagai media pembelajaran siswa. Setelah data berhasil diolah, sistem akan melakukan analisis untuk menentukan apakah data tersebut mengindikasikan potensi bencana. Jika data menunjukkan adanya potensi bahaya, maka sistem akan mengaktifkan indikator berupa lampu LED dan *buzzer* sebagai peringatan dini. Selain itu, informasi ini juga dikirimkan ke *website* edukasi untuk memberikan pemahaman langsung kepada siswa mengenai kondisi bencana yang sedang disimulasikan atau benar-benar terjadi. Dengan pendekatan ini, siswa dapat memahami kondisi lingkungan secara aktual sekaligus belajar mengenai respons yang tepat terhadap potensi bencana.



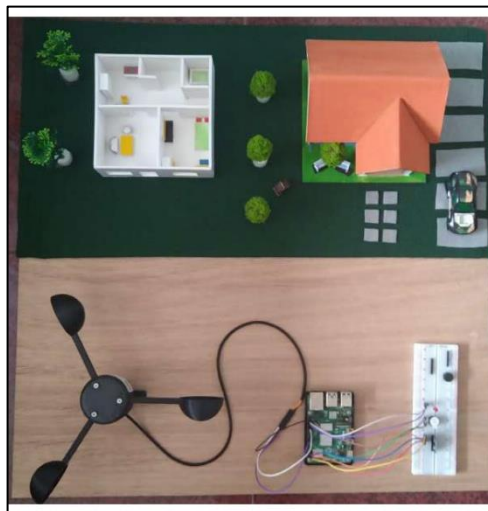
Gambar 1. Flowchart Alur Keseluruhan Proses



Gambar 2. Desain Alat

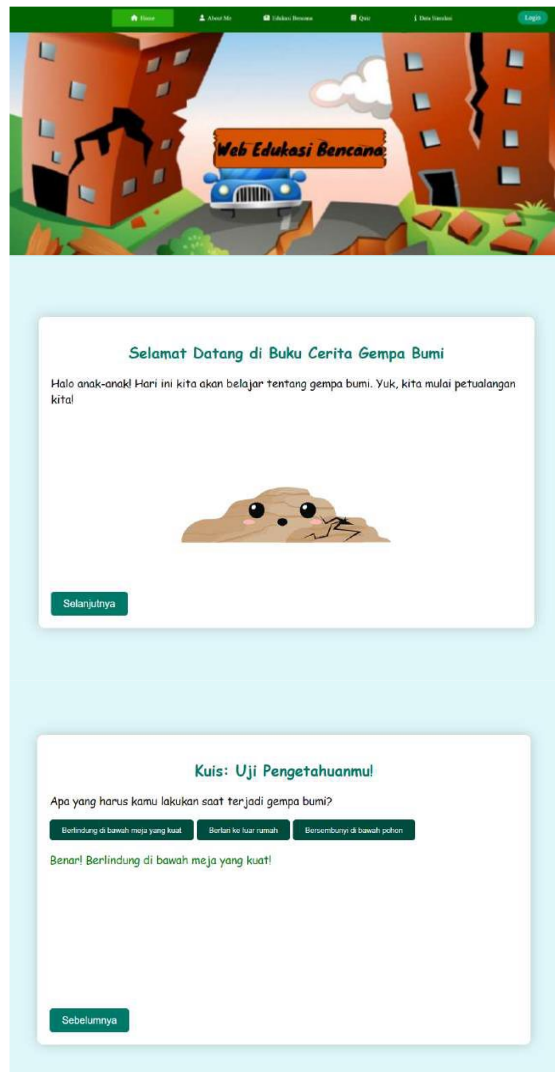
Gambar 1 dan 2 merupakan desain alat menggambarkan konfigurasi sistem sensor berbasis *Internet of Things* (IoT) yang digunakan dalam model pembelajaran literasi bencana. Sistem ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu sensor *anemometer* dan sensor *accelerometer*, yang terhubung ke *Raspberry Pi* sebagai unit pemroses pusat. Sensor

anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan angin, sementara sensor *accelerometer* mendeteksi getaran atau perubahan percepatan yang dapat mengindikasikan gempa bumi. Data dari kedua sensor dikirim secara *real-time* ke *Raspberry Pi* untuk dianalisis, selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam memberikan notifikasi bencana maupun materi pembelajaran kontekstual kepada siswa sekolah dasar. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman dan kesiapsiagaan siswa terhadap bencana melalui pengalaman belajar yang berbasis teknologi dan lingkungan nyata.



Gambar 3. Implementasi Alat dan Maket untuk Bencana Alam

Gambar 3 memperlihatkan implementasi sistem simulasi berbasis maket yang telah terintegrasi dengan berbagai sensor. Maket ini merepresentasikan sebuah lingkungan rumah lengkap dengan denah interior, sebuah model mobil, dan komponen baling-baling yang berfungsi sebagai sensor anemometer untuk mendeteksi kecepatan angin. Kotak putih yang terlihat pada gambar merupakan bagian dari rangkaian kerja sensor anemometer. Seluruh sistem dirancang untuk mensimulasikan kondisi bencana secara interaktif, yang memungkinkan proses edukasi mitigasi bencana dilakukan secara nyata dan kontekstual. Mekanisme kerja sistem dimulai ketika seluruh sensor telah dipasang dan tim edukasi melakukan simulasi dengan menggoyangkan maket. Sensor gempa akan mendeteksi getaran tersebut dan secara otomatis melakukan akuisisi data. Data getaran kemudian diolah menjadi skala intensitas gempa (skala *Richter*) dan diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu sesuai tingkat potensi kerusakan. Untuk skenario angin puting beliung, simulasi dilakukan dengan mendekatkan kipas angin atau kipas *portable* ke bagian luar maket. Sensor anemometer akan menangkap kecepatan angin yang dihasilkan dan mengkonversinya menjadi data numerik sebagai representasi kekuatan angin. Sistem ini memungkinkan representasi realistis terhadap dampak bencana yang dapat diamati secara langsung oleh peserta edukasi.



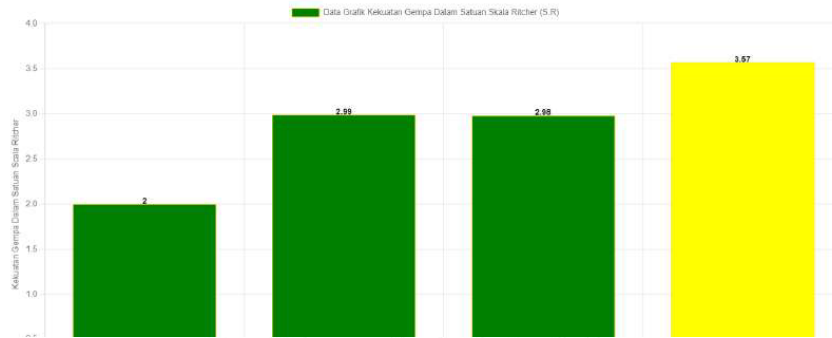
Gambar 4. Implementasi Website Informasi IoT

Proses implementasi sistem edukasi berbasis *web* dalam penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman HTML dan PHP sebagai fondasi utama pengembangan. Untuk memperkuat tampilan antarmuka, digunakan *framework* Bootstrap yang berfungsi sebagai pelengkap dari CSS. Penggunaan Bootstrap memungkinkan tampilan antarmuka menjadi lebih responsif dan estetis, sehingga dapat meningkatkan kenyamanan pengguna, khususnya peserta didik pada jenjang sekolah dasar, dalam mengakses dan memahami konten yang disediakan oleh platform ini. Pada halaman bertajuk "*Apa Itu Gempa?*", implementasi antarmuka pengguna (UI) dilengkapi dengan skrip berbasis JavaScript yang berfungsi untuk mengaktifkan fitur kuis interaktif sederhana. Elemen visual halaman ini juga didesain menyerupai tampilan buku melalui pemanfaatan struktur *div* dan pengaturan CSS yang terintegrasi, sehingga menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik dan intuitif. Selain kuis interaktif yang ditampilkan pada Gambar 4 halaman ini juga menyajikan informasi edukatif mengenai bencana gempa bumi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

Data Kekuatan Gempa

Berikut ini adalah data yang ditangkap oleh sensor gempa :

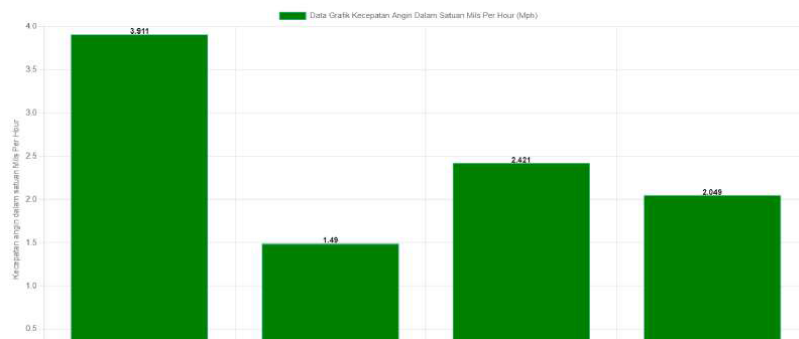
Scala Richter	Warning Status
2.99	Gempa Tidak Terasa



Data Kekuatan Angin Puting Beliung

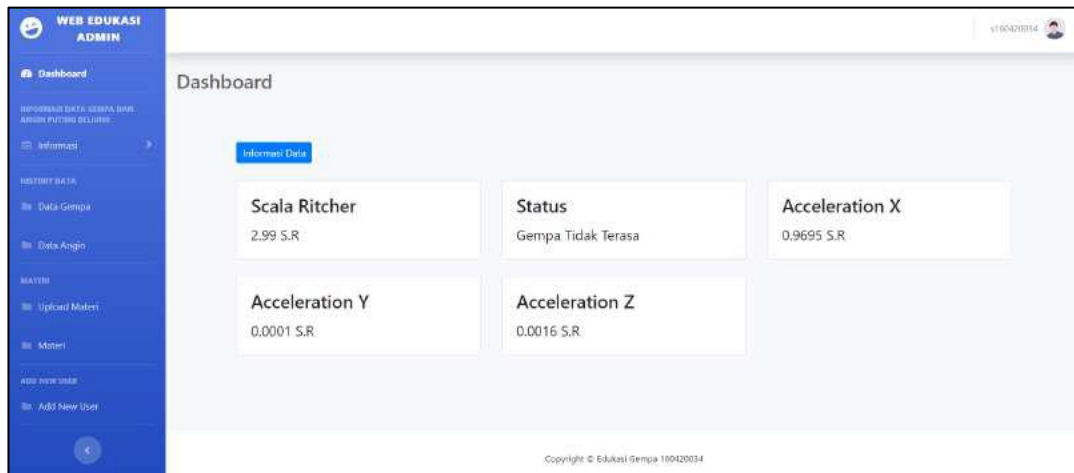
Berikut ini adalah data yang ditangkap oleh sensor angin :

Wind Speed	Warning Status
2.049	Angin Berkecepatan Normal



Gambar 5. Penyajian Data untuk Sensor Anemometer dan Sensor Accelerometer

Halaman Data Angin pada sistem edukasi ini menyajikan informasi mengenai kecepatan angin yang diukur dalam satuan mil per jam (*miles per hour/Mph*), serta status peringatan (*warning status*) yang relevan. Data tersebut ditampilkan dalam dua format, yaitu tabel dan grafik, untuk mempermudah pemahaman pengguna terhadap tren dan fluktuasi kecepatan angin. Seluruh data yang disajikan merupakan hasil akuisisi dari sensor anemometer yang telah diimplementasikan pada maket, dan visualisasi grafik dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman JavaScript dengan dukungan fungsi *graphing* untuk meningkatkan keterbacaan dan interaktivitas data. Sementara itu, halaman *Data Gempa* menyajikan informasi mengenai intensitas gempa bumi, yang juga dilengkapi dengan grafik visualisasi data. Grafik ini dibentuk berdasarkan data historis yang tersimpan dalam basis data (*database*) yang menerima *input* secara langsung dari sensor gempa. Selain grafik, data juga disajikan dalam bentuk tabel yang memuat informasi rinci mengenai kekuatan gempa serta klasifikasi status gempa. Penyajian ganda dalam bentuk tabel dan grafik bertujuan untuk mendukung pemahaman komprehensif terhadap data seismik oleh pengguna, terutama dalam konteks edukasi mitigasi bencana.



Gambar 6. Tampilan *Dashboard* untuk admin

Gambar 5 merupakan tampilan *dashboard* admin, tersedia fitur tampilan data gempa yang menyajikan informasi secara lebih lengkap dibandingkan dengan yang disediakan pada *website* edukasi. Fitur ini dirancang khusus untuk memberikan akses penuh kepada pihak admin dan pendidik (guru) sebagai edukator terhadap seluruh data yang diterima dari sensor pemantauan gempa. Seluruh data tersebut disajikan dalam bentuk tampilan *card* yang sistematis dan terstruktur, sehingga memudahkan pengguna dalam menavigasi serta memahami informasi yang ditampilkan. Pendekatan visual berbasis *card* ini dipilih untuk meningkatkan keterbacaan dan efisiensi pemahaman, terutama dalam konteks pengambilan keputusan dan penyampaian materi edukatif berbasis data *real-time*. Pada *dashboard* ini juga disediakan unggah materi, sistem memungkinkan pengguna untuk mengunggah materi pembelajaran dalam format *file* tertentu, yaitu *.jpg*, *.ppt*, *.pptx*, dan *.zip*. Pembatasan jumlah unggahan hanya satu *file* per proses diimplementasikan untuk menjaga kestabilan sistem dan kesederhanaan antarmuka pengguna. Oleh karena itu, dukungan terhadap format *.zip* disediakan sebagai alternatif bagi pengguna yang ingin mengunggah beberapa berkas sekaligus dalam satu paket terkompresi. Implementasi antarmuka pengguna (*user interface*) pada halaman ini dirancang secara intuitif guna memfasilitasi proses unggah materi secara efisien. Selanjutnya, pada halaman materi, pengguna dapat mengakses dan mengunduh *file* yang telah disediakan oleh admin atau guru sebagai bagian dari proses penyuluhan dan edukasi. Fitur ini dilengkapi dengan tombol *download* yang dirancang agar ketika pengguna menekan tombol tersebut, *file* terkait secara otomatis akan terunduh ke perangkat pengguna. Selain itu, sistem juga menyediakan halaman *add new user* yang memungkinkan pengguna dengan peran admin untuk menambahkan akun baru dengan peran guru. Peran guru dibatasi hanya pada fungsi unggah dan unduh materi, tanpa memiliki hak akses terhadap manajemen data lainnya pada sistem. Proses penambahan pengguna dilakukan melalui formulir dengan metode *POST*, di mana setelah semua informasi diisi dengan lengkap, data akan langsung dikirim dan disimpan ke dalam basis data (*database*) secara otomatis.


```
PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS

Waktu saat ini (jam:menit:detik): 10:33:04
Earth Quake Detection
-----
Scala Richter: 2.95
Messages : Gempa Tidak Terasa
2.95
success

Waktu saat ini (jam:menit:detik): 10:33:10
Earth Quake Detection
-----
Scala Richter: 4.35
Messages : Gempa Terasa dan Gempa skala menengah
4.35
success

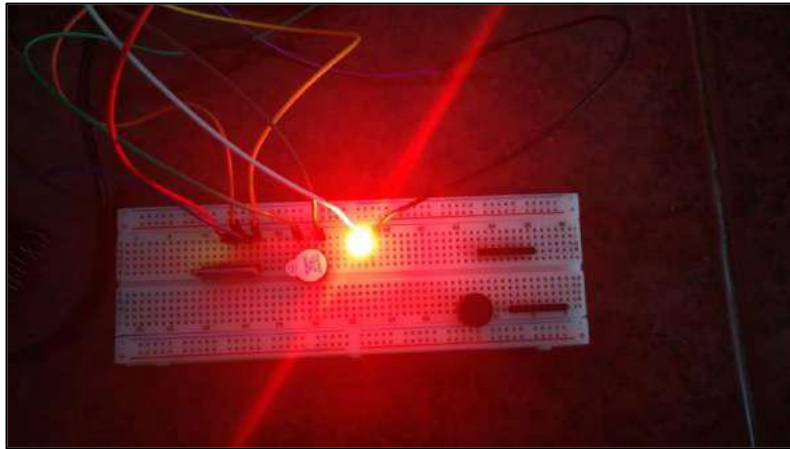
Waktu saat ini (jam:menit:detik): 10:33:17
Earth Quake Detection
-----
Scala Richter: 4.43
Messages : Gempa Terasa dan Gempa skala menengah
4.43
success

Waktu saat ini (jam:menit:detik): 10:33:23
Earth Quake Detection
-----
Scala Richter: 5.1
Messages : Gempa Terasa Sangat Kuat
5.1
success
```

```
(myenv) pi@raspberrypi:~/speed_wind $ python app.py
Measuring wind speed...
23 rotations = 2.30 rotations/second
Windspeed is 1.91 m/s = 4.28 mph
4.283
Kecepatan angin normal dan aman
success
(myenv) pi@raspberrypi:~/speed_wind $ python app.py
Measuring wind speed...
38 rotations = 3.80 rotations/second
Windspeed is 3.16 m/s = 7.08 mph
7.077
Kecepatan angin normal dan aman
success
(myenv) pi@raspberrypi:~/speed_wind $ python app.py
Measuring wind speed...
32 rotations = 3.20 rotations/second
Windspeed is 2.66 m/s = 5.96 mph
5.959
Kecepatan angin normal dan aman
success
```

Gambar 7. Hasil Uji coba yang Telah Dilakukan dengan Sensor Accelerometer dan Anemometer

Proses verifikasi sistem telah dilakukan dengan menjalankan alat simulasi yang telah terintegrasi dengan sensor *accelerometer* dan *anemometer*. Verifikasi awal dilakukan dengan mengguncangkan sensor *accelerometer* yang dipasang pada maket. Ketika maket diguncangkan secara manual oleh tim edukasi, sensor secara otomatis mendeteksi getaran tersebut dan merekam data sesuai dengan intensitas guncangan. Simulasi ini dilakukan secara berulang untuk memastikan konsistensi dan akurasi sensor dalam mendeteksi getaran. Berdasarkan hasil pengujian, sensor berhasil mencatat getaran hingga mencapai 5.1 skala *Richter*, yang kemudian menghasilkan keluaran berupa pesan peringatan “gempa terasa sangat kuat”. Sistem juga dirancang untuk mengirimkan data setiap 10 detik guna menghindari kehilangan data (*data loss*). Informasi yang dihasilkan secara otomatis akan ditampilkan pada antarmuka website edukasi dalam bentuk pesan dan pembaruan grafik data seismik secara *real-time*. Selain sensor *accelerometer*, dilakukan pula verifikasi terhadap sensor *anemometer* yang berfungsi untuk mengukur kecepatan angin. Sensor ini merekam data dalam satuan *Miles per Hour* (MPH) dan memberikan informasi status kecepatan angin secara otomatis. Verifikasi dilakukan melalui pengujian berulang dengan memanfaatkan kipas angin sebagai media simulasi. Setiap hasil pengukuran yang diperoleh akan ditampilkan lengkap dengan status kategorinya, misalnya angin lemah, sedang, atau kuat. Hasil data dari sensor anemometer ini juga secara otomatis ditransmisikan ke sistem dan ditampilkan pada website edukasi, yang selanjutnya memperbarui grafik visualisasi kecepatan angin berdasarkan intensitas hembusan yang diterima sensor. Proses verifikasi ini menunjukkan bahwa sistem simulasi edukatif yang dikembangkan mampu merekam dan menyajikan data secara *real-time* dengan integrasi yang baik antara perangkat keras (sensor) dan antarmuka perangkat lunak (website edukasi), sehingga mendukung efektivitas penyampaian informasi kebencanaan secara interaktif dan berbasis data aktual.



Gambar 7. Sensor Accelerometer Ketika Menangkap Data Gempa Yang Tinggi

Sensor getaran yang telah terintegrasi dengan komponen *buzzer* dan LED dirancang untuk merespons secara otomatis apabila terdeteksi adanya getaran gempa dengan kekuatan minimal 3.0 skala *Richter*. Ketika ambang batas ini tercapai, sistem akan mengaktifkan *buzzer* yang menghasilkan suara alarm dengan intensitas tinggi sebagai peringatan dini terhadap potensi bahaya gempa bumi. Selain itu, LED indikator akan menyala sebagai penanda visual bahwa guncangan yang terdeteksi memiliki potensi menimbulkan kerusakan serta risiko terhadap keselamatan jiwa. Implementasi sistem ini bertujuan untuk memberikan peringatan secara cepat dan jelas kepada pengguna maupun masyarakat sekitar. Aktivasi LED merah menjadi indikator bahwa peringatan telah dikonfirmasi, dan bahwa kekuatan gempa berada pada level yang dapat dirasakan oleh manusia. Gambar 7 menunjukkan kondisi ketika sensor mendeteksi getaran ≥ 3.0 skala *Richter*, dengan LED menyala dan *buzzer* berbunyi sebagai representasi bahwa sistem peringatan bencana telah aktif untuk merespons kemungkinan dampak yang signifikan.

Validasi sistem dilakukan di SD Kristen Petra 13, Surabaya yang melibatkan 1 guru dan siswa kelas 3 & 4. Berdasarkan hasil wawancara terhadap guru dan siswa kelas 3 & 4. Setelah mendemokan dan melakukan simulasi di depan guru dan siswa kelas 3 & 4 yang berjumlah 13 orang, maka dilakukan wawancara mengenai kepuasan sistem apakah tujuan dari penelitian ini telah berhasil. Wawancara dilakukan secara terpisah dengan 1 guru untuk mendapatkan *feedback* dari sudut pandang guru, lalu untuk wawancara siswa kelas 3 & 4 dilakukan secara berkelompok sambil mendemokan dan melihat respons siswa dan memberikan pertanyaan sehingga siswa menjawab lebih objektif tanpa merasa sedang diwawancarai. Pertanyaan wawancara meliputi (1) kemanfaatan dan pemahaman materi; (2) kemudahan penggunaan dan aksesibilitas; (3) evaluasi fitur interaktif; (4) daya tarik dan desain.

Tabel 1. Hasil Wawancara

Aspek	Temuan	Keterangan Tambahan
Kemudahan Pemahaman	Website cukup mudah dipahami, materi disampaikan dengan jelas.	Beberapa anak mengalami kebingungan pada gambar penjelasan gempa, namun bisa dipahami dengan pendampingan.
Kelengkapan & Informatif	Materi dianggap informatif, khususnya topik angin puting beliung.	Salah satu anak belum pernah mendapat materi ini di sekolah, sehingga materi menjadi pengetahuan baru.
Quiz	Kuis dinilai sangat mudah.	Seluruh pertanyaan sudah dibahas pada halaman sebelumnya, sehingga mudah dijawab.

Grafik	Mudah dipahami.	Penggunaan warna yang bervariasi membantu memahami skala bahaya secara visual.
Visual Gambar	Gambar mendukung pemahaman dan menarik.	12 responden menyatakan gambar pada setiap halaman membantu memahami materi.
Maket Simulasi	Maket efektif dan menarik.	Alarm dan getaran saat simulasi gempa meningkatkan realisme dan daya tarik dalam memahami materi bencana.

Dari hasil Tabel 1 menunjukkan bahwa mayoritas responden menyatakan bahwa website edukasi ini mudah dipahami, dengan materi yang disampaikan secara jelas. Beberapa anak mengalami kebingungan pada penjelasan visual mengenai penyebab gempa, namun hal tersebut dapat diatasi melalui pendampingan. Responden juga menilai bahwa informasi terkait bencana angin puting beliung sangat informatif, terutama bagi anak-anak yang belum pernah mempelajarinya di sekolah. Kuis yang disediakan dinilai mudah karena sesuai dengan materi yang telah dijelaskan sebelumnya. Visualisasi grafik dianggap membantu karena penggunaan warna yang menunjukkan tingkat bahaya secara jelas. Responden juga menyatakan bahwa penggunaan gambar pada setiap halaman membuat materi lebih menarik dan mudah dipahami. Selain itu, maket yang disediakan dinilai efektif dalam memberikan gambaran simulasi gempa, terlebih dengan adanya alarm yang aktif saat gempa terjadi, sehingga menambah daya tarik dan pemahaman siswa terhadap materi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan evaluasi, diperoleh kesimpulan bahwa sistem edukasi bencana gempa dan angin puting beliung berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu meningkatkan pemahaman siswa sekolah dasar, khususnya kelas 3 dan 4 terhadap materi kebencanaan. Penggunaan maket interaktif yang dilengkapi dengan sensor *accelerometer* dan *anemometer* terbukti efektif dalam mendukung proses pembelajaran oleh guru serta mempermudah siswa dalam memahami mekanisme kerja sistem peringatan dini saat terjadi bencana. Selain itu, integrasi dengan website edukasi yang memuat materi dan kuis interaktif memberikan manfaat tambahan dalam memperkuat retensi informasi melalui proses pembelajaran mandiri dan berulang. Sistem ini menunjukkan keberhasilan dalam mengintegrasikan perangkat keras (sensor dan mikrokontroler *Raspberry Pi*) dengan layanan *cloud computing* (*Azure*) serta antarmuka pengguna berbasis *web* secara *real-time*. penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan pada ketergantungan terhadap konektivitas internet untuk mengakses data secara *real-time*. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan untuk sistem kebencanaan lainnya, seperti tanah longsor dan materi interaktif dilengkapi dengan materi audio dan video dan juga simulasi pengintegrasian dengan sistem peringatan dini nasional.

Daftar Pustaka

- Agusty, A. I., Alifteria, F. A., & Anggaryani, M. (2021). STEM in disaster learning media: A literature review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2110(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2110/1/012016>
- Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC). (2019). Application of Internet of Things in Earthquakes and Waterfloods Monitoring System. Retrieved from https://www.apec.org/docs/default-source/Publications/2019/6/Application-of-Internet-of-Things-in-Earthquakes-and-Waterfloods-Monitoring-System/219_TEL_Application-of-Internet-of-Things-in-Earthquakes-and-Water-floods-Monitoring-System.pdf.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2020). Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2020. BNPB. <https://inarisk.bnpb.go.id/pdf/BUKU%20IRBI%202020%20KP.pdf>
- Gall, M. D., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2007). *Educational research: An introduction* (8th ed.). Pearson Education.

- <https://archive.org/details/educationalresea0008gall>
- How, V., Azmi, E. S. B., Mohd Zaki, N. F. B., & Othman, K. B. (2020). Integrating flood education miniature and interactive E-learning in a prototype of flood learning kit for knowledge resilience among school children. In *An interdisciplinary approach for disaster resilience and sustainability* (pp. 355-368). Springer Singapore.
- Maharani, S., Sari, R. P., Ikbali, R. N., & Rahmi, H. (2024). Pendidikan Mitigasi Bencana dan Kesiapsiagaan Anak dalam Menghadapi Gempa Bumi di SDN 09 Berok Nipah. *JK JURNAL ILMU KESEHATAN*, 8(2), 433-438.
- Mylonas, G., Paganelli, F., Cuffaro, G., Nesi, I., & Karantzis, D. (2023). Using gamification and IoT-based educational tools towards energy savings-some experiences from two schools in Italy and Greece. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(12), 15725-15744.
- Nuraya, T. (2024). Edukasi Mitigasi Bencana Banjir di Sekolah Dasar Pertiwi Kota Pontianak Kalimantan Barat. *Bina Bahari*, 3(1), 7-13.
- Sakurai, M., & Shaw, R. (2022). The potential of digitally enabled disaster education for sustainable development goals. *Sustainability*, 14(11), 6568.
- Setiawan, S., & Nugraha, A. (2021). The effect of disaster education on the ability of adolescents to recognize COVID-19 prevention. *Jurnal Pendidikan Keperawatan Indonesia*, 7(2), 129-135. <https://www.researchgate.net/publication/376227152>
- Tsuei, M., Chang, Y. C., & Chiu, J. I. (2022, June). Use of IoT Programming in Mudslide Disaster Prevention Education for Children. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 133-137). Cham: Springer International Publishing.
- UNESCO. (2022). Comprehensive school safety framework 2022-2030: For child rights and resilience in the education sector. <https://inee.org/sites/default/files/resources/The-Comprehensive-School-Safety-Framework-2022-2030-for-Child-Rights-and-Resilience-in-the-Education-Sector.pdf>
- Qureshi, K. N., Naveed, A., Kashif, Y., & Jeon, G. (2021). Internet of Things for education: A smart and secure system for schools monitoring and alerting. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107275.