

SISTEM PERINGATAN DINI GEMPA DAN TSUNAMI MENGGUNAKAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Wiwik Supriyatin ¹⁾, Moh. Eno Farhan ²⁾, Syahrullah ³⁾, Deny Wiria Nugraha ⁴⁾,
Yuri Yudhaswana Joeffie ⁵⁾

^{1,2,4)} Magister Teknologi Informasi Universitas Tadulako

³⁾ Sistem Informasi Universitas Tadulako

⁵⁾ Teknik Informatika Universitas Tadulako

email : f5522530004@untad.ac.id ¹⁾, f5522530015@untad.ac.id ²⁾, Syahrullah@untad.ac.id ³⁾,
deny.wiria.nugraha@untad.ac.id ⁴⁾, yuri.yudhaswana@untad.ac.id ⁵⁾

Abstraksi

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan keselamatan publik melalui penyediaan prediksi tsunami yang cepat dan andal dengan memanfaatkan algoritma *Artificial Neural Network* (ANN) dalam sistem berbasis web. Masalah utama yang diangkat adalah tingginya risiko kerugian material dan korban jiwa akibat keterlambatan informasi serta potensi *false alarm* pada pengolahan data konvensional. Metode penyelesaian dilakukan dengan menerapkan arsitektur jaringan saraf ANN (susuna lapisan layer 9-10-8-1) yang mengolah parameter Magnitudo, Kedalaman, Jarak ke Pantai, serta Jenis Patahan sebagai input utama. Hasil perancangan menunjukkan performa sistem yang sangat presisi, dibuktikan dengan perolehan nilai Error Akhir sebesar 0,004950 pada iterasi ke-58 yang merepresentasikan tingkat akurasi pelatihan mencapai 99,50%. Selain itu, pengujian pada skenario gempa Magnitudo 7.5 menghasilkan Probabilitas Tsunami sebesar 93,38% dengan tingkat kepercayaan tinggi. Integrasi ANN dalam platform web ini terbukti mampu menyediakan informasi yang terstruktur, akurat, dan ramah pengguna sebagai instrumen krusial dalam pengambilan tindakan tanggap bencana yang efektif.

Kata Kunci:

Peringatan Dini, Gempa, Tsunami, Bencana Alam

Abstract

This study aims to improve public safety by providing fast and reliable tsunami predictions using Artificial Neural Network (ANN) algorithms in a web-based system. The main problem addressed is the high risk of material losses and casualties due to delayed information and the potential for false alarms in conventional data processing. The solution method is carried out by applying an ANN neural network architecture (9-10-8-1 layer structure) that processes the parameters of Magnitude, Depth, Distance to the Coast, and Fault Type as the main inputs. The design results show a highly precise system performance, as evidenced by a Final Error value of 0.004950 in the 58th iteration, representing a training accuracy level of 99.50%. Additionally, testing on a Magnitude 7.5 earthquake scenario produced a Tsunami Probability of 93.38% with a high confidence level. The integration of ANN in this web platform has proven capable of providing structured, accurate, and user-friendly information as a crucial instrument in effective disaster response actions.

Keywords:

Early Warning, Earthquake, Tsunami, Natural Disaster

Pendahuluan

Bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, badai tropis, banjir, dan letusan gunung berapi, semakin sering mengancam kehidupan dan lingkungan di seluruh dunia. Dengan meningkatnya jumlah dan intensitas bencana, ada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan dan menerapkan sistem yang efektif dalam memberikan peringatan dini kepada masyarakat yang terancam.

Sistem Peringatan Dini/Early Warning System (EWS) gempa dan tsunami yang komprehensif merupakan integrasi multidisiplin yang mencakup: (1) Deteksi Seismik Cepat menggunakan algoritma Convolutional Neural Networks (CNN) untuk

identifikasi gelombang-P yang akurat guna meminimalkan waktu respon awal; (2) Prediksi Anomali Laut di perairan dangkal berbasis Recurrent Neural Networks (RNN/GRU) untuk menghasilkan data pasang surut yang bersih dari *noise* dan memprediksi kejadian tsunami secara *real-time*; (3) Analisis Risiko Spasial secara kuantitatif untuk memetakan potensi robekan patahan, estimasi waktu tiba gelombang (*Estimated Time of Arrival*), dan cakupan luas genangan banjir; serta (4) Efektivitas Diseminasi melalui optimalisasi antarmuka hulu-hilir (*upstream-downstream interface*) yang menjamin informasi teknis dapat diterjemahkan menjadi

tindakan evakuasi masyarakat yang responsif melalui tata kelola administratif dan sosial yang kuat [1], [2], [3], [4].

Kecepatan dalam penyampaian peringatan dini merupakan aspek yang sangat krusial dalam sistem EWS. Dalam bencana seperti gempa bumi dan tsunami, waktu respon yang cepat dapat berarti perbedaan antara hidup dan mati. Contohnya dalam kejadian tsunami, waktu antara peringatan dan kedatangan gelombang tsunami bisa sangat singkat, sehingga penting untuk segera memberitahukan masyarakat agar mereka dapat evakuasi dengan aman.

Tinjauan Pustaka

Untuk mengurangi risiko kerugian yang lebih besar akibat bencana, diperlukan sistem peringatan dini yang efektif serta pengelolaan informasi terkait manajemen bencana. Sistem ini memberikan kesempatan kepada masyarakat untuk menyelamatkan diri, sehingga dampak kerugian dapat diminimalkan. Penerapan dan pemanfaatan sistem peringatan dini (EWS) menjadi langkah strategis dalam membentuk masyarakat yang tanggap, siap, dan cepat bertindak saat menghadapi ancaman bencana. Dengan memahami kebutuhan masyarakat terhadap sistem ini, dapat tercipta kesepakatan bersama untuk merancang sistem peringatan yang mampu menyediakan informasi secara cepat dan akurat. Sistem yang dirancang sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik lokal diharapkan dapat meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi potensi bencana.

Agar sistem peringatan dini berjalan efektif, diperlukan partisipasi aktif dari masyarakat di wilayah rawan bencana. Partisipasi ini meliputi kegiatan peningkatan kesadaran publik, kesiapsiagaan komunitas, serta penyampaian informasi peringatan yang dapat dipercaya. Sistem peringatan dini mencakup serangkaian langkah untuk memberikan informasi secara cepat kepada masyarakat mengenai potensi terjadinya bencana di wilayah tertentu, yang disampaikan oleh otoritas yang berwenang. Sebuah sistem peringatan dini yang efektif dan berfokus pada masyarakat harus memenuhi empat elemen utama, yaitu pemahaman risiko, pemantauan bahaya serta layanan peringatan, penyebaran informasi dan komunikasi, serta kemampuan untuk merespon. Tujuan utama dari sistem ini adalah meningkatkan kapasitas individu dan komunitas dalam menghadapi bencana [6], [7], [8].

Tsunami adalah peristiwa perubahan dasar laut secara tiba-tiba yang menyebabkan perpindahan badan air.

Penyebab tsunami antara lain gempa tektonik bawah laut, letusan gunung berapi, longsor bawah laut, dan meteor yang jatuh ke bumi. Mitigasi terhadap bahaya tsunami mutlak diperlukan.

Beberapa penelitian relevan adalah:

1. Deep Learning for Early Earthquake Detection (Zhaxebay et al., 2025) mengembangkan sistem deteksi dini gempa berbasis Convolutional Neural Networks (CNN) untuk mengidentifikasi gelombang P secara otomatis. Temuan menunjukkan bahwa penggunaan AI mampu meningkatkan akurasi deteksi hingga 94,1%, yang sangat krusial dalam mempercepat waktu respons awal sebelum gelombang S yang merusak tiba [1].
2. Tsunami Tide Prediction in Shallow Water using RNN (Dharmawan et al., 2024) mengimplementasikan model Recurrent Neural Networks (RNN), khususnya varian Gated Recurrent Unit (GRU), untuk memprediksi pasang surut di perairan dangkal Sipora, Indonesia. Penelitian ini berhasil mengatasi kendala ambient noise pada sensor kabel bawah laut, sehingga meningkatkan keandalan identifikasi tsunami di wilayah dekat pantai [3].
3. Assessing Tsunami Risk Along the Aceh Coast (Benazir & Oktari, 2024) melakukan analisis kuantitatif terhadap potensi robekan patahan dan efikasi EWS di Aceh. Studi ini menekankan pentingnya estimasi waktu tiba gelombang (Estimated Time of Arrival - ETA) dan luas genangan banjir untuk menentukan jendela waktu evakuasi yang efektif bagi masyarakat pesisir [2].
4. The Upstream-Downstream Interface of Sri Lanka's Tsunami EWS (Haigh et al., 2020) menyoroti bahwa efektivitas EWS tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada kelancaran antarmuka antara pihak hulu (pusat data/pemerintah) dan hilir (masyarakat). Tantangan administratif dan sosial sering kali menjadi penghambat utama dalam diseminasi informasi peringatan dini [4].
5. Giant Tsunami Monitoring and Hazard Assessment (Mori et al., 2022) memberikan perspektif masa depan mengenai monitoring tsunami raksasa melalui integrasi sensor tekanan dasar laut dan pemodelan numerik global untuk memberikan analisis strategis terhadap ancaman tsunami di masa depan [5].

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya:

1. Integrasi Teknologi Terapan: Penelitian sebelumnya cenderung fokus secara terpisah pada deteksi seismik AI (Zhaxebay et al.) atau

prediksi pasang surut (Dharmawan et al.).

Penelitian ini menggabungkan algoritma deteksi cerdas tersebut dengan mekanisme diseminasi otomatis untuk memangkas waktu tunggu di "mil terakhir" (*last mile*).

2. Fokus pada Kecepatan Diseminasi: Berbeda dengan studi Haigh et al. yang fokus pada analisis kendala birokrasi, penelitian ini menawarkan solusi teknis untuk mengotomatisasi penyampaian pesan dari hulu ke hilir guna menghindari keterlambatan informasi akibat hambatan administratif.

Konteks Spesifik dan Implementasi: Penelitian ini menekankan pada desain arsitektur teknis yang menghubungkan hasil prediksi AI langsung ke perangkat penerima di masyarakat, bukan sekadar analisis risiko spasial atau teoretis.

Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan Artificial Neural Network (ANN) merupakan pendekatan kuantitatif yang memanfaatkan teknik kecerdasan buatan untuk memodelkan hubungan nonlinier antara variabel input dan output. ANN meniru mekanisme kerja jaringan saraf biologis manusia melalui neuron-neuron buatan yang saling terhubung dan bekerja secara paralel. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian prediksi, klasifikasi, dan pengenalan pola karena kemampuannya dalam mempelajari karakteristik data yang kompleks [9]

Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data historis gempa bumi, pra-pemrosesan data, perancangan arsitektur ANN, proses pelatihan dan pengujian model, hingga implementasi hasil ke dalam sistem peringatan dini berbasis web.

Dalam penelitian ini, data yang digunakan bersumber dari data historis gempa bumi yang memuat parameter magnitudo, kedalaman gempa, jarak episenter ke pantai, dan jenis patahan. ANN digunakan sebagai metode analisis dengan memanfaatkan data historis yang dibagi menjadi data pelatihan (*training*), data validasi (*validation*), dan data pengujian (*testing*). Proses pelatihan jaringan dilakukan untuk memperoleh bobot optimal dengan meminimalkan nilai kesalahan (*error*) antara keluaran jaringan dan nilai target. Arsitektur ANN yang digunakan terdiri dari 9 neuron pada lapisan input, 2 hidden layer dengan masing-masing 10 dan 8 neuron, serta 1 neuron pada lapisan output. Algoritma pembelajaran yang umum digunakan adalah *backpropagation*, yaitu metode pembaruan bobot secara iteratif berdasarkan nilai gradien *error*.

Struktur ANN yang digunakan terdiri atas tiga lapisan utama, yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan output. Lapisan input berfungsi menerima variabel penelitian, sedangkan lapisan output menghasilkan nilai prediksi atau hasil klasifikasi sesuai dengan tujuan penelitian. Penentuan jumlah neuron pada lapisan tersembunyi dilakukan melalui proses eksperimen untuk memperoleh performa model yang optimal [10].

Evaluasi kinerja model ANN dilakukan menggunakan parameter pengujian seperti Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), dan akurasi, tergantung pada jenis permasalahan yang diteliti. Hasil evaluasi digunakan untuk mengukur tingkat keakuratan dan kemampuan generalisasi model ANN terhadap data yang belum pernah dilatih sebelumnya [11].

ANN merupakan model komputasi yang terinspirasi dari sistem saraf biologis manusia dan digunakan untuk memodelkan hubungan kompleks antara data input dan output. ANN tersusun atas sejumlah neuron buatan yang saling terhubung melalui bobot (*weights*), dimana setiap neuron melakukan operasi penjumlahan terbobot terhadap sinyal masukan dan menerapkan fungsi aktivasi nonlinier untuk menghasilkan keluaran. Kemampuan ANN dalam menangani permasalahan nonlinier menjadikannya banyak digunakan dalam aplikasi prediksi, klasifikasi, dan sistem peringatan dini.

Pada tahap awal, data masukan $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ diberikan ke lapisan input dan diteruskan ke lapisan tersembunyi. Setiap neuron pada lapisan tersembunyi menghitung nilai aktivasi berdasarkan persamaan (1):

$$z_j = \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + b_j \quad (1)$$

di mana w_{ij} merupakan bobot koneksi antara neuron ke- i dan neuron ke- j , serta b_j adalah bias. Nilai aktivasi ini kemudian diproses menggunakan fungsi aktivasi, seperti sigmoid atau ReLU, untuk menghasilkan keluaran neuron.

Proses pembelajaran ANN dilakukan menggunakan algoritma *backpropagation*, yang bertujuan untuk meminimalkan fungsi kesalahan (*error function*) antara keluaran jaringan dan nilai target. Error dihitung menggunakan fungsi Mean Squared Error (MSE) yang dirumuskan sebagai persamaan (2):

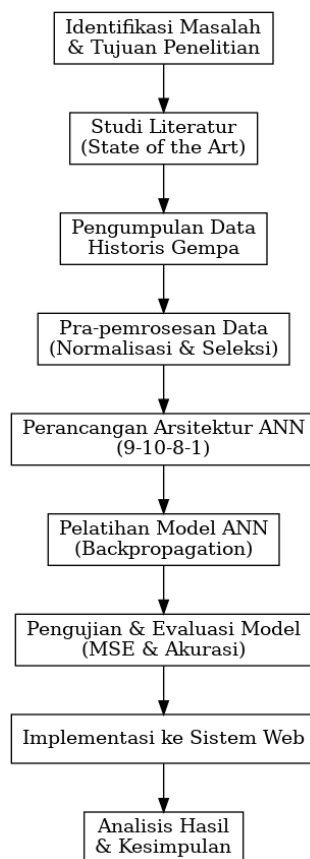
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (2)$$

di mana y_k merupakan nilai target dan $\hat{y}_k$ adalah hasil keluaran jaringan. t_i merupakan nilai target, y_i merupakan keluaran jaringan, dan n merupakan jumlah data. Nilai error tersebut kemudian dipropagasikan kembali dari lapisan output ke lapisan input untuk memperbarui bobot dan bias menggunakan metode gradien menurun (*gradient descent*).

Pembaruan bobot dilakukan secara iteratif berdasarkan persamaan:

$$w_{ij}^{new} = w_{ij}^{old} - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (3)$$

dengan η sebagai laju pembelajaran (*learning rate*) dan E sebagai nilai error. Proses ini diulang hingga nilai error mencapai batas minimum atau hingga jumlah iterasi maksimum terpenuhi, yang menandakan bahwa jaringan telah mencapai kondisi konvergensi.



Gambar 1. Diagram alir (flowchart) penelitian

Gambar 1 adalah gambar diagram alir (flowchart) penelitian yang menggambarkan bagaimana penelitian dilakukan.

Keunggulan utama algoritma ANN terletak pada kemampuannya untuk belajar dari data dan beradaptasi terhadap perubahan pola, sehingga sangat

efektif digunakan dalam sistem yang membutuhkan akurasi tinggi dan respon cepat, seperti sistem peringatan dini tsunami. Namun demikian, kinerja ANN sangat dipengaruhi oleh pemilihan arsitektur jaringan, jumlah neuron pada lapisan tersembunyi, fungsi aktivasi, serta parameter pelatihan yang digunakan.

Penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan melalui studi literatur dan observasi terhadap sistem peringatan dini gempa dan tsunami yang telah ada, khususnya terkait keterlambatan informasi dan potensi *false alarm*. Berdasarkan permasalahan tersebut, dirumuskan tujuan penelitian untuk mengembangkan sistem peringatan dini berbasis web menggunakan ANN, sehingga hasil prediksi probabilitas tsunami dapat ditampilkan secara *real-time* kepada pengguna. Data yang digunakan berupa data historis gempa bumi yang meliputi parameter magnitude, kedalaman, jarak ke pantai, dan jenis patahan, yang selanjutnya dibagi menjadi data pelatihan, validasi, dan pengujian.

Tahap selanjutnya adalah perancangan dan pelatihan model ANN dengan arsitektur multilayer menggunakan algoritma *backpropagation* untuk memperoleh bobot optimal. Model yang telah dilatih kemudian diuji untuk mengetahui tingkat akurasi dan kemampuan prediksi probabilitas tsunami. Hasil pengujian dianalisis untuk menilai kinerja sistem, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar penarikan Kesimpulan serta pemberian saran pengembangan sistem peringatan dini gempa dan tsunami di masa mendatang.

Implementasi metode ANN dilakukan dengan mengintegrasikan model yang telah dilatih ke dalam aplikasi web. Model ANN berfungsi sebagai mesin prediksi probabilitas tsunami berdasarkan parameter gempa yang diterima secara *real-time*.

Sistem web dirancang menggunakan arsitektur client-server, di mana server memproses data input gempa, menjalankan model ANN, dan mengirimkan hasil prediksi ke antarmuka pengguna. Hasil prediksi ditampilkan dalam bentuk nilai probabilitas tsunami dan indikator visual untuk mendukung pengambilan keputusan cepat.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian sistem dilakukan melalui proses pelatihan model Artificial Neural Network (ANN) dan pengujian skenario gempa bumi. Ringkasan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sistem ANN

Parameter Pengujian	Nilai Hasil
Metode	Artificial Neural Network (ANN)

Iterasi	Iterasi ke-58
Konvergensi	
Error Akhir	0,004950
Akurasi Pelatihan	99,50%
Skenario Uji	Magnitudo 7,5
Gempa	
Probabilitas	93,38%
Tsunami	
Tingkat	Tinggi
Kepercayaan	

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa sistem mencapai konvergensi iterasi ke-58 dengan nilai error akhir sebesar 0,004950, yang menandakan proses pelatihan telah mencapai kondisi optimal. Selain itu, hasil pengujian skenario gempa menunjukkan probabilitas tsunami yang tinggi, sehingga sistem mampu memberikan peringatan dini secara akurat. Nilai akurasi pelatihan sebesar 99,50% menunjukkan bahwa model ANN memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mempelajari pola hubungan antara parameter input dan output. Rendahnya nilai error akhir memperlihatkan bahwa selisih antara hasil prediksi dan nilai target sangat kecil, sehingga tingkat kesalahan sistem dapat diminimalkan.

Pengujian pada skenario gempa magnitudo 7,5 menghasilkan probabilitas tsunami sebesar 93,38%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, sehingga berpotensi digunakan sebagai alat bantu mitigasi bencana tsunami secara efektif.

Agar sistem peringatan dini berjalan efektif, diperlukan partisipasi aktif dari masyarakat di wilayah rawan bencana. Partisipasi ini meliputi kegiatan peningkatan kesadaran publik, kesiapsiagaan komunitas, serta penyampaian informasi peringatan yang dapat dipercaya. Sistem peringatan dini mencakup serangkaian langkah untuk memberikan informasi secara cepat kepada masyarakat mengenai potensi terjadinya bencana di wilayah tertentu, yang disampaikan oleh otoritas yang berwenang. Sebuah sistem peringatan dini yang efektif dan berfokus pada masyarakat harus memenuhi empat elemen utama, yaitu pemahaman risiko, pemantauan bahaya serta layanan peringatan, penyebaran informasi dan komunikasi, serta kemampuan untuk merespon. Tujuan utama dari sistem ini adalah meningkatkan kapasitas individu dan komunitas dalam menghadapi bencana [6], [7], [8].

Tsunami adalah peristiwa perubahan dasar laut secara tiba-tiba yang menyebabkan perpindahan badan air.

Penyebab tsunami antara lain gempa tektonik bawah laut, letusan gunung berapi, longsor bawah laut, dan meteor yang jatuh ke bumi. Mitigasi terhadap bahaya tsunami mutlak diperlukan.

Sistem monitoring merupakan suatu mekanisme yang digunakan untuk mengamati, merekam, dan menganalisis aktivitas atau performa dari suatu sistem secara berkala maupun *real-time*. Monitoring sistem bertujuan untuk memastikan bahwa suatu layanan dapat berjalan stabil, terukur, dan mampu memberikan informasi ketika terjadi penyimpangan performa. Dalam konteks aplikasi web, monitoring meliputi pemantauan server, jaringan, database, dan perilaku pengguna [12], [13].

Monitoring sistem umumnya dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. *Performance Monitoring*: Memantau metrik seperti CPU usage, memory usage, response time, dan throughput.
2. *Audit & Log Monitoring*: Menganalisis log sistem untuk menemukan anomali, *error*, atau aktivitas tidak wajar.
3. *Availability Monitoring*: Menjamin ketersediaan sistem dengan melakukan pengecekan status *uptime* dan *downtime* melalui mekanisme alerting.

Dengan adanya monitoring yang baik, administrator dapat lebih cepat mengidentifikasi masalah dan meningkatkan reliabilitas sistem. Strategi monitoring yang komprehensif meningkatkan *system reliability* melalui deteksi *real-time* atas kegagalan layanan dan optimasi performa. Selain itu, dalam konteks praktis, peran *observability* dan monitoring dalam mempercepat respons insiden dan menjaga stabilitas operasional. *Network performance monitoring* membantu mengurangi *downtime* dan mendukung keandalan layanan secara keseluruhan [9], [14].

1. Sistem Berbasis Web

Sistem berbasis web adalah sistem yang dapat diakses menggunakan browser melalui jaringan internet atau intranet. Sistem berbasis web memungkinkan akses data dan layanan secara fleksibel tanpa memerlukan instalasi aplikasi lokal. Keunggulan sistem ini termasuk aksesibilitas tinggi, kemudahan pembaruan, dan skalabilitas.

Dalam konteks proyek ini, sistem monitoring dirancang untuk berjalan sebagai aplikasi web agar dapat diakses kapan saja oleh administrator atau pihak yang berkepentingan.

2. Monitoring Web Application

Monitoring aplikasi web adalah proses mengamati performa dan kinerja suatu aplikasi

yang berjalan melalui browser. Monitoring aplikasi web sangat penting untuk meningkatkan User Experience (UX), *reliability*, dan *scalability* terutama pada sistem dengan trafik tinggi.

3. User Interface (UI) dan User Experience (UX) Design

User Interface (UI) adalah tampilan visual yang berinteraksi langsung dengan pengguna, sedangkan User Experience (UX) adalah pengalaman keseluruhan pengguna saat menggunakan sistem. UI/UX yang baik harus sederhana, konsisten, dan mudah dipahami setiap level pengguna.

Dalam konteks Web Monitoring System, perancangan antarmuka sangat berperan penting karena administrator membutuhkan visualisasi data yang jelas, akurat, dan mudah dipahami, seperti grafik status server, log aktivitas, dan notifikasi kerusakan.

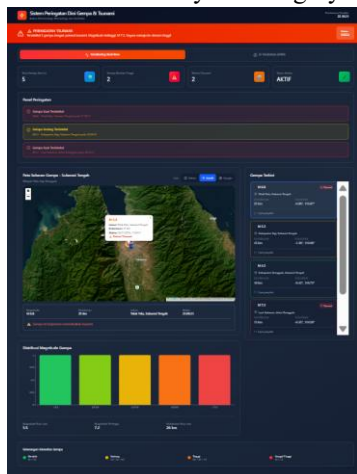
4. Teknologi Pendukung Monitoring

Beberapa teknologi atau metode yang umum digunakan dalam pengembangan sistem monitoring antara lain:

- a. Dashboard Visualization Tools (Grafana, Kibana): digunakan untuk menampilkan metrik dalam bentuk grafik dan indikator visual.
- b. Logging Framework (ELK Stack, Loki, Graylog): digunakan untuk pengumpulan dan analisis log.
- c. Performance Monitoring Tools (Pingdom, Prometheus): digunakan untuk memantau performa sistem dan memberikan alert ketika terjadi anomali.

Pemilihan teknologi tergantung kebutuhan sistem, kompleksitas aplikasi, serta kemampuan integrasi dengan sistem yang sudah ada [15].

Berikut adalah gambar hasil implementasi sistem menjadi website untuk Early Warning System:



Gambar 2. Website Early Warning System

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan proses perancangan, implementasi, dan evaluasi terhadap sistem peringatan dini gempa dan tsunami yang dikembangkan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem peringatan dini berbasis web dapat membantu masyarakat dan pihak terkait dalam memperoleh informasi gempa dan tsunami secara cepat, akurat, dan terstruktur. Dengan adanya integrasi data dari sumber resmi seperti BMKG, sistem mampu menampilkan data *real-time* mengenai magnitudo, lokasi episenter, dan potensi tsunami.
2. Perancangan UI/UX menggunakan prototipe Figma berhasil menghasilkan tampilan yang mudah dipahami dan ramah pengguna, baik untuk masyarakat umum maupun pemangku kepentingan seperti BPBD, pemerintah daerah, dan relawan penanggulangan bencana.
3. Integrasi sistem dengan teknologi API memungkinkan otomatisasi perolehan data sehingga meminimalisir keterlambatan dan kesalahan informasi. Hal ini mendukung kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi kondisi darurat.
4. Hasil pengujian fungsional sistem menunjukkan bahwa seluruh fitur utama berjalan sesuai kebutuhan, termasuk tampilan *dashboard monitoring*, peta seismik, dan notifikasi peringatan dini.

Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi digital yang berkontribusi dalam mitigasi risiko bencana berbasis teknologi informasi, khususnya gempa bumi dan tsunami.

Untuk pengembangan lebih lanjut, beberapa rekomendasi berikut dapat dipertimbangkan:

1. Integrasi sistem dengan perangkat IoT EWS seperti sirine otomatis, sensor accelerometer lokal, dan jaringan radio darurat, sehingga sistem tidak hanya informatif, tetapi juga responsif secara otomatis.
2. Pengembangan fitur *mobile app* berbasis Android/iOS agar informasi dapat diakses lebih cepat dan *portable* oleh masyarakat diberbagai lini.
3. Penambahan fitur simulasi dan edukasi interaktif untuk meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai prosedur keselamatan saat terjadi bencana.
4. Pengujian sistem lebih lanjut dengan skenario *real-time* dan uji beban (*load testing*) untuk memastikan stabilitas dan kehandalan sistem ketika terjadi lonjakan akses pengguna.

5. Kolaborasi dengan pihak terkait seperti BNPB, BPBD, BMKG, dan lembaga Internasional untuk validasi data, perbaikan sistem, dan penyebaran implementasi pada wilayah rawan bencana.

Dengan pengembangan dan penyempurnaan lebih lanjut, sistem peringatan dini gempa dan tsunami ini diharapkan mampu menjadi platform mitigasi bencana berbasis teknologi yang andal, efektif, dan berkontribusi dalam menyelamatkan lebih banyak nyawa di masa depan.

Daftar Pustaka

- [1] D. Zhexebay *et al.*, “Deep Learning for Early Earthquake Detection: Application of Convolutional Neural Networks for P-Wave Detection,” *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 7, p. 3864, Apr. 2025, doi: 10.3390/app15073864.
- [2] Benazir and R. S. Oktari, “Assessing tsunami risk along the Aceh coast, Indonesia: a quantitative analysis of fault rupture potential and early warning system efficacy for predicting arrival time and flood extent,” *Nat. Hazards*, vol. 120, no. 5, pp. 4875–4900, Mar. 2024, doi: 10.1007/s11069-024-06401-x.
- [3] W. Dharmawan, M. Diana, B. Tuntari, I. M. Astawa, S. Rahardjo, and H. Nambo, “Tsunami tide prediction in shallow water using recurrent neural networks: model implementation in the Indonesia Tsunami Early Warning System,” *J. Reliab. Intell. Environ.*, vol. 10, no. 2, pp. 177–195, Jun. 2024, doi: 10.1007/s40860-023-00214-8.
- [4] R. Haigh *et al.*, “The upstream-downstream interface of Sri Lanka’s tsunami early warning system,” *Int. J. Disaster Resil. Built Environ.*, vol. 11, no. 2, pp. 219–240, Jan. 2020, doi: 10.1108/IJDRBE-07-2019-0051.
- [5] N. Mori *et al.*, “Giant tsunami monitoring, early warning and hazard assessment,” *Nat. Rev. Earth Environ.*, vol. 3, no. 9, pp. 557–572, Sep. 2022, doi: 10.1038/s43017-022-00327-3.
- [6] V. Marchezini, F. E. A. Horita, P. M. Matsuo, R. Trajber, M. A. Trejo-Rangel, and D. Olivato, “A Review of Studies on Participatory Early Warning Systems (P-EWS): Pathways to Support Citizen Science Initiatives,” *Front. Earth Sci.*, vol. 6, p. 184, Nov. 2018, doi: 10.3389/feart.2018.00184.
- [7] M. Macherera and M. J. Chimbari, “A review of studies on community based early warning systems,” *Jambá J. Disaster Risk Stud.*, vol. 8, no. 1, p. 11 pages, Mar. 2016, doi: 10.4102/jamba.v8i1.206.
- [8] I. Kelman and M. H. Glantz, “Early Warning Systems Defined,” in *Reducing Disaster: Early Warning Systems For Climate Change*, A. Singh and Z. Zommers, Eds., Dordrecht: Springer Netherlands, 2014, pp. 89–108. doi: 10.1007/978-94-017-8598-3_5.
- [9] B. Puli, “Site Reliability Engineering (SRE) and Observations on SRE Process to Make Tasks Easier,” May 03, 2025, *arXiv:arXiv:2505.01926*. doi: 10.48550/arXiv.2505.01926.
- [10] C. M. Bishop, *Pattern recognition and machine learning*. in Information science and statistics. New York: Springer, 2006.
- [11] D. N. Huda and S. Handayani, “Prediksi Nilai Ujian dengan Artificial Neural Network,” *remik*, vol. 7, no. 1, pp. 157–165, Jan. 2023, doi: 10.33395/remik.v7i1.11983.
- [12] L. Benova and L. Hudec, “Comprehensive Analysis and Evaluation of Anomalous User Activity in Web Server Logs,” *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 746, Jan. 2024, doi: 10.3390/s24030746.
- [13] A. Nurfebrian, A. Pindarwati, and R. Hidayat, “Perancangan Dan Implementasi Sistem Monitoring Jaringan Berbasis Web PT. Maxindo Mitra Solusi,” *J. Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 2, 2023.
- [14] A. Martínez and C. Rivera, “Enhancing Reliability Through Effective System Monitoring”.
- [15] A. S. Jadhav and R. M. Sonar, “Evaluating and selecting software packages: A review,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 51, no. 3, pp. 555–563, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.infsof.2008.09.003.