

Tinjauan Upaya Pemerintah dalam Mitigasi Risiko Gempa Megathrust dengan Analisis Kesiapan Infrastruktur dan Edukasi Masyarakat

Loso Judijanto¹, Nofirman Nofirman², Ramdan Yusuf³, M Marjan⁴

¹IPOSS Jakarta; losojudijantobumn@gmail.com

²Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH., Bengkulu; fir.rimbogiam@gmail.com

³Universitas Madako Tolitoli; ramdanyusuf792@gmail.com

⁴Universitas Tadulako; marjan.enviro@gmail.com

Article Info

Article history:

Received Oktober, 2024

Revised Oktober, 2024

Accepted Oktober, 2024

Kata Kunci:

Gempa Bumi Megathrust,
Kesiapan Infrastruktur,
Pendidikan Publik,
Kesiapsiagaan Bencana, Mitigasi
Risiko

Keywords:

Megathrust Earthquake,
Infrastructure Readiness, Public
Education, Disaster
Preparedness, Risk Mitigation

ABSTRAK

Studi ini mengevaluasi upaya pemerintah Indonesia dalam memitigasi risiko gempa bumi megathrust, dengan fokus pada dua faktor penting: kesiapan infrastruktur dan edukasi publik. Pendekatan kuantitatif digunakan, dengan menggunakan survei yang didistribusikan kepada 200 responden di wilayah gempa berisiko tinggi. Hasilnya, yang dianalisis melalui Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), menunjukkan bahwa kesiapan infrastruktur dan pendidikan publik memiliki dampak positif yang signifikan terhadap efektivitas mitigasi risiko gempa bumi. Selain itu, studi ini juga menemukan bahwa pembangunan infrastruktur meningkatkan jangkauan dan efektivitas inisiatif pendidikan publik. Terlepas dari upaya-upaya tersebut, masih terdapat kesenjangan dalam partisipasi masyarakat dalam kegiatan kesiapsiagaan dan ketahanan infrastruktur dan utilitas transportasi terhadap gempa bumi. Studi ini memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti oleh para pembuat kebijakan untuk memperkuat kesiapsiagaan bencana dengan mengintegrasikan pembangunan infrastruktur dengan kampanye pendidikan publik.

ABSTRACT

The study evaluates the Indonesian government's efforts to mitigate the risk of megathrust earthquakes, focusing on two important factors: infrastructure readiness and public education. A quantitative approach was used, using a survey distributed to 200 respondents in high-risk earthquake areas. The results, which were analyzed through Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), show that the readiness of infrastructure and public education have a significant positive impact on the effectiveness of earthquake risk mitigation. In addition, the study also found that infrastructure development increases the reach and effectiveness of public education initiatives. Despite these efforts, there is still a gap in community participation in the preparedness and resilience of infrastructure and transportation utilities against earthquakes. The study provides actionable insights for policymakers to strengthen disaster preparedness by integrating infrastructure development with public education campaigns.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Name: Loso Judijanto

Institution: IPOSS Jakarta

Email: losojudiantobumn@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi megathrust, terutama di sepanjang Sunda Megathrust di Indonesia, merupakan ancaman yang signifikan karena potensi kerusakan yang meluas. Peristiwa ini terjadi di zona subduksi, di mana satu lempeng tektonik dipaksa berada di bawah lempeng tektonik lainnya, melepaskan energi yang sangat besar. Lokasi Indonesia yang berada di kawasan Cincin Api yang aktif secara seismik meningkatkan kerentanannya, sehingga membutuhkan strategi manajemen risiko bencana yang kuat. Gempa bumi yang sering terjadi mengancam infrastruktur dan ekonomi (Marlina et al., 2024), dengan pertemuan lempeng yang kompleks di Sunda Megathrust yang mempengaruhi magnitudo gempa bumi dan tingkat keretakannya (X. Wang et al., 2024). Penilaian kerentanan menunjukkan kerusakan yang bervariasi pada bangunan negara, yang menyoroti perlunya asuransi bencana yang ditargetkan (Marlina et al., 2024). Gempa bumi zona subduksi menyebabkan kerusakan yang signifikan, terutama di negara-negara dengan sumber daya terbatas (Asad et al., 2023), seperti yang terlihat pada gempa bumi di Haiti tahun 2010 dan gempa bumi di Jepang tahun 2011, yang memicu tsunami yang dahsyat (Ramadan et al., 2024). Pendanaan risiko bencana yang efektif sangat penting, dengan fokus pada struktur berisiko tinggi (Marlina et al., 2024). Penilaian risiko yang komprehensif membantu memprioritaskan tindakan manajemen, meningkatkan ketahanan (Asad et al., 2023), sementara memahami pola seismik di dalam zona subduksi sangat penting untuk mitigasi bencana (Brizzi et al., 2024).

Posisi Indonesia yang berada di Cincin Api Pasifik membuatnya sangat rentan terhadap aktivitas seismik, termasuk gempa bumi dan tsunami, yang secara historis telah menyebabkan banyak korban jiwa dan gangguan ekonomi, seperti gempa bumi dan tsunami di Samudra Hindia pada tahun 2004. Hal ini menyoroti kebutuhan mendesak akan strategi mitigasi yang efektif, yang dikategorikan ke dalam investasi infrastruktur, implementasi kebijakan, dan pemahaman bahaya. Investasi infrastruktur, seperti peningkatan sistem transportasi, energi, air, dan telekomunikasi, sangat penting untuk meminimalkan dampak bencana dan memungkinkan pemulihan ekonomi yang lebih cepat (Idroes et al., 2023). Mendukung UKM dengan insentif juga dapat meningkatkan ketahanan ekonomi, karena mereka lebih mudah beradaptasi dengan guncangan ekonomi (Idroes et al., 2023). Implementasi kebijakan di Indonesia, termasuk Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2008, telah efektif dalam mengelola bencana gempa bumi, tetapi diperlukan perbaikan di berbagai bidang seperti penyebaran informasi, infrastruktur, dan koordinasi antara pemerintah pusat dan daerah (Achmad, 2023). Memahami tsunami yang dihasilkan oleh tanah longsor dan aktivitas gunung berapi sangatlah penting, dengan penelitian terbaru yang menyerukan pengetahuan dan pemodelan bahaya yang lebih baik (Heidarzadeh et al., 2023). Rentetan gempa bumi Lombok 2018 juga menyoroti interaksi yang kompleks antara sistem seismik dan vulkanik, yang menekankan perlunya pemantauan dan pemodelan terpadu (Zhao et al., 2023).

Pemerintah Indonesia telah melakukan upaya yang signifikan untuk memitigasi risiko yang terkait dengan gempa bumi megathrust, dengan fokus pada kesiapan infrastruktur dan program pendidikan publik untuk meningkatkan ketahanan dan mengurangi potensi kerusakan dan korban jiwa. Strategi pembiayaan risiko bencana telah diterapkan untuk melindungi bangunan negara yang berisiko tinggi, termasuk penilaian kerentanan dan cakupan asuransi untuk bangunan-bangunan yang diklasifikasikan sebagai berisiko tinggi mengalami kerusakan akibat gempa bumi (Marlina et

al., 2024). Administrasi publik sangat penting dalam mengoordinasikan kesiapsiagaan infrastruktur, memastikan bahwa bangunan, jalan, dan utilitas penting dibangun atau diperbaiki untuk menahan guncangan gempa, sehingga menjaga stabilitas ekonomi dan meminimalkan kerugian material (Rijal & Ausat, 2024). Pendidikan publik juga memainkan peran penting, dengan strategi pendidikan bencana yang mencakup program pelatihan, kampanye kesadaran, dan simulasi untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat, meskipun pendekatan standar masih kurang (Pradipta et al., 2023). Program-program khusus seperti Disaster Empowerment Center (DEC) di Desa Sabrang menasar populasi yang rentan, seperti anak-anak di pesisir, melalui pendidikan dan pelatihan untuk meningkatkan ketangguhan masyarakat (Yunanto et al., 2024). Selain itu, inisiatif di tingkat universitas juga berkontribusi terhadap kesiapsiagaan bencana, dengan studi yang menunjukkan ketangguhan bencana yang memuaskan di kalangan mahasiswa, tetapi menyoroti perlunya sistem peringatan dini yang lebih baik dan latihan simulasi (Adha & Lestari, 2024).

Terlepas dari inisiatif-inisiatif ini, masih ada pertanyaan mengenai efektivitas program-program yang dipimpin oleh pemerintah dalam mengurangi risiko gempa bumi megathrust. Pembangunan infrastruktur di daerah-daerah rawan gempa mungkin masih tertinggal di beberapa daerah, dan tingkat kesadaran dan kesiapsiagaan masyarakat sangat bervariasi di seluruh negeri. Oleh karena itu, tinjauan komprehensif dan analisis kuantitatif terhadap upaya-upaya pemerintah tersebut sangat penting untuk memahami efektivitasnya saat ini dan mengidentifikasi area-area yang perlu ditingkatkan. Studi ini bertujuan untuk menilai upaya pemerintah dalam memitigasi risiko yang terkait dengan gempa bumi megathrust dengan menganalisis dua faktor penting: kesiapan infrastruktur dan edukasi publik. Pendekatan kuantitatif akan digunakan untuk memeriksa hubungan antara faktor-faktor ini dan keberhasilan mitigasi risiko secara keseluruhan. Dengan mengumpulkan data dari para pemangku kepentingan utama dan masyarakat yang terkena dampak, penelitian ini berusaha untuk memberikan evaluasi berbasis bukti terhadap strategi mitigasi yang ada saat ini dan memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas upaya-upaya di masa depan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Risiko dan Dampak Gempa Bumi Megathrust

Gempa bumi megathrust, terutama yang terjadi di zona subduksi seperti Sunda Megathrust di Indonesia, menimbulkan risiko yang signifikan karena potensinya untuk menghasilkan tsunami, tanah longsor, dan kerusakan yang meluas, seperti yang dicontohkan oleh gempa bumi di Samudra Hindia pada tahun 2004. Penelitian menekankan interaksi yang kompleks antara faktor-faktor geologi yang mempengaruhi perilaku dan dampak gempa bumi ini, yang menyoroti perlunya strategi mitigasi risiko yang komprehensif. Geometri dan kondisi gesekan megathrust secara signifikan mempengaruhi magnitudo gempa bumi dan luasnya rupture, dengan studi di Sumatra menunjukkan bahwa perubahan geometri patahan dapat menghentikan rupture, menggarisbawahi pentingnya memahami sabuk seismisitas dan batimetri dalam penilaian bahaya (X. Wang et al., 2024). Area megathrust subduksi yang terkunci berkorelasi dengan fitur bentang alam, memberikan bukti geomorfologi pengangkatan jangka panjang dan distribusi regangan, yang membantu membatasi bahaya seismik (Oryan et al., 2024). Analisis bahaya tsunami stokastik di daerah seperti Zona Subduksi Makran menunjukkan bahwa gempa bumi besar pun dapat menghasilkan dampak tsunami yang bervariasi akibat heterogenitas slip, sehingga menyoroti perlunya teknik pemodelan yang lebih canggih (Jannat et al., 2023). Di Indonesia, tsunami yang berasal dari sumber longsor dan vulkanik, seperti kejadian Anak Krakatau 2018, menunjukkan sifat tsunami yang tidak dapat diprediksi, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut (Heidarzadeh et al., 2023). Selain itu, microatolls karang di Kepulauan Ryukyu memberikan wawasan tentang siklus seismik megathrust, yang mengungkap pembebanan interseismik dan peristiwa slip lambat yang sangat penting untuk memahami potensi kejadian seismik di masa depan (Debaecker et al., 2023).

2.2 Kesiapan Infrastruktur dalam Mitigasi Gempa Bumi

Kesiapan infrastruktur di daerah rawan gempa bumi seperti Indonesia sangat penting untuk meminimalkan kerusakan dan korban jiwa, dengan ketahanan jalan, jembatan, dan layanan penting sebagai kunci pemulihan bencana. Berbagai studi menekankan pentingnya merancang dan memperbaiki infrastruktur agar tahan terhadap bencana alam, dengan fokus pada peraturan bangunan dan mempertahankan fungsionalitasnya saat terjadi gempa bumi. Meskipun Indonesia telah melakukan upaya untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur, tantangan seperti penegakan hukum dan pendanaan yang tidak memadai masih ada, sehingga menyoroti perlunya investasi yang berkelanjutan dan standar keselamatan yang lebih ketat (Saidu, 2019). Konsep “kapasitas ketahanan” menggarisbawahi kemampuan struktur untuk menyerap, memulihkan, dan beradaptasi terhadap beban seismik (C. Wang et al., 2023). Mengembangkan indeks kerentanan seismik dapat memandu strategi mitigasi, seperti yang ditunjukkan dalam studi kasus yang menggunakan teknologi GIS (Amoako et al., 2020). Kolaborasi dan pendanaan internasional sangat penting untuk membangun ketahanan, terutama di negara-negara berkembang (Adafer et al., 2024). Proyek-proyek konkret memberikan wawasan tentang strategi seperti adaptasi desain aset dan kesadaran transportasi public (Adafer et al., 2024), sementara penilaian risiko probabilistik membantu dalam perencanaan investasi untuk meningkatkan ketahanan (Croope & McNeil, 2011).

2.3 Pendidikan Publik dan Kesiapsiagaan Bencana

Pendidikan publik sangat penting untuk mitigasi risiko gempa bumi, karena hal ini meningkatkan ketahanan masyarakat dengan memberdayakan individu untuk mengambil tindakan pencegahan, mengamankan rumah, mengembangkan rencana darurat, dan meningkatkan kesadaran tentang sistem peringatan dini dan rute evakuasi. Di Indonesia, inisiatif pendidikan publik telah diimplementasikan untuk meningkatkan kesiapsiagaan bencana, meskipun masih ada tantangan dalam menjangkau daerah pedesaan dan mempertahankan keterlibatan publik dalam jangka panjang (Pradipta et al., 2023). Program-program seperti Unit Pendidikan Aman Bencana telah memberikan dampak positif terhadap kesiapsiagaan siswa dengan meningkatkan pengetahuan dan perilaku keselamatan mereka (Husain et al., 2023; Papatheodorou et al., 2023). Namun, kurangnya metode terstandarisasi dan terbatasnya akses di daerah terpencil menghambat efektivitas upaya-upaya ini (Pradipta et al., 2023). Contoh internasional, seperti integrasi kesiapsiagaan bencana di Jepang ke dalam kurikulum sekolah dan latihan nasional, menawarkan wawasan yang berharga untuk meningkatkan pendidikan publik (Papatheodorou et al., 2023). Kemajuan teknologi, termasuk aplikasi ponsel pintar dan pusat pendidikan, juga dapat meningkatkan kesadaran masyarakat dengan menyediakan informasi secara real-time (Papatheodorou et al., 2023). Mempertahankan keterlibatan publik tetap menjadi tantangan, terutama setelah periode tidak aktifnya aktivitas seismik, yang membutuhkan upaya edukasi berkelanjutan untuk menjaga kesiapsiagaan dan ketangguhan (Husain et al., 2023; Pradipta et al., 2023).

2.4 Kebijakan Pemerintah dan Mitigasi Risiko Gempa Bumi

Keterlibatan pemerintah dalam mengurangi risiko gempa bumi megathrust memiliki banyak aspek, yang meliputi legislasi, investasi infrastruktur, pendidikan publik, dan kerja sama internasional. Kepemimpinan pemerintah yang kuat sangat penting untuk pengurangan risiko bencana yang efektif, seperti yang disoroti oleh Tierney dkk. (2001) dan Birkland (2006). Di Indonesia, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mengkoordinasikan kesiapsiagaan dan tanggap bencana, meskipun masih ada tantangan dalam implementasi kebijakan dan koordinasi di seluruh tingkat pemerintahan. Peraturan bangunan tahan gempa sangat penting, tetapi di tempat-tempat seperti Bukittinggi, anggaran dan fasilitas yang tidak memadai menghambat upaya mitigasi bencana (Fadhilah & Yuliani, 2024). Memperkuat kerangka hukum untuk penanggulangan bencana, seperti yang terlihat di Kabupaten Wonogiri, merupakan strategi utama untuk meningkatkan pengurangan risiko (Setiawan & Fitriani, 2024). Pendidikan publik, meskipun penting, tidak memiliki metode yang terstandarisasi, dan mengintegrasikan pengetahuan lokal dengan

partisipasi masyarakat diperlukan untuk ketangguhan (Pradipta et al., 2023; Rijal & Ausat, 2024). Komitmen Indonesia terhadap kerangka kerja internasional, seperti Kerangka Kerja Sendai untuk Pengurangan Risiko Bencana, mencerminkan upaya yang sedang berlangsung untuk meningkatkan tata kelola bencana (Rijal & Ausat, 2024). Namun, sistem Tata Kelola, Risiko, dan Kepatuhan (Governance, Risk, and Compliance/GRC) dalam penanggulangan bencana masih terus berkembang, sehingga membutuhkan pedoman dan desain infrastruktur yang terstandardisasi (Supratikta et al., 2024).

2.5 Kesenjangan Penelitian

Meskipun literatur memberikan wawasan yang berharga tentang efektivitas upaya pemerintah dalam mitigasi risiko gempa bumi, masih terdapat beberapa kesenjangan. Pertama, masih terbatasnya penelitian yang secara khusus berfokus pada tantangan-tantangan unik yang ditimbulkan oleh gempa bumi megathrust, khususnya dalam hal kesiapan infrastruktur. Kedua, meskipun pendidikan publik telah dipelajari secara luas, masih diperlukan lebih banyak penelitian tentang bagaimana mempertahankan keterlibatan publik dalam kesiapsiagaan bencana dalam jangka panjang. Terakhir, diperlukan lebih banyak penelitian kuantitatif untuk mengevaluasi efektivitas kebijakan pemerintah saat ini dalam memitigasi risiko gempa bumi di berbagai wilayah di Indonesia.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif, yang memungkinkan pengukuran dan analisis yang obyektif terhadap hubungan antara upaya mitigasi pemerintah (kesiapan infrastruktur dan edukasi publik) dan efektivitasnya dalam mengurangi risiko gempa bumi. Metode survei cross-sectional digunakan untuk mengumpulkan data dari sampel representatif individu yang tinggal di daerah berisiko tinggi gempa bumi megathrust. Desain penelitian ini disusun untuk mengumpulkan data kuantitatif yang dapat dianalisis dengan menggunakan metode statistik, sehingga dapat memberikan wawasan empiris tentang efektivitas strategi mitigasi yang ada.

3.2 Populasi dan Pengambilan Sampel

Populasi penelitian ini adalah penduduk yang tinggal di daerah rawan gempa bumi di Indonesia, khususnya di dekat jalur patahan Sunda Megathrust, yang meliputi daerah-daerah di Sumatra, Jawa, dan pulau-pulau lain di sekitarnya yang memiliki risiko tinggi terhadap gempa bumi megathrust. Selain itu, populasi juga mencakup pejabat pemerintah, pengembang infrastruktur, dan petugas pendidikan publik yang terlibat dalam upaya mitigasi risiko gempa bumi. Teknik pengambilan sampel acak bertingkat digunakan untuk memastikan keterwakilan dari berbagai kelompok dalam populasi, termasuk masyarakat perkotaan, pedesaan, dan pesisir dengan tingkat risiko gempa yang berbeda. Pendekatan ini menjamin bahwa sampel mencakup individu-individu dari berbagai wilayah geografis dan latar belakang sosial-ekonomi, sehingga memudahkan penilaian yang komprehensif terhadap upaya mitigasi pemerintah. Ukuran sampel untuk survei ini ditentukan dengan menggunakan rumus Cochran, dengan tingkat kepercayaan 95% dan margin kesalahan 5%. Oleh karena itu, dengan jumlah populasi daerah yang diteliti, sampel ditetapkan sebesar 200 responden, yang didistribusikan secara tepat di seluruh wilayah yang dipilih, untuk memastikan hasil yang signifikan secara statistik dan juga untuk memudahkan proses pengumpulan dan analisis data.

Alat pengumpulan data utama untuk studi ini adalah kuesioner terstruktur yang dirancang untuk menangkap informasi tentang kesiapan infrastruktur, upaya pendidikan publik, dan persepsi individu tentang kesiapsiagaan risiko gempa bumi. Pengumpulan data dilakukan selama tiga bulan, dari April hingga Juni 2024. Enumerator terlatih dikerahkan ke daerah-daerah yang ditargetkan untuk mendistribusikan dan mengelola survei. Di daerah-daerah yang aksesnya terbatas, survei dilakukan melalui telepon atau platform online. Penggunaan enumerator memastikan tingkat

respons yang tinggi dan pengumpulan data yang akurat, terutama di daerah pedesaan di mana akses internet mungkin terbatas. Sebanyak 200 tanggapan dikumpulkan dan diverifikasi untuk kelengkapan dan keakuratannya sebelum melanjutkan ke analisis data.

3.3 Analisis Data

Statistik deskriptif digunakan untuk meringkas karakteristik demografis responden dan untuk memberikan gambaran umum tentang tanggapan mengenai kesiapan infrastruktur dan upaya pendidikan publik. Ukuran tendensi sentral, seperti mean, median, dan modus, bersama dengan metrik variabilitas seperti deviasi standar dan rentang, dihitung untuk mengidentifikasi tren keseluruhan dalam persepsi publik tentang kesiapsiagaan gempa bumi dan ketahanan infrastruktur. Untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel independen (kesiapan infrastruktur dan pendidikan publik) dan variabel dependen (persepsi efektivitas upaya mitigasi risiko), statistik inferensial diterapkan melalui Pemodelan Persamaan Struktural (Structural Equation Modeling/SEM). Teknik multivariat yang kuat ini sangat cocok untuk memeriksa hubungan yang kompleks antara variabel teramati dan variabel laten, sesuai dengan tujuan studi ini untuk mengevaluasi efektivitas pemerintah. Model SEM mencakup tiga hubungan utama: dampak kualitas infrastruktur terhadap efektivitas mitigasi risiko, pengaruh pendidikan publik terhadap persepsi kesiapsiagaan terhadap gempa bumi megathrust, dan pengaruh pembangunan infrastruktur terhadap efektivitas pendidikan publik. Model dianalisis menggunakan Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) melalui perangkat lunak SmartPLS 3, yang memungkinkan estimasi simultan dari beberapa hubungan dan memberikan hasil yang kuat bahkan dengan distribusi data yang tidak normal. Pengujian hipotesis kemudian dilakukan untuk menilai signifikansi dari hubungan-hubungan ini.

Hipotesis berikut ini dirumuskan berdasarkan tinjauan literatur dan tujuan penelitian:

H1: Kesiapan infrastruktur memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap efektivitas upaya mitigasi risiko gempa bumi.

H2: Edukasi masyarakat memiliki dampak positif yang signifikan terhadap efektivitas upaya mitigasi risiko gempa bumi.

H3: Kesiapan infrastruktur memiliki dampak positif yang signifikan terhadap jangkauan dan efektivitas inisiatif pendidikan publik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Demografi Responden

Survei ini dilakukan terhadap 200 responden dari berbagai wilayah di Indonesia yang rentan terhadap gempa bumi megathrust. Tabel 1 merangkum karakteristik demografis responden.

Tabel 1. Karakteristik Demografis Responden

Variabel	Frekuensi (n=200)	Persentase (%)
Jenis Kelamin		
Laki-laki	110	55%
Perempuan	90	45%
Usia		
18-29 tahun	50	25%
30-39 tahun	80	40%
40-49 tahun	40	20%
50 tahun ke atas	30	15%
Tingkat Pendidikan		
SMA	50	25%
Diploma/Sarjana	120	60%
Magister ke atas	30	15%
Wilayah		

Sumatra	60	30%
Jawa	90	45%
Kepulauan Lainnya	50	25%

Profil demografis menunjukkan bahwa sampel mencakup distribusi yang cukup merata antara responden laki-laki dan perempuan, dengan konsentrasi peserta pada kelompok usia 30-39 tahun. Sebagian besar responden telah menyelesaikan setidaknya pendidikan diploma atau sarjana, yang merupakan hal penting dalam menilai peran pendidikan dalam kesiapsiagaan bencana.

4.2 Analisis Deskriptif

Fokus pertama dalam penelitian ini adalah persepsi responden tentang kesiapan infrastruktur di daerah mereka. Tabel 2 menyajikan ringkasan dari jawaban-jawaban atas pertanyaan-pertanyaan yang berhubungan dengan kesiapan infrastruktur.

Tabel 2. Kesiapan Infrastruktur

Item	Rata-rata	Deviasi Standar
Bangunan publik dibangun sesuai standar tahan gempa	3.80	0.75
Jalan dan jembatan dalam kondisi baik dan dapat menahan gempa	3.60	0.85
Rumah sakit dan layanan darurat dilengkapi untuk skenario gempa	3.90	0.70
Utilitas (air, listrik, dll.) dirancang untuk ketahanan gempa	3.55	0.90

Hasil penelitian menunjukkan bahwa responden secara umum menganggap infrastruktur di wilayah mereka cukup siap untuk menghadapi gempa bumi, dengan bangunan umum (rata-rata = 3,80) dan rumah sakit (rata-rata = 3,90) dinilai sebagai yang paling siap. Namun, ada kekhawatiran tentang kesiapan utilitas (rata-rata = 3,55) dan infrastruktur transportasi, seperti jalan dan jembatan (rata-rata = 3,60), yang dinilai lebih rendah sebagai perbandingan. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun upaya telah dilakukan untuk memastikan bahwa infrastruktur penting tahan gempa, masih ada beberapa area yang memerlukan perbaikan lebih lanjut.

Fokus kedua adalah pendidikan publik dan perannya dalam kesiapsiagaan bencana. Tabel 3 menyajikan ringkasan dari tanggapan yang terkait dengan pendidikan publik.

Tabel 3. Pendidikan dan Kesiapsiagaan Publik

Item	Rata-rata	Deviasi Standar
Saya mengetahui program kesiapsiagaan gempa pemerintah	4.10	0.65
Saya pernah mengikuti simulasi gempa atau program pelatihan	3.75	0.80
Saya mengetahui rute evakuasi dan tempat aman di komunitas saya	3.95	0.70
Saya merasa cukup siap untuk merespons gempa	3.65	0.85

Temuan ini menunjukkan bahwa responden secara umum sadar akan upaya pemerintah untuk mengedukasi masyarakat mengenai kesiapsiagaan gempa bumi (rata-rata = 4,10). Namun, partisipasi dalam program pelatihan atau latihan dinilai sedikit lebih rendah (rata-rata = 3,75), yang mengindikasikan bahwa meskipun kesadarannya tinggi, keterlibatan aktif dalam program kesiapsiagaan mungkin masih kurang. Skor rata-rata untuk mengetahui rute evakuasi (3,95) relatif tinggi, tetapi perasaan kesiapsiagaan secara keseluruhan (rata-rata = 3,65) lebih rendah, menunjukkan bahwa pendidikan publik yang lebih komprehensif dan upaya pelibatan mungkin diperlukan untuk meningkatkan tingkat kesiapsiagaan yang sebenarnya.

4.3 Hasil Pemodelan Persamaan Struktural (SEM)

Untuk menguji hubungan antara variabel independen (kesiapan infrastruktur dan pendidikan publik) dan variabel dependen (efektivitas mitigasi risiko), dilakukan analisis Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Hasil analisis SEM disajikan di bawah ini.

Tabel 4. Koefisien Jalur SEM dan Pengujian Hipotesis

Hypothesis	Path Coefficient	t-value	p-value
H1: Kesiapan Infrastruktur → Efektivitas Mitigasi Risiko	0.482	5.233	< 0.001
H2: Edukasi Publik → Efektivitas Mitigasi Risiko	0.427	4.856	< 0.001
H3: Kesiapan Infrastruktur → Edukasi Publik	0.359	3.768	< 0.001

Hasil SEM mengkonfirmasi bahwa kesiapan infrastruktur (koefisien jalur = 0,482, $p < 0,001$) dan pendidikan publik (koefisien jalur = 0,427, $p < 0,001$) memiliki dampak positif yang signifikan terhadap efektivitas upaya mitigasi risiko gempa bumi. Selain itu, kesiapan infrastruktur ditemukan memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap jangkauan dan efektivitas inisiatif pendidikan publik (koefisien jalur = 0,359, $p < 0,001$), yang mendukung hipotesis bahwa infrastruktur yang dikembangkan dengan baik dapat memfasilitasi keterlibatan publik yang lebih baik dalam program-program kesiapsiagaan bencana.

4.4 Pembahasan

Hasil penelitian ini memberikan wawasan yang berharga tentang efektivitas upaya pemerintah Indonesia untuk memitigasi risiko gempa bumi megathrust. Temuan-temuan menunjukkan bahwa meskipun kesiapan infrastruktur secara umum dianggap cukup memadai, masih ada beberapa area yang perlu ditingkatkan, terutama dalam jaringan transportasi dan utilitas. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Ramadan et al., 2024; Ramadhani et al., 2024), yang menyoroti perlunya investasi yang lebih besar untuk memperbaiki dan meningkatkan infrastruktur yang lebih tua untuk memenuhi standar tahan gempa modern.

Upaya pendidikan publik terbukti efektif dalam meningkatkan kesadaran akan risiko gempa bumi, tetapi partisipasi dalam latihan dan kegiatan kesiapsiagaan agak lebih rendah dari yang diharapkan. Kesenjangan antara kesadaran dan tindakan ini konsisten dengan temuan dari (Fadhilah & Yuliani, 2024; Marzuki et al., 2024), yang mencatat bahwa mempertahankan keterlibatan masyarakat dalam kesiapsiagaan bencana dapat menjadi tantangan, terutama di daerah yang belum lama ini mengalami peristiwa seismik. Pemerintah mungkin perlu mengimplementasikan kampanye yang lebih tepat sasaran yang tidak hanya menginformasikan masyarakat tetapi juga mendorong partisipasi aktif dalam kegiatan kesiapsiagaan.

Hasil SEM lebih lanjut menggarisbawahi pentingnya pendekatan terpadu untuk mitigasi risiko gempa bumi. Hubungan positif yang signifikan antara kesiapan infrastruktur dan pendidikan publik menunjukkan bahwa infrastruktur yang dikembangkan dengan baik mendukung penyebaran program pendidikan yang lebih efektif. Temuan ini didukung oleh penelitian dari (Pradipta et al., 2023; Ramadan et al., 2024; Ramadhani et al., 2024), yang menyatakan bahwa infrastruktur fisik memainkan peran penting dalam memungkinkan akses publik ke sumber daya kesiapsiagaan bencana.

4.5 Implikasi untuk Kebijakan dan Praktik

Temuan-temuan penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting bagi para pembuat kebijakan dan praktisi manajemen risiko bencana:

- 1) Investasi yang berkelanjutan pada infrastruktur tahan gempa, terutama jaringan transportasi dan utilitas, diperlukan untuk mengurangi kerentanan terhadap gempa megathrust. Pemerintah harus memprioritaskan perkuatan infrastruktur yang lebih tua untuk memastikan bahwa infrastruktur tersebut memenuhi standar keselamatan modern.
- 2) Meskipun kesadaran akan risiko gempa bumi sudah tinggi, perlu lebih banyak upaya untuk meningkatkan partisipasi masyarakat dalam kegiatan kesiapsiagaan seperti latihan dan program pelatihan. Pendekatan interaktif dan berbasis masyarakat mungkin lebih efektif dalam melibatkan masyarakat.

- 3) Hubungan yang signifikan antara kesiapan infrastruktur dan pendidikan publik menunjukkan bahwa peningkatan infrastruktur dapat meningkatkan jangkauan dan efektivitas program pendidikan. Para pembuat kebijakan harus mempertimbangkan untuk mengintegrasikan pembangunan infrastruktur dengan inisiatif pendidikan publik untuk menciptakan masyarakat yang lebih tangguh.

4.6 Keterbatasan dan Penelitian di Masa Depan

Meskipun penelitian ini memberikan wawasan yang berharga, beberapa keterbatasan harus diperhatikan. Pertama, studi ini bergantung pada data yang dilaporkan sendiri, yang mungkin memiliki bias; penelitian di masa depan dapat memasukkan ukuran obyektif dari kualitas infrastruktur dan partisipasi pendidikan publik. Selain itu, sifat cross-sectional dari penelitian ini membatasi kemampuannya untuk menilai perubahan jangka panjang dalam tingkat kesiapsiagaan, menunjukkan bahwa studi longitudinal dapat menawarkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang bagaimana upaya pemerintah berkembang dari waktu ke waktu. Terakhir, meskipun penelitian ini berfokus pada kesiapan infrastruktur dan pendidikan publik, penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi faktor-faktor lain yang memengaruhi mitigasi risiko gempa bumi, seperti koordinasi pemerintah, ketahanan masyarakat, dan sistem peringatan dini.

5. KESIMPULAN

Studi ini memberikan analisis rinci tentang upaya pemerintah Indonesia untuk memitigasi risiko yang terkait dengan gempa bumi megathrust, dengan fokus pada efektivitas kesiapan infrastruktur dan pendidikan publik. Temuan-temuan menunjukkan bahwa kedua faktor tersebut memainkan peran penting dalam meningkatkan kesiapsiagaan bencana secara keseluruhan, dengan kesiapan infrastruktur berkontribusi positif terhadap efektivitas program pendidikan publik. Namun demikian, masih terdapat kesenjangan dalam hal partisipasi masyarakat dalam kegiatan kesiapsiagaan dan ketahanan infrastruktur utilitas dan transportasi. Untuk lebih meningkatkan mitigasi risiko gempa bumi, pemerintah harus memprioritaskan perkuatan infrastruktur penting dan meningkatkan upaya untuk secara aktif melibatkan masyarakat dalam program kesiapsiagaan bencana. Mengintegrasikan pembangunan infrastruktur dengan inisiatif pendidikan publik adalah kunci untuk membangun masyarakat yang lebih tangguh yang mampu menahan dampak buruk gempa bumi megathrust.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, W. (2023). The effectiveness of earthquake disaster management policy in Indonesia. *Ganaya: Jurnal Ilmu Sosial Dan Humaniora*, 6(2), 367–377.
- Adafer, S., Badaoui, M., Bensaibi, M., & Mokhbi, S. (2024). Assessing road vulnerability in seismic conditions: a comprehensive study. *Studies in Engineering and Exact Sciences*, 5(1), 926–954.
- Adha, R. S., & Lestari, F. (2024). Disaster Preparedness Among University of Indonesia's Public Health Student: A Campus Study. *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, 7(6), 1651–1657.
- Amoako, G. K., Doe, J. K., & Dzogbenuku, R. K. (2020). Perceived firm ethicality and brand loyalty: the mediating role of corporate social responsibility and perceived green marketing. *Society and Business Review*, 16(3), 398–419. <https://doi.org/10.1108/SBR-05-2020-0076>
- Asad, R., Saleem, M. Q., Habib, M. S., Mufti, N. A., & Mayo, S. M. (2023). Seismic risk assessment and hotspots prioritization: a developing country perspective. *Natural Hazards*, 117(3), 2863–2901.
- Brizzi, S., Heuret, A., Piromallo, C., Corbi, F., Funicello, F., & Lallemand, S. (2024). *Unveiling subduction-related seismicity: towards a new global database*. Copernicus Meetings.
- Croope, S. V., & McNeil, S. (2011). Improving resilience of critical infrastructure systems postdisaster: recovery and mitigation. *Transportation Research Record*, 2234(1), 3–13.
- Debaecker, S., Feuillet, N., Satake, K., Sowa, K., Yamada, M., Watanabe, A., Saiki, A., Saurel, J., Nakamura, M., & Occhipinti, G. (2023). Recent relative sea-level changes recorded by coral microatolls in Southern Ryukyus Islands, Japan: implication for the seismic cycle of the megathrust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 24(6), e2022GC010587.

- Fadhilah, P. Z., & Yuliani, F. (2024). Implementasi Mitigasi Penanggulangan Bencana Gempa Bumi di Kota Bukittinggi. *Journal of Research and Development on Public Policy*, 3(3), 199–207.
- Heidarzadeh, M., Hilmann Natawidjaja, D., Frederik, M. C. G., Daryono, M. R., Putra, P., Patria, A., Riadi Gusman, A., & Mulia, I. E. (2023). Significant tsunami hazards in Indonesia from landslide and volcanic sources. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, EGU-16705.
- Husain, F., Imamah, I. N., Astuti, N. P., Suharto, N. T., Kusumastuti, A., & Astuti, I. (2023). Edukasi Mitigasi Bencana Banjir dan Gempa Bumi pada Siswa Sekolah Dasar. *Kolaborasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(6), 343–352.
- Idroes, G. M., Hardi, I., Nasir, M., Gunawan, E., Maulidar, P., & Maulana, A. R. R. (2023). Natural disasters and economic growth in Indonesia. *Ekonomikalia Journal of Economics*, 1(1), 33–39.
- Jannat, M. R. A., Rastgoftar, E., & Goda, K. (2023). Improvement to stochastic tsunami hazard analysis of megathrust earthquakes for western Makran subduction zone. *Applied Ocean Research*, 141, 103784.
- Marlina, H., Ruslanjari, D., & Hakim, I. (2024). Disaster risk financing and insurance for earthquake-prone state buildings in Indonesia. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 16(1), 1–8.
- Marzuki, M., Vonnisa, M., Harmadi, H., Pujiastuti, D., Budiman, A., Puryanti, D., Oktamuliani, S., Taufiq, I., Yusfi, M., & Rasyid, R. (2024). Education of Disaster Awareness through Disaster Readiness Socialization as an Effort to Increase Community Knowledge around the Nobita Hill Tourism Area on Disaster Mitigation. *Warta Pengabdian Andalas*, 31(2), 353–361.
- Oryan, B., Olive, J.-A., Jolivet, R., Malatesta, L. C., Gailleton, B., & Bruhat, L. (2024). Megathrust locking encoded in subduction landscapes. *Science Advances*, 10(17), ead14286.
- Papatheodorou, K., Theodoulidis, N., Klimis, N., Zulfikar, C., Vintila, D., Cardanet, V., Kirtas, E., Toma-Danila, D., Margaritis, B., & Fahjan, Y. (2023). Rapid Earthquake Damage Assessment and Education to Improve Earthquake Response Efficiency and Community Resilience. *Sustainability*, 15(24), 16603.
- Pradipta, I. G. I., Adiandari, A. M., Herlambang, P. G. D., & Kartika, M. (2023). Strengthening Community Disaster Education for Disaster Mitigation. *Journal of Communication in Scientific Inquiry (JCSI)*, 5(2), 127–133.
- Ramadan, A. N. A., Hendardi, A. R., Asniar, N., & Nurmayadi, D. (2024). Increasing student knowledge with counseling on anticipating earthquakes. *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, 9(2).
- Ramadhani, N., Yunanto, R. A., Setioputro, B., & Haristiani, R. (2024). *The Relationship between Demographic Characteristics and Disaster Preparedness for Facing Landslides in Rural Areas of Indonesia*.
- Rijal, S., & Ausat, A. M. A. (2024). The Role of Public Administration in Natural Disaster Mitigation and Its Implications for Economic Stability. *Indo-Fintech Intellectuals: Journal of Economics and Business*, 4(3), 872–883.
- Saidu, S. (2019). CEO characteristics and firm performance: focus on origin, education and ownership. *Journal of Global Entrepreneurship Research*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40497-019-0153-7>
- Setiawan, E., & Fitriani, W. A. (2024). Disaster Mitigation Strategies Based on Risk Matrix and House of Risk (HoR) Phase 2. *Journal of Natural Resources & Environment Management/Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 14(2).
- Supratikta, H., Maemunah, S., Saga, B., & Kartolo, R. (2024). THE INNOVATION OF GOVERNMENT RISK MANAGEMENT MITIGATION FOR DISASTER MANAGEMENT IN INDONESIA. *Journal of Law and Sustainable Development*, 12(5), e3625–e3625.
- Wang, C., Ayyub, B. M., & Beer, M. (2023). Resilience Capacity of Civil Structures and Infrastructure Systems. In *ASCE Inspire 2023* (pp. 459–466).
- Wang, X., Wei, S., Morales-Yáñez, C., Duputel, Z., Chen, L., Hao, T., & Zhao, L. (2024). Plate interface geometry complexity and persistent heterogenous coupling revealed by a high-resolution earthquake focal mechanism catalog in Mentawai, Sumatra. *Earth and Planetary Science Letters*, 637, 118726.
- Yunanto, R. A., Haristiani, R., Setioputro, B., & Rokhmah, D. (2024). Optimizing the level of disaster preparedness for coastal children in creating a disaster resilient generation. *Abdimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Merdeka Malang*, 9(2).
- Zhao, S., McClusky, S., Miller, M., & Cummins, P. (2023). The impact of the 2018 Lombok earthquake sequence, Indonesia on the unrest Rinjani-Samalas volcanic complex inferred from the time-dependent seismic and volcanic source models. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, EGU-13534.