

The Role of Inatews as an Early Warning in Tsunami Disaster Mitigation in Indonesia

Alexander Pasaribu^{1*}, Hanna Tasya Siahaan², Jhon P.K. Purba³, Vebri Filiandi⁴, Natal Ginting⁵, Resa Idha⁶
^{1,2,3,4}Universitas Negeri Medan
^{5,6}BMKG Wilayah I Medan

Corresponding Author: Alexander Pasaribu alexanderpasaribu830@gmail.com

ARTICLE INFO

Keywords: Ina-TEWS, Disaster Mitigation, Early Warning, Tsunami, Indonesia.

Received : 15, July

Revised : 28, July

Accepted: 19, August

©2024 Pasaribu, Siahaan, Purba, Filiandi, Ginting, Idha: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRACT

Indonesia has a high risk of tsunamis due to its position at the confluence of three active tectonic plates and subduction zones. For mitigation, the Indonesian Tsunami Early Warning System (Ina-TEWS) was developed to detect and provide early warning of tsunamis. This study aims to analyze the role and effectiveness of Ina-TEWS in tsunami mitigation in Indonesia using literature studies. The results of the study show that Ina-TEWS increases the speed of detection and dissemination of information, although there are still obstacles such as delayed response and low public awareness. Therefore, the effectiveness of Ina-TEWS needs to be improved through infrastructure optimization, coordination between institutions, as well as education and socialization to the community to increase preparedness in dealing with tsunamis.

Peran Inatews Sebagai Peringatan Dini Dalam Mitigasi Bencana Tsunami Di Indonesia

Alexander Pasaribu^{1*}, Hanna Tasya Siahaan², Jhon P.K. Purba³, Vebri Filiandi⁴, Natal Ginting⁵, Resa Idha⁶

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Medan,

^{5,6}BMKG Wilayah I Medan

Corresponding Author: Alexander Pasaribu alexanderpasaribu830@gmail.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Ina-TEWS, mitigasi bencana, peringatan dini, tsunami, Indonesia.

Received : 15, Juli

Revised : 28, Juli

Accepted: 19, Agustus

©2024 Pasaribu, Siahaan, Purba, Filiandi, Ginting, Idha: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRAK

Indonesia memiliki risiko tinggi terhadap tsunami karena posisinya di pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dan zona subduksi. Untuk mitigasi, sistem peringatan dini Indonesian Tsunami Early Warning System (Ina-TEWS) dikembangkan guna mendeteksi dan memberikan peringatan dini terhadap tsunami. Penelitian ini bertujuan menganalisis peran dan efektivitas Ina-TEWS dalam mitigasi tsunami di Indonesia menggunakan studi kepustakaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Ina-TEWS meningkatkan kecepatan deteksi dan penyebaran informasi, meskipun masih terdapat kendala seperti keterlambatan respons dan rendahnya kesadaran masyarakat. Oleh karena itu, efektivitas Ina-TEWS perlu ditingkatkan melalui optimalisasi infrastruktur, koordinasi antar lembaga, serta edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat untuk meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi tsunami.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan ribuan pulau yang tersebar di wilayah yang sangat luas. Menurut data Badan Informasi Geospasial (BIG) tahun 2013, jumlah pulau di Indonesia mencapai 13.466, membentang dari Sabang hingga Merauke. Luas daratan Indonesia sekitar 1.922.570 km², yang mencakup 37,1% dari total wilayahnya, sementara perairannya mencapai 3.257.483 km² atau sekitar 62,9%. Secara keseluruhan, luas wilayah Indonesia mencapai 5.180.053 km², menjadikannya salah satu negara dengan wilayah terluas di dunia. Selain itu, dengan garis pantai sepanjang 81.000 km, Indonesia menempati peringkat kedua sebagai negara dengan garis pantai terpanjang di dunia setelah Kanada (Maulana & Adriansyah, 2024).

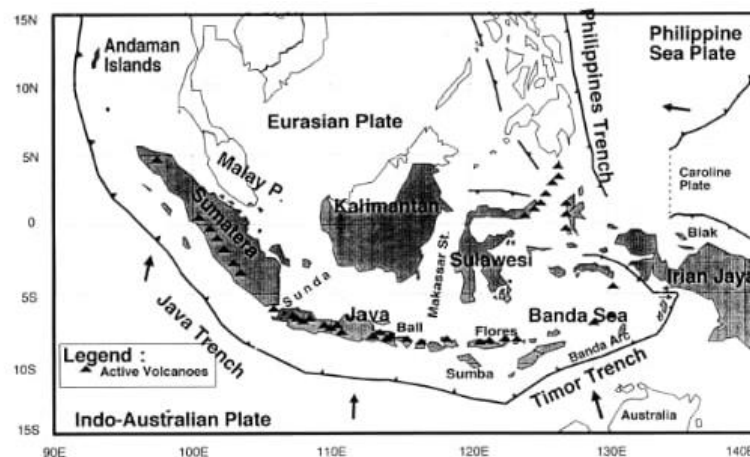
Berdasarkan World Risk Report 2018, Indonesia menempati peringkat ke-36 dari 172 negara yang paling rentan terhadap bencana alam, dengan indeks risiko mencapai 10,36. Peringkat ini dipengaruhi oleh faktor geologis dan tektonis yang menjadi karakteristik wilayah Indonesia. Secara geografis, Indonesia berada di antara 6° LU hingga 11° LS serta 95° BT hingga 141° BT. Sementara itu, secara tektonis, Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah tenggara, Lempeng Indo-Australia yang memanjang di Samudera Hindia dari utara (Aceh) hingga sekitar Laut Timor di timur, serta Lempeng Pasifik yang berada di sekitar Samudera Pasifik hingga utara Papua. Selain itu, Indonesia juga terletak di jalur vulkanik yang dikenal sebagai Cincin Api Pasifik (Pacific Ring of Fire), sehingga rawan terhadap aktivitas vulkanik (Kurniawan, dkk, 2022).

Indonesia menempati peringkat kedua di dunia sebagai negara yang paling sering mengalami tsunami, dengan catatan sebanyak 71 kejadian atau hampir 9% dari total tsunami yang terjadi di seluruh dunia. Peringkat ini sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama yang sangat aktif dalam membentuk kerak bumi. Faktor tektonik ini juga berperan dalam berbagai penelitian yang berkaitan dengan lingkungan kerja dan kepemimpinan, terutama dalam konteks dampaknya terhadap wilayah rawan bencana. Letak geografis Indonesia yang demikian rawan mengakibatkan terjadinya gempa bumi yang kuat, yang sering kali memicu gelombang tsunami yang merusak dan mematikan (Saleh & dkk, 2022). Dengan melihat kondisi geologi dan tektonis yang dimiliki wilayah Indonesia yang sangat rawan bencana, seperti adanya zona subduksi. Hal ini membuat risiko gempa bumi dan tsunami di wilayah ini cukup tinggi. Dalam situasi seperti ini, Ina-TEWS Berperan penting sebagai sistem peringatan dini untuk melindungi masyarakat. Dengan teknologi yang sederhana untuk dipahami, namun tetap efektif, Ina-TEWS membantu memberikan peringatan yang cepat dan akurat, sehingga lebih banyak nyawa bisa diselamatkan. Dengan adanya sistem ini menjadi langkah nyata untuk membantu masyarakat yang tinggal di daerah rawan agar merasa lebih aman dan siap menghadapi bencana di masa depan.

TINJAUAN PUSTAKA

Kondisi Tektonik Wilayah Indonesia

Kompleksitas tektonik dan batas lempeng di Indonesia dan wilayah sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 3 Kepulauan Indonesia terletak di sepanjang pertemuan kompleks antara lempeng Eurasia, India-Australia, Caroline, dan Filipina, serta beberapa lempeng kecil lainnya. Lempeng-lempeng ini bergerak relatif satu sama lain dengan cara yang rumit (Hamilton, 1979). Gerakan lempeng yang khas dapat dirangkum sebagai berikut: Gerakan relatif lempeng Eurasia terhadap lempeng India-Australia kira-kira ke arah utara, sedangkan lempeng Filipina bergerak kira-kira ke arah barat laut. Sementara itu, lempeng Filipina relatif terhadap lempeng Caroline bergerak kira-kira ke arah timur-tenggara di dekat Palung Aru dan ke arah barat laut di dekat Palung Yap.



Gambar 1. Tektonik dan Batas Lempeng di Indonesia

Kepulauan Indonesia terdiri dari lima busur pulau aktif (Hamilton, 1979; Puspito, 1993; Puspito & Shimazaki, 1995); yaitu busur Sunda, Banda, Sangihe, Halmahera, dan Sulawesi Utara. Busur Sunda, yang terbentuk akibat konvergensi antara lempeng Samudra Hindia dan Eurasia, membentang ke arah barat dari Sumba melalui Jawa, Sumatra, dan Kepulauan Andaman. Di bagian timur busur Sunda, busur Banda membentang ke arah timur dari Sumba melewati Kepulauan Tanimbar, lalu melengkung tajam berlawanan arah jarum jam dan mengarah ke barat di sekitar Pulau Seram dan Buru. Busur Banda terbentuk akibat tumbukan antara bagian tenggara lempeng Eurasia dan lempeng Australia. Di bagian utara busur ini, busur Sangihe dan Halmahera di wilayah Laut Maluku terbentuk akibat aktivitas dua subduksi yang berlawanan dari lempeng Laut Maluku, dengan subduksi secara simultan ke arah timur di bawah Sangihe dan ke arah barat di bawah Halmahera. (Hamzah, Puspito, & Imamura, 2000)

Peringatan Dini

Selain itu, 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 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 (*people-centered*) harus memenuhi empat elemen utama, yaitu pemahaman risiko, pemantauan bahaya serta layanan peringatan, penyebaran informasi dan komunikasi, serta kemampuan untuk merespons. Tujuan utama dari sistem ini adalah meningkatkan kapasitas individu dan komunitas dalam menghadapi bencana (Usmanto & Hsu, 2018).

Pengertian InaTEWS

Indonesian Tsunami Early Warning System (Ina-TEWS) adalah sistem peringatan dini tsunami yang dibangun setelah tsunami 2004, setahun setelah gempa bumi dan tsunami Aceh 2004, gempa berkekuatan Mw 8,7 terjadi di Nias pada Maret 2005, yang juga memicu tsunami. Gempa ini merupakan rangkaian dari gempa besar sebelumnya pada 26 Desember 2004 dengan magnitudo Mw 9,1, yang mengakibatkan tsunami setinggi 3 meter dan menelan lebih dari 230.000 korban jiwa di berbagai negara. Pada waktu itu, sistem pemantauan gempa BMKG masih terbatas dan belum mampu memberikan peringatan dini tsunami dengan efektif.

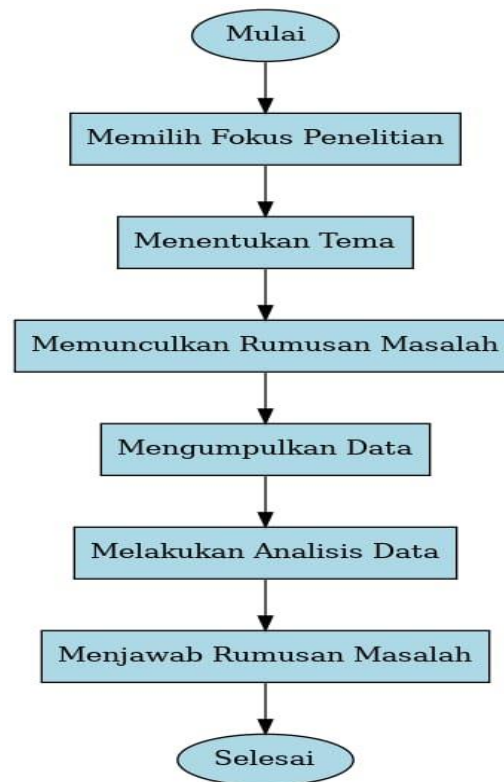
Pada tahun 2005 menjadi titik awal yang penting bagi BMKG karena saat itulah rencana pembangunan sistem Ina-TEWS mulai dirumuskan. Pada tahun tersebut, berbagai pertemuan antar lembaga, baik di dalam negeri maupun luar negeri, diadakan untuk mendiskusikan konsep, gagasan, dan desain sistem Ina-TEWS. Tahun 2024 menjadi tonggak sejarah dalam pembentukan sistem tersebut. Ina-TEWS dirancang menggunakan pendekatan "end-to-end," yang mencakup proses dari awal hingga akhir (upstream hingga downstream). Pendekatan ini melibatkan pemantauan (monitoring), pengolahan data (processing), dan distribusi informasi (dissemination) terkait gempa bumi dan peringatan dini tsunami, yang berada di bawah koordinasi Kementerian Riset dan Teknologi serta dioperasikan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

Indonesian Tsunami Early Warning System (Ina-TEWS) secara resmi mulai beroperasi pada 11 November 2008 oleh Presiden Susilo Bambang Yudhoyono.

Sistem peringatan dini tsunami berbasis teknologi ini terdiri dari berbagai komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen perangkat keras mencakup pusat kendali operasi atau *Tsunami Warning Center (TWC)*, alat pendeteksi gempa di darat (seismograf), serta alat pendeteksi gempa di dasar laut (*Ocean Bottom Unit/OBU*). Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan alat pengukur pasang surut digital (tide gauge), sistem navigasi berbasis *Differential Global Positioning System (dGPS)*, serta pelampung di permukaan laut (mooring buoy) yang berfungsi mengirimkan sinyal informasi dari OBU ke satelit. Di samping itu, terdapat satelit yang berperan sebagai penghubung transmisi sinyal antara alat pendeteksi tsunami dan pusat kendali operasi. Sementara itu, perangkat lunak sistem ini mencakup *Decision Support System (DSS)* yang bekerja sama dengan dua perangkat lunak lainnya, yaitu *Seiscomp* untuk pemrosesan data gempa dan *System Information Management (SIM)* untuk pengelolaan informasi (Dwipanegara, 2014).

METODOLOGI

Metode Penelitian ini menggunakan pendekatan metode kepustakaan yang berfokus pada pengumpulan dan analisis informasi dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal, artikel, majalah, serta dokumen atau penelitian sebelumnya yang relevan untuk memberikan pemahaman mendalam tentang topik yang diteliti. Dalam penelitian ini, metode kepustakaan dijadikan dasar untuk menyusun langkah-langkah praktis yang dapat diterapkan dalam konteks mitigasi bencana, khususnya terkait dengan sistem peringatan dini InaTEWS. Menurut Kuhlthau (dalam Mirzaqon & Purwoko, 2017).



Gambar 2. Flow chart Kerangka Penelitian

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup jurnal dan situs web yang relevan, yang memiliki kaitan erat dengan topik yang diangkat oleh penelitian terdahulu. Sebagaimana yang disebutkan oleh Arikunto, salah satu teknik dalam penelitian kepustakaan adalah mengumpulkan data dari berbagai sumber, seperti catatan, buku, artikel, makalah, jurnal, dan lain-lain.

HASIL PENELITIAN

Data Kejadian Sebelum Adanya Ina-TEWS

A. Tsunami Palu (15 Agustus 1968)

Gempa bumi berkekuatan magnitudo 7,4 mengguncang pantai barat laut Pulau Sulawesi pada 15 Agustus 1968 pukul 06:14 WIB, dengan kedalaman mencapai 17 km. Gempa ini memicu tsunami dahsyat yang melanda wilayah Teluk Manimbaya, khususnya di antara Tanjung Manimbaya dan Sabang. Akibat pergeseran patahan, garis pantai di daerah tersebut mengalami penurunan sekitar 2-3 meter. Gelombang tsunami setinggi 9-10 meter menerjang pantai di Donggala dan menjalar hingga 500 meter ke daratan. Bencana ini menyebabkan 392 korban, terdiri dari 160 orang meninggal dunia, 40 orang dinyatakan hilang, dan 58 orang mengalami luka-luka.

Selain itu, sebanyak 800 rumah di sepanjang pesisir mengalami kehancuran, sementara banyak perkebunan kelapa tergenang banjir. Desa Tambu dan Mapaga menjadi wilayah yang terdampak paling parah. Pulau Tuguan, yang dihuni oleh beberapa ratus penduduk, dilaporkan sempat terendam akibat gelombang tsunami. Namun, ada sumber lain yang menyebutkan bahwa pulau tersebut justru mengalami kenaikan setelah kejadian. Tsunami ini juga terdeteksi oleh alat pengukur pasang surut di beberapa wilayah pantai selatan Jepang, seperti di Tosashimizu, Kushimoto, dan Mera.

B. Tsunami Selat Sunda (26 Agustus 1883)

Letusan dahsyat Gunung Krakatau pada 27 Agustus 1883 menyebabkan tsunami besar yang menerjang wilayah di sekitar Selat Sunda dan sekitarnya. Gelombang tsunami mencapai ketinggian maksimum 30 meter di sepanjang pantai Selat Sunda, 4 meter di pesisir selatan Pulau Sumatera, 2-2,5 meter di bagian utara dan selatan Pulau Jawa, serta antara 0,5 hingga 1 meter di Samudra Pasifik hingga ke pesisir Amerika Selatan.

Di Indonesia, bencana ini mengakibatkan 36.000 korban jiwa. Sebelum terjadi erupsi utama, letusan kecil telah terjadi pada 26 Agustus 1883 pukul 17:07 serta antara pukul 19:00 hingga 23:00, kemudian berlanjut pada 27 Agustus 1883 pukul 01:42, 05:30, dan 06:44 WIB. Letusan-letusan awal tersebut juga menyebabkan tsunami, namun dengan intensitas yang lebih kecil dibandingkan dengan tsunami yang dipicu oleh letusan puncak.

Menurut penelitian Rynn (2002), tsunami setinggi 35 meter teramati di Merak, yang dikategorikan sebagai tsunami dengan intensitas 4,5 dan menyebabkan kerusakan katastrofik. Peristiwa ini telah menjadi bahan kajian dalam berbagai penelitian, seperti yang ditulis oleh Verbeek (1885) dan Iida et al. (1967). Erupsi Krakatau ini menjadi salah satu bencana alam paling dahsyat dalam sejarah, tidak hanya karena kerusakannya yang luas, tetapi juga karena dampaknya yang terasa hingga ke berbagai belahan dunia.

C. Tsunami Mentawai (04 Juni 1909)

Gempa bumi berkekuatan 7,6 mengguncang pada 4 Juni 1909 pukul 01:41 WIB, dengan pusat gempa berada di sekitar Kerinci, Sumatra Barat. Getaran gempa dirasakan hingga pantai barat Pulau Sumatra dan menyebabkan kerusakan berat di Kabupaten Kerinci, Rejang Lebong, serta beberapa daerah seperti Ketaun, Sungai Penuh, Tanjung, Pau, dan Muti. Kabel telegraf yang jatuh memicu kebakaran di beberapa lokasi. Retakan tanah akibat gempa terjadi di Balaiselasa, Muaralabuh, dan Kambang. Sementara itu, di Padang, banyak bangunan mengalami retak dan pilar-pilar rusak, tetapi tidak sampai runtuh sehingga tidak ada korban jiwa. Di Solok, warga panik dan berlarian keluar rumah akibat suara deritan bangunan, serta ornamen-ornamen di dinding berjatuh. Selain itu, jalan yang menghubungkan Kubangdua dan Alahanpanjang juga mengalami retakan.

Di mercusuar Pulau Panjang, gempa menyebabkan minyak tumpah dari waduk dan jam menara berbunyi. Warga Banko menyebut gempa ini sebagai yang terkuat yang pernah mereka rasakan. Getaran juga berlangsung cukup lama di Ipu, sekitar satu menit. Di Padang Panjang dan Bua, bangunan berderit dan lampu-lampu bergoyang. Di Taluk, rumah, pohon, dan perahu di sungai terguncang hebat.

Gempa ini juga terasa di Jambi, Bayung Lencir, Rengat, dan Talu, di mana perabotan rumah bergetar. Bahkan di Singapura, beberapa orang terbangun akibat getaran, dan sejumlah warga panik keluar rumah. Setelah gempa utama, beberapa gempa susulan yang cukup besar terjadi. Gelombang pasang tercatat di beberapa lokasi dekat pusat gempa, seperti di Tanjung, Pau, dan Muti, serta pergerakan air besar terlihat di Kambang. Gempa ini tercatat sebagai salah satu gempa besar di Sumatra dengan dampak yang luas, baik dalam kerusakan fisik maupun kepanikan masyarakat.

D. Tsunami Maluku (24 Januari 1965)

Gempa bumi berkekuatan 7,6 (Ms) dan 8,0 (Mw) terjadi pada 24 Januari 1965 di Pulau Sulawesi. Gempa ini berpusat pada kedalaman sekitar 30 km dan disertai tsunami yang merusak. Sebelum gempa utama, foreshock telah terjadi selama seminggu sebelumnya, menandakan aktivitas seismik yang signifikan.

Dampak gempa ini sangat besar, dengan laporan menyebutkan bahwa 3.000 rumah dan 14 jembatan hancur. Sebanyak 71 orang dilaporkan meninggal dunia akibat gempa dan tsunami. Gempa ini dirasakan hingga Pulau Halmahera dan Davao, Filipina. Tsunami yang muncul menyebabkan kerusakan besar, terutama di Kota Sanana, di mana 90% rumah hancur. Selain itu, kerusakan juga terjadi di Namlea, Pulau Buru, dan Pulau Mangole.

Tsunami yang dihasilkan memiliki ketinggian run-up lebih dari 6 meter, menyebabkan dampak yang luas di kawasan pesisir. Kejadian ini tercatat dalam berbagai penelitian dan laporan, seperti yang dilaporkan oleh Roth (1966), Hake dan Cloud (1967), serta Berninghausen (1969). Gempa ini menjadi salah satu peristiwa yang signifikan dalam sejarah bencana alam di Indonesia.

E. Tsunami Sumatera barat (04 Juni 1909)

Gempa bumi yang terjadi pada 4 Juni 1909 pukul 01:41 WIB berpusat di sekitar Kerinci, namun getarannya mencapai hingga pantai barat Pulau Sumatra. Gempa ini mengakibatkan kerusakan berat serta menimbulkan korban jiwa di Kabupaten Kerinci, Rejang Lebong, Ketaun, Sungai Penuh, Tanjung, Pau, dan Muti. Runtuhnya kabel telegraf memicu kebakaran di beberapa lokasi. Getaran kuat juga dirasakan di Balaiselasa, Muaralabuh, Kambang, dan Painan.

Di Padang, dinding bangunan batu mengalami retak dan kemiringan, sementara pilar-pilar pecah tetapi tetap berdiri, sehingga tidak menimbulkan korban jiwa. Di Solok, warga panik dan berhamburan keluar rumah akibat suara berderit, sementara ornamen-ornamen jatuh dari dinding. Retakan juga ditemukan di jalan yang menghubungkan Kubangandua dan Alahanpanjang. Di Pulau Panjang, mercusuar bergetar, lonceng jam menara berbunyi, dan minyak meluap dari waduk. Seorang saksi mata di Banko mengungkapkan bahwa gempa ini adalah yang paling kuat yang pernah ia rasakan. Di Ipu, getaran berlangsung sekitar satu menit, sedangkan di Padangpanjang dan Bua, tercatat guncangan yang sangat hebat. Sementara itu, di Taluk, rumah, pepohonan, dan perahu-perahu di sungai tampak bergoyang akibat gempa.

Di beberapa daerah lain, seperti Jambi, Bayunglencir, Rengat, dan Talu, guncangan kuat disertai suara gemuruh terasa, mengakibatkan daun jendela bergetar dan perabotan bergoyang. Di Singapura, sejumlah orang yang sedang tidur terbangun akibat getaran yang cukup kuat, sementara suara derit terdengar dari furnitur dan pintu. Beberapa warga panik dan bergegas keluar rumah setelah mendengar suara gemuruh. Gempa ini juga diikuti oleh beberapa gempa susulan dengan intensitas cukup besar. Gelombang pasang yang kemungkinan menyebabkan kerusakan tercatat terjadi di wilayah dekat pusat gempa, seperti di Tanjung, Pau, Muti, dan sekitarnya. Selain itu, pergerakan air dalam jumlah besar juga teramati di Kambang.

F. Tsunami Bengkulu (25 September 1931)

Gempa bumi berkekuatan Magnitudo 7,4 terjadi pada 25 September 1931 pukul 12:50 WIB, dengan pusat gempa berada di antara Pulau Enggano dan Sumatra. Sebelum gempa terjadi, terdengar suara gemuruh keras dari arah selatan Pulau Enggano, diikuti oleh tremor kuat yang disusul dengan guncangan lebih ringan. Di wilayah tersebut, gubuk-gubuk yang berdiri di atas tumpukan yang ditanam secara vertikal ke dalam tanah bergeser sekitar 0,5 meter. Sementara itu, pada gubuk-gubuk yang lantainya berada sekitar 1 meter dari permukaan tanah, bagian bawah tumpukan jatuh sehingga gubuk-gubuk tersebut turun ke tanah tanpa mengalami kerusakan besar. Meskipun tidak ada bangunan yang roboh, beberapa penduduk mengalami kecelakaan akibat gempa tersebut.

Saat getaran terkuat terjadi, pejalan kaki kesulitan untuk tetap berdiri dan hanya bisa merangkak agar dapat bergerak. Di lokasi lain, meskipun tidak menyebabkan kehancuran, gempa ini terasa di wilayah yang luas, lebih dari 500 km dari pusat gempa, termasuk di Padang dan Bandung, bahkan hingga

Pamekasan, Pulau Madura, yang berjarak sekitar 1.250 km. Dampak lainnya adalah kondisi laut di sekitar Pulau Enggano menjadi sangat bergejolak, dengan gelombang yang naik hampir satu meter di atas batas pasang tertinggi di pulau tersebut..

Data Sesudah Adanya Ina-TEWS

A. Tsunami Palu (28 September 2018)

Gempa bumi dahsyat terjadi tepat pukul 17:02 WIB Jumat, 28 September 2018 di Sulawesi Tengah, yang kemudian dikenal sebagai Gempa Palu. Bencana ini mengakibatkan kerusakan parah di beberapa wilayah, termasuk Palu, Sigi, Donggala, dan Parigi Moutong. Berdasarkan catatan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), gempa tersebut memiliki kekuatan 7,7 skala Richter dan berpusat di koordinat 0,18 Lintang Selatan dan 119,85 Bujur Timur, atau sekitar 27 Km timur laut Donggala. Hasil pemodelan tsunami dengan level tertinggi siaga (0.5m-3m) di Palu dan estimasi waktu tiba jam 17.22 WIB sehingga BMKG mengeluarkan potensi tsunami. Bencana ini meninggalkan duka yang mendalam, dengan PBB mencatat sedikitnya 4.845 orang meninggal dunia, 172.999 orang mengungsi, dan 110.214 rumah rusak. Dampak bencana ini terasa sangat besar bagi masyarakat di sekitar wilayah tersebut, baik pada saat itu maupun hingga kini (Septiyan, Hantoro, & Saputra, 2023).

Sebelum masyarakat Lombok sempat pulih dari gempa yang mengguncang mereka, pada 28 September 2018, Palu dan Donggala kembali diguncang gempa. Tragedi ini dimulai pada sore hari, ketika gempa bermagnitudo 7,4 mengguncang Kota Palu dan Donggala. Pusat gempa berada pada kedalaman 10 km, sekitar 27 km timur laut Donggala. Getaran yang sangat kuat dirasakan hingga Kabupaten Gowa, yang terletak sekitar 780 km dari Kota Palu, menyebabkan kursi dan meja bergoyang. BMKG segera mengeluarkan peringatan dini tsunami, dengan status siaga untuk pantai barat Donggala dan waspada untuk Donggala utara, Mamuju, serta Kota Palu bagian barat. Tsunami setinggi hampir 6 meter, yang bergerak dengan kecepatan 800 km/jam, menghantam Pantai Talise. Ombak yang sangat tinggi bahkan mencapai baliho dekat pantai. Kepanikan melanda warga, dan suara teriakan panik memenuhi udara (Damarjati, 2018).

B. Tsunami Mentawai (25 Oktober 2010)

Gempa bumi pada Senin, 25 Oktober 2010, dengan kekuatan M7.7 menurut lembaga survei geologi Amerika (USGS) mengguncang kawasan pantai Sumatra Barat hingga Bengkulu. Gempa ini membangkitkan tsunami yang menghantam lebih dari dua puluh desa di Kepulauan Mentawai, mengakibatkan sedikitnya 448 jiwa meninggal dunia dan sekitar 100 orang lainnya dinyatakan hilang.

Peristiwa tsunami di Mentawai ini menjadi tonggak penting dalam pemahaman tentang tsunami di Indonesia, karena mengungkapkan bahwa perangkat peringatan dini tsunami belum dapat menjangkau seluruh masyarakat, terutama yang berada di pulau-pulau kecil. Yang lebih ironis, tsunami justru terjadi setelah peringatan dini tsunami sudah dihentikan.

Tsunami yang terjadi menghantam Kepulauan Mentawai dengan ketinggian mencapai 12 meter. Kondisi semakin buruk karena cuaca buruk menghambat pengiriman tim penyelamat dan logistik, sehingga bantuan pertama baru tiba dua hari setelah bencana.

Pada 25 Oktober 2010, gempa tersebut terdeteksi oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) sekitar empat menit lima puluh detik setelah terjadinya gempa, dan informasi mengenai gempa segera disebarluaskan melalui pesan singkat (SMS) serta disiarkan di empat stasiun televisi swasta 13 menit setelahnya. Namun, gempa ini memiliki karakteristik yang unik. Guncangan gempa yang terjadi tidak terlalu terasa atau "senyap", sehingga masyarakat tidak berpikir bahwa gempa tersebut akan diikuti oleh tsunami. Masyarakat mengira hanya gempa besar yang dapat memunculkan tsunami, sebuah asumsi yang dipengaruhi oleh pengalaman gempa tahun 2007 di lepas pantai Bengkulu, di mana guncangan gempa yang sangat kuat disusul oleh tsunami di Kepulauan Mentawai (Muhari, 2016).

C. Tsunami Maluku (16 Juni 2021)

Gempa bumi bermagnitudo 6,1 yang mengguncang Kabupaten Maluku Tengah pada Rabu, 16 Juni 2021, menyebabkan tsunami kecil yang terjadi beberapa saat setelah gempa. Stasiun Geofisika Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Ambon melaporkan bahwa tsunami tersebut terjadi di Kecamatan Tehoru. Kepala Stasiun Geofisika BMKG Ambon, Herlambang Hudha, menjelaskan bahwa tsunami ini disebabkan oleh longsor bawah laut, bukan oleh mekanisme gempa itu sendiri. Tsunami yang tercatat memiliki ketinggian sekitar 0,5 meter. Meskipun berdasarkan pengalaman gempa seperti ini biasanya tidak menyebabkan tsunami, namun longsor bawah laut yang terjadi membuat BMKG memperkirakan adanya tsunami.

Akibat gempa tersebut, puluhan rumah warga di Kecamatan Tehoru mengalami kerusakan, baik ringan maupun berat. Sebagai langkah antisipasi, sejumlah warga di pesisir Kecamatan Tehoru mengungsi ke daerah yang lebih tinggi setelah menerima imbauan untuk menghindari potensi tsunami (Patty & Agriesta, 2021).

D. Tsunami Bengkulu (12 September 2007)

Gempa bumi yang terjadi pada 12 September 2007 di sore hari mengguncang kawasan barat laut Lais, Bengkulu, dengan kekuatan magnitudo 8,4. Gempa ini disusul oleh gempa susulan dengan magnitudo 7,1 yang terjadi pada patahan yang sama. Gempa ini menyebabkan gelombang pasang setinggi satu meter yang merendam 300 rumah di Pulau Pagai, Kepulauan Mentawai. Lokasi gempa berada sekitar 105 kilometer dari Bengkulu, dengan kedalaman 10 kilometer di bawah permukaan tanah. Berdasarkan data Bappenas, korban di Sumatera Barat dan Bengkulu tercatat sebanyak 25 orang meninggal dunia, 41 orang luka berat, dan 51 orang luka ringan, sementara ribuan orang kehilangan tempat tinggal.

Namun, masyarakat di wilayah tersebut cukup memahami fenomena yang terjadi. Tim BPBD dan BMKG Bengkulu melaporkan bahwa warga

menunjukkan kesiagaan tinggi saat peristiwa ini terjadi, berdasarkan pengalaman dari gempa-gempa sebelumnya. Peringatan dan informasi dari BMKG tentang potensi tsunami disebarkan dengan cepat, hanya lima menit setelah gempa terjadi. Informasi seperti ini sangat penting untuk segera disebarkan ke warga di wilayah terdampak agar proses evakuasi dapat dilakukan dengan cepat dan efisien (Supardi, 2019).

E. Tsunami Sumatera Barat (25 April 2023)

Gempa bumi yang terjadi Pada tanggal 25 April 2023, pukul 03.00 WIB, dengan gempa berkekuatan 7,3 magnitudo terjadi di wilayah Barat Laut Kepulauan Mentawai, Sumatra Barat. Berdasarkan laporan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), gempa ini memicu peringatan dini tsunami untuk wilayah Sumatra Utara. Pusat gempa terletak 177 km Barat Laut Kepulauan Mentawai, dengan koordinat 0.93 Lintang Selatan dan 98.39 Bujur Timur, serta kedalaman 84 km. BMKG menyampaikan bahwa berdasarkan hasil pemodelan, potensi tsunami dapat mempengaruhi wilayah Nias hingga Selatan Pulau Tanabala (Sumatra Utara), dengan status Waspada. Peringatan dini tsunami ini diberikan untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat terhadap potensi gelombang tinggi. (Pradana, 2023)

Tabel 1. Data Tsunami

Kejadian Tsunami	Tanggal	Lokasi	Penyebab Tsunami	Tinggi Gelombang Tsunami	Jumlah Korban Jiwa	Sistem Peringatan Dini
Tsunami Palu	28 September 2018	Palu, Sulawesi Tengah	Gempa Bumi Magnitudo 7.4	6 meter	~5,000	Ada, tetapi terlambat sekitar 5 menit sebelum terjadinya Tsunami.
Tsunami Selat Sunda	22 Desember 2018	Banten, Lampung	Erupsi Gunung Anak Krakatau	0.5 - 3 meter	437	Ada, BMKG memberi peringatan dini sekitar 14 jam 27 menit.
Tsunami Mentawai	25 Oktober 2010	Kepulauan Mentawai, Sumbar	Gempa Magnitudo 7.7	3 - 6 meter	448	Ada, BMKG memberi peringatan dini, tetapi kemudian dicabut setelah kemungkinan ancaman tsunami

						berlalu.
Tsunami Maluku	15 Januari 2021	Maluku	Gempa Magnitu do 6.1	0.5 meter	0	Ada, BMKG memberi peringatan dini, sekitar 15 menit sebelum terjadinya tsunami.
Tsunami Palu (Sebelum Ina-TEWS)	15 Agustus 1968	Palu, Sulawesi Tengah	Gempa Bumi Magnitu do 7.7	9 - 10 meter	392	Tidak ada
Tsunami Selat Sunda (Sebelum Ina-TEWS)	1883	Selat Sunda, Jawa Sumatra	Erupsi Krakatau	Tidak tercatat dengan pasti	~36,000	Tidak ada
Tsunami Mentawai (Sebelum Ina-TEWS)	1909	Kepulauan Mentawai, Sumbar	Gempa Bumi	Tidak tercatat dengan pasti	Tidak tercatat	Tidak ada
Tsunami Maluku (Sebelum Ina-TEWS)	1965	Maluku	Gempa Bumi Magnitu do 7.4	6 meter	Tidak tercatat	Tidak ada

PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang ada, dapat disimpulkan bahwa peran Ina-TEWS telah meningkatkan kesiapsiagaan bencana tsunami, meskipun tidak sepenuhnya mengeliminasi kerugian yang terjadi. Beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas Ina-TEWS adalah, Kecepatan dan Ketepatan Informasi: Beberapa peristiwa menunjukkan bahwa peringatan dini yang diberikan oleh BMKG cukup cepat dan tepat, seperti dalam kasus Selat Sunda 2018 dan Sumbar 2023. Meskipun demikian, ketepatan waktu peringatan sering kali menjadi masalah, terutama saat gempa terjadi dengan kedalaman dangkal atau berada di dekat pantai. Kesadaran dan Kesiapsiagaan Masyarakat: Meskipun peringatan sudah dikeluarkan, respons masyarakat terhadap peringatan dini sangat bervariasi. Pada peristiwa Mentawai 2010, meskipun ada peringatan dini, banyak masyarakat yang tidak segera mengungsi karena tidak menyadari bahwa tsunami akan datang. Hal ini menunjukkan pentingnya pendidikan dan pelatihan tentang mitigasi bencana dan kesiapsiagaan. Infrastruktur dan Koordinasi: Koordinasi antar lembaga dan distribusi informasi yang efektif sangat penting dalam meminimalkan dampak bencana. Di beberapa daerah, akses yang terbatas dan kondisi geografis yang sulit memperlambat penyebaran informasi dan evakuasi, seperti yang terjadi di Mentawai 2010 dan Palu 2018.

Adapun beberapa rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas Ina-TEWS yaitu, Peningkatan Sosialisasi dan Edukasi Masyarakat: Masyarakat perlu diberdayakan dengan pengetahuan yang lebih mendalam tentang sistem peringatan dini dan cara-cara evakuasi yang aman. Peningkatan Infrastruktur Peringatan Dini: Memperkuat jaringan peringatan dini dan memperluas cakupan ke wilayah-wilayah terpencil yang belum terjangkau oleh teknologi. Koordinasi yang Lebih Baik: Meningkatkan koordinasi antar lembaga dan pihak terkait, termasuk pemerintah daerah, BMKG, dan organisasi non-pemerintah, untuk memastikan respons yang cepat dan efektif setelah peringatan dini dikeluarkan.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Peran Ina-TEWS dalam mitigasi bencana tsunami di Indonesia sangat penting, terutama dalam memberikan peringatan dini yang memungkinkan masyarakat dan pihak berwenang untuk mengambil langkah-langkah evakuasi sebelum tsunami terjadi. Dengan sistem deteksi yang terdiri dari sensor seismik, buoy, tide gauge, dan sistem komunikasi cepat, Ina-TEWS mampu mendeteksi gempa bumi yang berpotensi tsunami dan menyebarkan informasi ke masyarakat melalui berbagai saluran komunikasi.

Efektivitas Ina-TEWS dalam memberikan peringatan dini telah menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan sebelum sistem ini diterapkan. Sejak dioperasikan pada tahun 2008, Ina-TEWS telah membantu mengurangi dampak tsunami dengan memberikan informasi cepat dan akurat terkait parameter gempa dan potensi tsunami. Namun, efektivitasnya masih dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti keterlambatan dalam penyebaran informasi di beberapa wilayah, kurangnya kesadaran dan kesiapan masyarakat dalam merespons peringatan, serta keterbatasan infrastruktur pendukung di daerah rawan tsunami.

Untuk meningkatkan efektivitas Ina-TEWS, diperlukan peningkatan sosialisasi dan edukasi masyarakat, penguatan infrastruktur deteksi dan komunikasi, serta koordinasi yang lebih baik antar lembaga terkait dalam penyebaran informasi dan pelaksanaan evakuasi. Dengan perbaikan dan optimalisasi sistem, Ina-TEWS dapat semakin berperan dalam mengurangi risiko dan dampak bencana tsunami di Indonesia.

PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain cakupan data yang terbatas pada katalog tsunami Indonesia tahun 1962-2023 dan sumber sekunder, sehingga keakuratan analisis dapat terpengaruh; fokus penelitian hanya pada peran Ina-TEWS dalam mitigasi bencana tsunami tanpa membahas aspek respons masyarakat pascabencana atau efektivitas kebijakan mitigasi jangka panjang; ketergantungan pada sumber sekunder tanpa observasi langsung; serta tidak adanya studi lapangan yang membatasi pemahaman implementasi Ina-TEWS di lapangan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan studi lapangan dengan wawancara pemangku kepentingan guna memahami efektivitas Ina-TEWS, melakukan analisis komparatif dengan sistem peringatan dini di negara lain, mengembangkan model prediksi berbasis AI

untuk meningkatkan akurasi peringatan, serta mengkaji respons masyarakat terhadap peringatan dini guna meningkatkan kesiapsiagaan dan efektivitas mitigasi tsunami di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi dalam proses penelitian ini. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada BMKG Wilayah I Medan atas bimbingan, fasilitas, serta kesempatan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga segala kontribusi dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang berlimpah, serta penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan mitigasi bencana di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, A. dkk. (2024). *Geologi Gempa Bumi Indonesia*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. ISBN 978-623-359-200-0
- BMKG. (2025, Januari 30). Gempabumi Tektonik M=7.7 Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah pada hari Jumat, 28 September 2018, Berpotensi Tsunami. Retrieved from Siaran Perss: <https://www.bmkg.go.id/siaran-pers/gempabumi-tektonik-m7-7-kabupaten-donggala-sulawesi-tengah-pada-hari-jumat-28-september-2018-berpotensi-tsunami>
- Damarjati, D. (2018, Desember 27). Sore di Palu dan Donggala: Gempa, Tsunami, dan Likuifaksi. Retrieved from detikNews: <http://news.detik.com/berita/d-4361370/sore-di-palu-dan-donggala-gempa-tsunami-dan-likuifaksi>
- Dewi, R. K., & Nugroho, R. S. (2021, Desember 22). Hari Ini dalam Sejarah: Tsunami Selat Sunda Menewaskan 437 Orang. Retrieved from KOMPAS.com: <https://www.kompas.com/tren/read/2021/12/22/091202565/hari-ini-dalam-sejarah-tsunami-selat-sunda-menewaskan-437-orang?page=all>
- Dwipanegara, A. D. (2020). Evaluasi Kinerja Sistem Peringatan Dini Tsunami Di Indonesia. *Jurnal: Industri Elektro dan Penerbangan*, 4(1).
- Findayani, A. (2015). Kesiap siagaan masyarakat dalam penanggulangan banjir di Kota Semarang. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 12(1), 102-114. <https://journal.unnes.ac.id/nju/JG/article/download/8019/5561>
- Hamzah, L., Puspito, N. T., & Imamura, F. (2000). Tsunami catalog and Zones in Indonesia. *Of natural Disaster Science*, 25-43.
- Hendra, Y. (2020, September 30). Gempa Sumbar 2009, Pengalaman Tanpa Pembelajaran. Retrieved from Langgam.id: <https://langgam.id/gempa-sumbar-2009-pengalaman-tanpa-pembelajaran/>

<https://core.ac.uk/download/pdf/300056957.pdf>

- Kurniawan, W., Daryono, D., Kerta, I. D. K., & Triwinugroho, T. (2022). Analisis Sistem Peringatan Dini Tsunami di Zona Megathrust Selat Sunda Guna Mewujudkan Ketahanan Nasional. *PENDIPA Journal of Science Education*, 6(2), 457-464. <https://ejournal.unib.ac.id/pendipa/article/view/20012>
- Maiyudi, R., Meilano, I., & Sarsito, D. (2017). Akumulasi Regangan di Sumatera Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002-2008 dan Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Pelepasan Regangan. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 1(2). <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekayasahijau/article/view/1630>
- Maulana, A. T., & Andriansyah, A. (2024). Mitigasi Bencana di Indonesia. *COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 3(10), 3996-4012. <https://comserva.publikasiindonesia.id/index.php/comserva/article/view/1213>
- Metrikasari, R., & Choiruddin, A. (2021). Pemodelan Risiko Gempa Bumi di Pulau Sumatera Menggunakan Model Inhomogeneous Neyman-Scott Cox Process. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 9(2), D102-D107. http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/52318
- Muhari, A. (2016, 10 26). Belajar dari Mentawai, Mewaspada Tsunami yang "Senyap". Retrieved from [Kompas.com: https://sains.kompas.com/read/2016/10/26/10001101/belajar.dari.mentawai.mewaspada.tsunami.yang.senyap.?page=all](https://sains.kompas.com/read/2016/10/26/10001101/belajar.dari.mentawai.mewaspada.tsunami.yang.senyap.?page=all)
- Mustafa, B. (2010). Analisis gempa nias dan gempa sumatera barat dan kesamaannya yang tidak menimbulkan tsunami. *Jurnal Ilmu Fisika*, 2(1), 44-50.
- Panggabean, D. Y., Tarigan, P., & Halawa, E. (2023). *EINSTEIN (e-Journal)*. *Jurnal Einstein*, 11(1), 20-25. <http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/einsten>
- Patty, R. R., & Agriesta, D. (2021, Juli 16). Maluku Tengah Dilanda Tsunami Usai Gempa M 6,1, BMKG: Cepat Sekali, Ketinggiannya 0,5 Meter. Retrieved from [Kompas.com: https://regional.kompas.com/read/2021/06/16/200744778/maluku-tengah-dilanda-tsunami-usai-gempa-m-61-bmkg-cepat-sekali?page=all](https://regional.kompas.com/read/2021/06/16/200744778/maluku-tengah-dilanda-tsunami-usai-gempa-m-61-bmkg-cepat-sekali?page=all)
- Pradana, R. S. (2023, April 25). Waspada Tsunami Sumatra Utara! Gempa M 7,3 Terasa hingga Padang dan Pekanbaru. Retrieved from [BREAKING NEWS The Fed Tahan Suku Bunga, Ekonomi AS Dinilai Kuat dan Inflasi Menuju Target Pertamina dan KIP RI Gelar Bimtek, Perkuat Tata Kelola Informasi Publik](https://www.breitbart.com/indonesia/2023/04/25/waspada-tsunami-sumatra-utara-gempa-m-73-terasa-hingga-padang-dan-pekanbaru/) Kol:

<https://kabar24.bisnis.com/read/20230425/15/1649978/waspada-tsunami-sumatra-utara-gempa-m-73-terasa-hingga-padang-dan-pekanbaru>

- Rahman, A. Z. (2015). Kajian mitigasi bencana tanah longsor di Kabupaten Banjarnegara. *Gema Publica*, 1(1), 1-14. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/gp/article/view/10412>
- Saleh, D. F. M., Baeda, A. Y., & Rahman, S. (2022). Skema Mitigasi Tsunami Mendatang di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan. *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman*, 1(2), 42-46. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/jrt2k/article/view/24420>
- Sarapang, H. T., Rogi, O. H., & Hanny, P. (2019). Analisis kerentanan bencana tsunami di Kota Palu. *Spasial*, 6(2), 432-439. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/spasial/article/view/25325>
- Septiyan, M. R., Hantoro, J., & Saputra, E. Y. (2023, September 29). Tsunami dan Gempa Palu Donggala 2018 dalam Angka: Korban, Daya Rusak, dan Lainnya. Retrieved from TEMPO: <https://www.tempo.co/politik/tsunami-dan-gempa-palu-donggala-2018-dalam-angka-korban-daya-rusak-dan-lainnya-138090>
- Sidik, J., Wardana, I. M. S., Zuhdi, M., Syahrial, A., & Syamsuddin, S. (2023). Efektivitas Sistem Informasi Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS). *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 4(1), 26-31. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v4i1.219>
- Suciati, R. D., Mahardhani, A. J., & Kristiana, D. (2022). Mitigasi bencana untuk menumbuhkan karakter peduli lingkungan pada anak usia dini. *Jurnal Dimensi Pendidikan dan Pembelajaran*, 10(2), 123-129. <http://journal.umpo.ac.id/index.php/dimensi/article/view/4811>
- Sudarti, S. (2024). kondisi MEKANISME ANGIN TOPAN DAN DAMPAKNYA PADA LINGKUNGAN: mekanisme angin topan dan dampaknya pada lingkungan serta upaya pencegahannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(1), 1-9.
- Supardi, A. (2019, Oktober 2). Masih Membekas, Gempa Bengkulu 12 Tahun Lalu [Bagian 1]. Retrieved from Mongabay: <https://www.mongabay.co.id/2019/10/02/masih-membekas-gempa-bengkulu-12-tahun-lalu-bagian-1/>
- Syafitri, Y., Bahtiar, & Didik, L. A. (2018). Analisis Pergeseran Lempeng Bumi Yang Meningkatkan Potensi Terjadinya Gempa Bumi di Pulau Lombok. *Jurnal Fisika dan pendidikan Fisika*, 139-146.

Usmanto, B., & Bernadhita, H. S. U. (2018). Prototype Sistem Pendeteksi Dan Peringatan Dini Bencana Alam Di Indonesia Berbasis Internet of Things (Iot). *Explore: Jurnal Sistem Informasi dan Telematika*, 9(2), 331322.

Wiloso, D. A., & Vienastra, S. (2018). Mitigasi Bencana Tsunami di SDN Tirtohargo Dusun Baros, Desa Tirtohargo, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Gaung Informatika*, 11(1).

<https://www.jurnal.usahidsolo.ac.id/index.php/GI/article/download/264/219>