

INTEGRASI PEMETAAN ANCAMAN, KERENTANAN, DAN KAPASITAS DALAM KAJIAN RISIKO GEMPABUMI DAN TSUNAMI DI PESAWARAN, LAMPUNG

Zulfikar Adlan Nadzir¹, Nirmawana Simarmata^{1*}, Lea Kristi Agustina¹, dan Mutia Rahma Apriani¹

¹Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera
e-mail : nirmawana.simarmata@gt.itera.ac.id

Abstrak. Pesawaran adalah nama dari sebuah kabupaten di Provinsi Lampung. Pada kabupaten ini terdapat sesar lokal dan area pesisir yang berbatasan langsung dengan Selat Sunda, sehingga rawan terjadi gempa bumi dan tsunami. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat risiko dari gempa bumi dan tsunami di Kabupaten Pesawaran menggunakan indeks ancaman, kerentanan, dan kapasitas. Metode yang digunakan adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) untuk pembuatan peta ancaman gempa bumi dan perhitungan H_{loss} untuk pembuatan peta ancaman tsunami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bencana gempa bumi Kabupaten Pesawaran memiliki risiko rendah hingga sedang. Tidak ada indeks risiko tinggi gempa bumi di Kabupaten Pesawaran. Hal ini dikarenakan indeks ancaman dan kerentanan berada pada kategori rendah hingga sedang, dan indeks kapasitas berada pada kategori tinggi. Indeks risiko sedang dengan luas terbesar berada di Desa Bogorejo, Gedong Tataan seluas 2.695,02 ha. Sedangkan, untuk bencana tsunami hanya berpotensi di beberapa kelurahan yang terletak di Kecamatan Teluk Pandan, Punduh Pidada, Padang Cermin, dan Marga Punduh. Hampir seluruh wilayah tersebut memiliki indeks ancaman yang tinggi, namun indeks risikonya sebagian besar berada pada kategori rendah hingga sedang, hanya sebagian kecil yang memiliki risiko tinggi tsunami. Hal ini dikarenakan indeks kerentanan berada pada kategori rendah hingga sedang, dan indeks kapasitas berada pada kategori tinggi. Sehingga, meskipun ancaman di wilayah tersebut tinggi, namun risikonya dapat diperkecil karena minimnya kerentanan ditambah dengan kapasitas yang tinggi. Salah satu wilayah yang memiliki indeks risiko tsunami adalah Desa Persiapan Dantar, Kecamatan Padang Cermin dengan luas sebesar 349,42 ha.

Kata Kunci: Gempabumi; Manajemen Kebencanaan; Pemetaan Risiko; Pesawaran; Tsunami

Abstract. *Pesawaran Regency is a regency, located in Lampung Province. The regency has known local faults and coastal areas directly adjacent to the Sunda Strait, making it prone to earthquake and tsunami disasters. This study uses the combination of vulnerability, hazard and capacity indices to estimate the degree of risk associated with earthquakes as well as tsunamis in the Pesawaran Regency. The method used is Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) for making earthquake hazard maps and H_{loss} calculation for making tsunami hazard maps. As a result, for earthquake disasters Pesawaran Regency has a low to moderate risk. There is no high risk index for earthquakes in Pesawaran Regency. This is because the threat and vulnerability indexes are in the low to medium category, and the capacity index is in the high category. The moderate risk index with the largest area is in Bogorejo Village, Gedong Tataan District with an area of 2,695.02 hectares. Meanwhile, tsunami disaster has potential only in several villages located in Padang Cermin, Teluk Pandan, Marga Punduh, and Punduh Pidada sub-districts. Almost all of these areas have a high threat index, but the risk index is mostly in the low to medium category, only a small portion has a high risk level for tsunami. This happened due to the vulnerability index which valued in the low to medium category, and the capacity index is in the high category. Thus, although the threat in the area is high, the risk can be minimized due to the lack of vulnerability coupled with high capacity. One of the areas that has a tsunami risk index is Persiapan Dantar Village, Padang Cermin Sub-district with an area of 349.42 hectares. These findings could inform the stakeholders to improve mitigation strategies in Pesawaran Regency.*

Keywords: *Disaster Management; Earthquake; Pesawaran; Risk Mapping; Tsunami*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kondisi yang unik dalam hal risiko bencana yang mana merupakan efek dari lokasi geografisnya, menyebabkan Indonesia rawan akan bencana berbasis tektonik seperti gempa bumi dan tsunami ataupun bencana berbasis gunung api (Djalante dkk., 2017; Garschagen dkk., 2016; Suppasri dkk., 2012). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) di tahun 2018 menemukan bahwa di seluruh Indonesia, lebih dari 1,200 kejadian bencana tercatat, yang terjadi dengan lebih dari 700 ribu korban jiwa dan sekitar 20 ribu bangunan yang rusak. Indonesia berada pada tiga lempeng tektonik aktif, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia (Jufriansah dkk., 2021). Kondisi ini menjadikan Indonesia berada pada wilayah yang memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan rawan terjadi bencana gempa bumi (Widyastuti dkk., 2020). Gempa bumi sendiri disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik ataupun erupsi vulkanik (Stein & Wysession, 2009). Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) bencana gempa bumi di Indonesia mencapai 400 kali setiap bulan, bahkan di tahun 2019 telah tercatat setidaknya 11.600 kali gempa bumi pada situs *Earthquake Repository* (Kurmiati dkk., 2021). Aktivitas gempa bumi juga dapat menjadi sumber pembangkit utama tsunami, selain dari adanya aktivitas vulkanik dan tanah longsor dalam laut (Fauzi dkk., 2020). Tsunami adalah gelombang laut berperiode panjang yang muncul akibat gangguan di lingkungan laut dan dapat memengaruhi wilayah pesisir (Løvholt dkk., 2012; Mutaqin dkk., 2019). Sejak tahun 1600 sampai 2012, tercatat telah terjadi tsunami di Indonesia sebanyak 172 kali (BNPB, 2012a). Sebagian besar wilayah pesisir Indonesia berisiko terkena tsunami, termasuk pantai barat Sumatra, pantai selatan di Jawa, Nusa Tenggara, Bali, pantai utara dan tengah Sulawesi, Maluku dan bagian Maluku Utara, serta bagian barat dan utara Papua (BNPB, 2012a). Selain dari aktivitas tektonik, gempa bumi yang terjadi di Indonesia bisa disebabkan oleh aktivitas vulkanik dari gunung berapi aktif yang terletak di Indonesia (Murdiaty dkk., 2020). Lebih dari 200 gunung berapi terletak di sepanjang Sumatra, Jawa, Bali dan pulau-pulau di bagian timur Indonesia, yang dikenal sebagai *Ring of Fire* (Masum & Ali Akbar, 2019). Bencana-bencana di atas tidak hanya merusak infrastruktur dan menghilangkan nyawa, tetapi juga memiliki dampak yang signifikan pada kelanjutan ekonomi dan kelangsungan hidup masyarakat. Menurut Bank Dunia, bencana alam di Indonesia menyebabkan kerugian ekonomi sebesar 2,5% dari Produk Domestik Bruto (PDB) per tahun (Kryspin-Watson dkk., 2019). Karakteristik tersebut berpadu sebagai risiko khusus bagi masyarakat Indonesia secara umum, yang diperparah dengan fakta bahwa banyak masyarakat Indonesia yang lebih rentan dan hidup di bawah garis kemiskinan (World Bank, 2023).

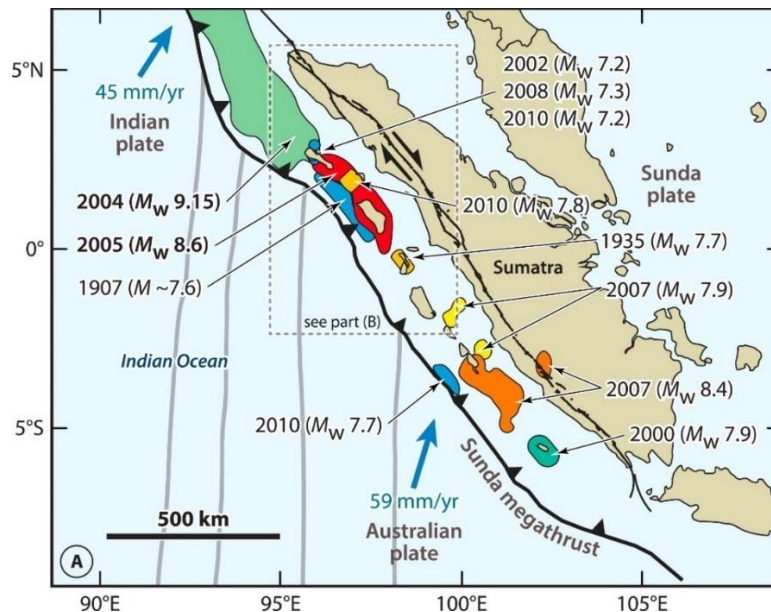
Beberapa faktor juga mempengaruhi tingkat kerentanan berbagai wilayah di Indonesia terhadap bencana geologis. Salah satunya adalah kondisi geografis, seperti lereng gunung yang curam. Selain itu, naiknya jumlah penduduk secara terus-menerus serta proses urbanisasi yang tidak terkontrol khususnya di daerah pesisir juga meningkatkan tingkat risiko dari bencana geologis di Indonesia (Firman, 2016). Perlu dicatat bahwa sebagian besar penduduk Indonesia tinggal <100 km dari garis pantai (Kusuma-Atmadja & Purwaka, 1996), sehingga perlu adanya upaya untuk memperkuat ketangguhan warga negara Indonesia dan juga untuk lebih memahami risiko bencana geologis, khususnya di wilayah pinggir pantai.

Pemahaman mendalam akan definisi dan juga tenaga pembangkit dari gempa bumi dan tsunami sangat penting dalam membangun kesiapsiagaan dan ketahanan masyarakat terhadap menghadapi bencana. Regulasi yang berhubungan dengan gempa bumi dan tsunami di Indonesia sudah diatur dalam beberapa produk hukum, yaitu tentang Penanggulangan Bencana yang tertuang dalam perundang-undangan Nomor 24 Tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2007 mengenai penyelenggarannya. Tujuan dari produk hukum tersebut adalah untuk melindungi masyarakat dari risiko gempa bumi dan tsunami sembari mempercepat proses pemulihan pasca bencana. Berbagai upaya pencegahan dan mitigasi dari gempa bumi dan tsunami telah dilakukan di Indonesia. Usaha-usaha tersebut melingkupi pembangunan infrastruktur tahan gempa, penyusunan peta risiko serta edukasi masyarakat dalam menghadapi dan tahan gempa bumi serta tsunami (Fuady dkk., 2021; Hendriyawan dkk., 2018; Imamura dkk., 2012; Jena, Pradhan, Beydoun, dkk., 2020). Upaya-upaya tersebut sudah menunjukkan hasil yang baik, dibuktikan dengan nilai kemajuan akan pengurangan risiko bencana yang lebih baik daripada rata-rata seluruh dunia. Hanya saja, proses ini masih jauh

dari kata selesai, memerlukan usaha-usaha lain untuk meningkatkan tingkat pemahaman akan risiko dari sebuah bencana dan memperkuat kapasitas dari masyarakat dalam menanggulangi sebuah bencana.

Penilaian dari risiko bencana merupakan langkah awal yang penting dalam upaya penanggulangan bencana. Proses kuantifikasi tersebut dilakukan dengan mengidentifikasi bahaya atau ancaman, kerentanan dan kapasitas suatu lokasi. Di Indonesia, upaya untuk mewujudkan masyarakat dan sistem yang tangguh akan bencana diawali dengan implementasi dan ratifikasi Kerangka Kerja Hyogo (*Hyogo Framework for Action*, HFA) dengan lima Prioritas Aksi (BNPB, 2015; Djalante dkk., 2012). Dalam konteks pemetaan risiko, suatu ancaman tidak akan menjadi bencana jika kerentanan masyarakat rendah dan kapasitas yang dimiliki tinggi. Tingginya tingkat kerentanan (*vulnerability*) mempengaruhi besar resiko bencana yang bisa terjadi (Pawirodikromo, 2015). Karena itulah, upaya mitigasi untuk mengurangi ancaman dan dampak dari kejadian gempabumi tidak bisa dipisahkan dari pemetaan ancaman. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis ancaman seismik adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), yaitu metode untuk mengetahui mikrozonasi gempabumi. Hasil dari metode ini adalah *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau percepatan getaran tanah maksimum dalam satuan *gravitational acceleration* (gal) pada suatu lokasi dan periode waktu tertentu. PSHA menghitung ancaman gempa dengan mengkalkulasikan seluruh kejadian gempa dan *ground motion* yang mungkin terjadi di masa depan-(PuSGeN, 2017). Besar nilai PGA berbanding lurus dengan potensi kerusakan infrastruktur dan bangunan, menjadikan analisis PSHA cukup penting dalam proses perencanaan dan mitigasi bencana. Sedangkan pemodelan tsunami dilakukan menggunakan perhitungan jangkauan inundasi tsunami menggunakan metode numerik bernama Hloss, yaitu kehilangan tinggi gelombang per meter jarak inundasi. Besarnya tinggi gelombang yang berkurang saat bergerak melintasi daratan dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan kelerengan wilayah (Berryman, 2006). Metode Hloss berangkat dari asumsi bahwa panjang gelombang tsunami lebih besar daripada kedalaman air yang dianggap bersifat homogen. Sehingga, parameter yang digunakan untuk memodelkan penjalaran gelombang tsunami adalah kombinasi -dari tinggi gelombang tsunami yang terjadi di pantai, koefisien kekasaran permukaan (*surface roughness coefficient*) dan kelerengan wilayah (Pertiwi dkk., 2018).

Salah satu kabupaten di Provinsi Lampung adalah Kabupaten Pesawaran dan tidak terlepas dari ancaman bencana. Pesawaran sendiri terletak di koordinat $104,92^{\circ}$ - $105,34^{\circ}$ BT serta $5,12^{\circ}$ - $5,84^{\circ}$ LS. Daerah ini berbatasan langsung terhadap Selat Sunda, yang merupakan kawasan aktif secara vulkanik dan tektonik, serta merupakan peralihan antara segmen Sumatera dan Jawa (BNPB, 2012a). Menurut BNPB, Kabupaten Pesawaran berisiko tinggi terdampak tsunami dan gempabumi besar di segmen *Megathrust* Selat Sunda. Gempa tektonik di perairan Selat Sunda dan Samudera Hindia serta aktivitas vulkanik di Gunung Anak Krakatau menyebabkan tsunami di Selat Sunda (Fauzi dkk., 2020). Gambar 1 di bawah ini menunjukkan patahan aktif dan segmen-segmen yang ada di Pulau Sumatera bagian selatan.



Gambar 1. Patahan Aktif dan Segmen-Segmen Pulau Sumatera Bagian Selatan (Meltzner dkk., 2015)

Selain itu, Kabupaten Pesawaran berbatasan langsung dengan Teluk Lampung sehingga gelombang tsunami menyempit dan dapat mempercepat gerakan gelombang tersebut (Fauzi dkk., 2020). Data BNPB menyatakan bahwa letusan Gunung Anak Krakatau di Selat Sunda pada 22 Desember 2018 menyebabkan tsunami di Kabupaten Pesawaran. Kabupaten Pesawaran juga pernah mengalami gempa bumi yang terjadi pada 6 Januari 2021. Kejadian gempa bumi dicatat berdasarkan lokasi berupa lintang dan bujur serta kedalamannya dengan tingkat kekuatan gempa (magnitudo) tertentu (Ardewati dkk., 2018). Berdasarkan laporan BMKG Provinsi Lampung, terjadi gempa bumi yang berpusat pada koordinat $5,56^{\circ}$ Lintang Selatan dan $105,14^{\circ}$ Bujur Timur, berlokasi di Kabupaten Pesawaran pada kedalaman 3 kilometer dengan kekuatan magnitudo 3,4 (BMKG, 2021). Gempa bumi ini disebabkan oleh sesar lokal dan memiliki kedalaman dangkal yaitu kurang dari 60 km (BMKG, 2021). Kabupaten Pesawaran memiliki kondisi geologi kompleks, dengan batuan sedimen yang mudah terkikis dan tanah yang longsor. Secara detail, Pesawaran memiliki kondisi stratigrafi Tersier dan Kuartier (Natalia & Denhi, 2023) dan merupakan gabungan dari formasi gunung api muda, Aluvium dan Andesit Tua (Marpaung, 2021). Batuan sedimen yang mudah terkikis, struktur geologi yang kompleks berupa patahan dan lipatan, serta kemiringan lereng yang curam membuat wilayah ini sangat rentan terhadap bencana geologi. Selain itu, kondisi ini membuat wilayah tersebut rentan terhadap tsunami dan gempa bumi. Kondisi yang rentan ini menjadi objek penelitian sejenis mengenai gempa bumi, seperti yang dilakukan di Kota Pariaman menggunakan metode PSHA dengan hasil risiko berkelas sedang (Baihaqi & Pujiastuti, 2023), penggunaan model Neyman-Scott Cox Process untuk seluruh bagian dari pulau Sumatera berbasis asumsi inhomogenitas dari lokasi gempa bumi (Metrikasari & Choiruddin, 2021) dengan hasil yang baik dan menggunakan model *logistic regression* untuk permodelan berbasis relasi linier dengan tingkat persetujuan sebesar 84% (Umar dkk., 2014). Penggunaan metode-metode di atas menunjukkan fleksibilitas dari beberapa metode yang diaplikasikan di pulau Sumatera. Sedangkan penelitian sejenis di Sumatera untuk tsunami sudah dilakukan di Sumatera Barat (Vemileza Putri dkk., 2022) dan Aceh (Zaiyana & Buchori, 2014).

Pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk menganalisis korelasi, pola, serta konteks geografis dengan baik. Pendekatan SIG digunakan untuk menghitung tingkat ancaman, kerentanan, kapasitas, dan risiko bencana di Kabupaten Pesawaran. Metode ini bermanfaat karena memungkinkan para pemangku kebijakan membuat keputusan dan komunikasi yang lebih baik. Peta kajian ancaman dibuat menggunakan metode PSHA untuk gempa bumi dan perhitungan Hloss untuk tsunami. Peta tingkat kerentanan menggunakan parameter kerentanan fisik, ekonomi, sosial, dan lingkungan, dan pengkajian risiko dilakukan menggunakan *Hazard, Vulnerability, and Capacity* (HVC). Metode ini digunakan untuk menunjukkan bagaimana ancaman, kerentanan, dan kapasitas berkorelasi satu sama lain, yang membantu menentukan tingkat risiko bencana di

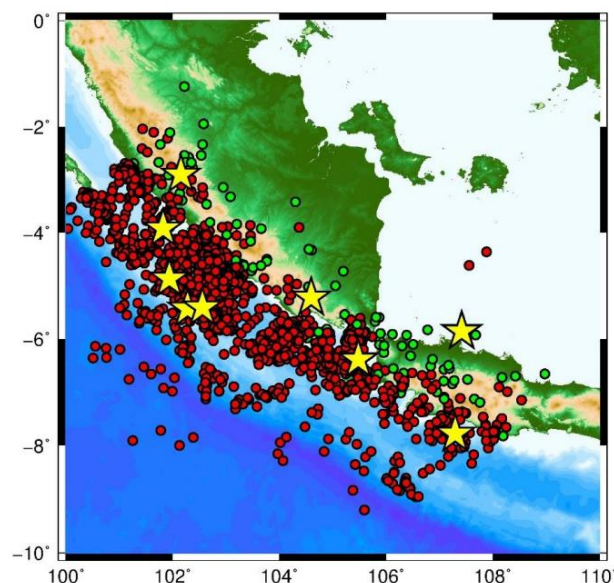
Kabupaten Pesawaran. Penelitian ini berbeda dengan penelitian sejenis sebelumnya karena menggunakan metode PSHA dan Hloss yang lebih akurat dan komprehensif dalam mengestimasi tingkat ancaman di sebuah wilayah. Penelitian ini juga mengintegrasikan data sosial, ekonomi, fisik dan lingkungan untuk mendapatkan estimasi kerentanan yang lebih teliti. Analisis kerentanan diperlukan karena suatu bencana memiliki dampak langsung pada masyarakat baik dalam sektor sosial, ekonomi, fisik, dan lingkungan. Lokasi yang berbahaya disertai dengan kondisi infrastruktur yang tidak terlindungi merupakan penyebab berkembangnya kerentanan (Wisner dkk., 2003). Selain itu, data lapangan dalam hal kapasitas setiap Kecamatan di Kabupaten Pesawaran juga digunakan untuk lebih memahami konteks risiko bencana. Kapasitas dilakukan untuk menilai kemampuan daerah dan masyarakat dalam menghadapi bencana, demi perlindungan yang lebih baik di masa depan dan mengurangi risiko akibat bencana yang ditimbulkan (Sari dkk., 2017). Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu masyarakat di Kabupaten Pesawaran untuk lebih siap menghadapi bencana gempa bumi dan tsunami, dengan meningkatkan pemahaman mereka tentang risiko bencana dan mengembangkan strategi mitigasi yang efektif.

METODOLOGI

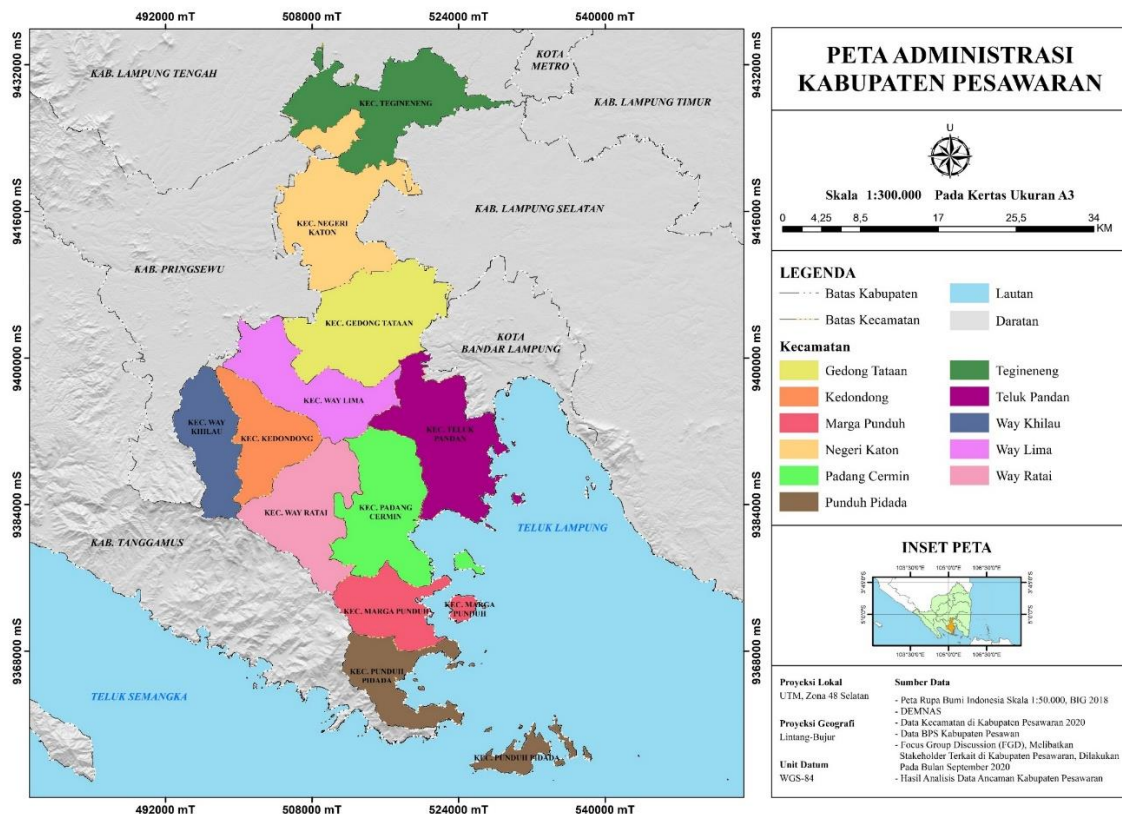
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, Indonesia. Kabupaten Pesawaran sendiri berada pada koordinat 492.672 mT – 538.888 mT dan 9.353.706 mS – 9.433.883 mS. dengan luas wilayah Pesawaran sekitar 1.173,77 km². Pesawaran itu sendiri berbatasan langsung dengan Kabupaten Lampung Selatan, Tanggamus, Lampung Tengah, Teluk Lampung, dan Kota Bandar Lampung. Terdapat 11 kecamatan di Pesawaran, yaitu Kecamatan Tegineneng, Marga Punduh, Way Khilau, Teluk Pandan, Kedondong, Padang Cermin, Way Ratai, Punduh Pidada, Gedong Tataan, Way Lima dan Negeri Katon.

Wilayah ini dipilih sebagai lokasi penelitian dikarenakan memiliki potensi ancaman gempa bumi dan tsunami yang cukup besar. Untuk gempa bumi, kabupaten ini dilalui oleh Sesar Sumatera dan Semangko yang menjadi episenter dari beberapa gempa bumi beberapa tahun terakhir seperti pada tahun 2009 dengan berkekuatan 6,2 magnitudo pada Gambar 2 (Pasari dkk., 2021; Rai dkk., 2023). Selain itu, Kabupaten Pesawaran juga berbatasan langsung di bagian selatannya dengan Selat Sunda merupakan jalur potensial dari tsunami, dengan kejadian sebelumnya di tahun 2018 akibat letusan Gunung Anak Krakatau. Kondisi geologis dan topografis dari Kabupaten Pesawaran yang beragam juga mendukung dipilihnya wilayah ini sebagai lokasi dari penelitian. Wilayah Kabupaten Pesawaran dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 2. Persebaran Gempabumi di Sumatera di tahun 1970 sampai 2021, dengan bintang mewakili > 5 Mw



Gambar 3. Peta dari Lokasi Penelitian

Estimasi Ancaman Gempabumi dengan PSHA

Gempabumi terjadi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba oleh gelombang seismik yang dihasilkan dari patahnya batuan karena pergerakan lempeng tektonik. Akibatnya, terjadi deformasi pada lempeng tektonik di kerak bumi karena pelepasan energi tersebut (Netrisa dkk., 2018). Pendekatan yang digunakan untuk menganalisis bahaya seismik adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Metode PSHA memiliki keunggulan dalam mengakomodasi ketidakpastian sehingga menghasilkan data yang lebih realistis (Saputra dkk., 2020). Berikut beberapa data dan parameter yang dibutuhkan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data untuk ancaman Gempabumi

Jenis Gempa	Data	Sumber Data
Gempa Tektonik	Data Rekaman Gempa Lokal dan Regional	BMKG, GFZ-Potsdam, IRIS, USGS dan lain sebagainya.
	Data Sesar Lokal	Data lineasi Peta Geologi
	Data Rekaman Gempa	Data 6 stasiun BMKG (LWLI, KLSI, KLI, KASI, BLSI dan RBSI)
	Data Mikrotremor	Data 6 stasiun BMKG (LWLI, KLSI, KLI, KASI, BLSI dan RBSI)
Gempa Vulkanik	Morfologi Gunung Krakatau	Peta Citra Satelit
	Data Rekaman Gempa di Gunung Krakatau	Stasiun BMKG/PVMBG/BKSDA
	Data Mikrotremor di Gunung Krakatau	Stasiun BMKG/PVMBG/BKSDA

Metode PSHA merupakan metode statistik yang digunakan untuk memperkirakan tingkat ancaman gempabumi di sebuah lokasi. Metode ini bergantung pada jumlah guncangan tanah yang disebabkan oleh gempabumi. Selain itu, analisis juga mempertimbangkan magnitudo yang tidak pasti, jarak dari episenter atau pusat gempa, dan waktu gempa (Setiawan, 2017). Nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di setiap lokasi dengan probabilitas tertentu dalam jangka waktu tertentu dihasilkan dari perhitungan PSHA. Misalnya, nilai

distribusi percepatan spektra (SA) untuk periode $T=0,1$ detik dan nilai percepatan spektra untuk periode $T=0,2$ detik. Nilai PGA dan SA biasanya menunjukkan nilai percepatan yang melebihi probabilitas sebesar 2% dalam lima puluh tahun. Nilai-nilai ini mencerminkan percepatan di batuan dasar.

Untuk menghitung nilai PGA dan SA di permukaan pada suatu daerah adalah dengan menggunakan nilai faktor amplifikasi pada daerah tersebut. Faktor amplifikasi berkaitan dengan karakteristik dan ketebalan sedimen di daerah tersebut. Nilai konstan dari amplifikasi tersebut dapat dihitung dengan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) sebagai metode pilihan (Nakamura, 1989) atau dari data rata - rata kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m dengan menggunakan hubungan yang diusulkan Midorikawa dkk. (1994) yang disempurnakan oleh (Joshi & Midorikawa, 2004) dalam Persamaan 1 sebagai berikut,

$$\log(G) = 1.35 - 0.47 \log AVS30 \pm 0.18 \quad (1)$$

dengan G adalah nilai *Ground Amplification Factor* (GAF) yang dapat digunakan untuk menentukan nilai PGA di permukaan yang berpeluang 2% untuk terlampaui dalam periode 50 tahun melalui Persamaan 2 sebagai berikut.

$$PGA_s = GAF \times PGA_{BS} \quad (2)$$

dengan:

PGA_s : Nilai percepatan maksimal di permukaan

PGA_{BS} : Nilai percepatan paling tinggi di batuan dasar

GAF : Faktor amplifikasi tanah (*Ground Amplification Factor*)

Nilai PGA dari hasil analisis PSHA digunakan untuk menentukan tingkat ancaman seismik melalui konversi indeks ke dalam skala intensitas yang disajikan pada Tabel 2. Penentuan nilai faktor amplifikasi dilakukan dengan menggunakan metode HVSr melalui pengukuran mikrotremor di daerah survei. Data yang diperoleh dari analisis mikrotremor adalah faktor amplifikasi tanah, frekuensi dominan, dan periode dominan, yang mana untuk Pesawaran merupakan hasil interpolasi dari 11 lokasi pengamatan mikrotremor, ditambah dengan empat stasiun BMKG (Bandar Lampung, Kota Agung, Liwa dan Kotabumi) dan nilai V_s30 global yang diturunkan dari data USGS (*United States Geological Survey*). Selain digunakan untuk pembuatan peta ancaman, nilai faktor amplifikasi juga dapat disajikan sendiri sebagai peta kerentanan seismik karena nilai faktor amplifikasi suatu daerah menggambarkan seberapa rentan daerah tersebut akan terkena dampak guncangan seismik akibat gempa bumi.:-

Tabel 2. Indeks Ancaman Gempabumi dari PGA dan PSHA

Tingkat Ancaman	PGA (gal)	Skala MMI
Sangat Tinggi	>564	IX-XII
Tinggi	168-564	VII-VIII
Sedang	89-167	VI
Rendah	2.9-88	III-V
Sangat Rendah	< 2.9	I-II

Perhitungan Ancaman Tsunami dengan HLoss (*Height Loss by Submergence*)

Sebaran genangan yang terjadi di wilayah pesisir dimodelkan dengan persamaan yang menggunakan nilai kelerengan lahan (*slope*), kekasaran permukaan, dan tinggi dari gelombang datang (Berryman, 2006). Nilai kekasaran dari permukaan didapatkan sebagai hasil analisis tutupan lahan yang diperoleh dari pengolahan citra satelit. Koefisien kekasaran mempunyai nilai yang berbeda karena setiap jenis tutupan lahan mempunyai tingkat kekasaran yang berbeda – beda. Nilai konstanta kekasaran yang besar, menyebabkan tsunami dapat teredam dengan baik. Sebaliknya, nilai koefisien kekasaran permukaan yang kecil (seperti lahan terbuka) memiliki faktor hambatan kecil terhadap inundasi tsunami yang menuju ke daratan (Pertiwi dkk., 2018). Tingkat koefisien kekasaran ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien kekasaran dari penutup lahan

No.	Kelas	Koefisien
1.	Badan Air	0,007
2.	Hutan	0,070
3.	Lahan Pertanian	0,025
4.	Tambak/Empang	0,010
5.	Lahan Kosong/Terbuka	0,015
6.	Pemukiman/Lahan Terbangun	0,045

Kemiringan lereng berpengaruh pada seberapa jauh genangan tsunami mencapai daratan hal ini menunjukkan semakin curam kemiringan lereng, semakin sedikit area yang akan tergenang oleh tsunami (Setiowati dkk., 2023). Pembuatan *slope* atau kelerengan ini dilakukan menggunakan data DEM. HLoss merupakan metode pilihan yang digunakan dalam perhitungan indeks ancaman tsunami. Dasar dari metode ini adalah hasil perhitungan jangkauan inundasi tsunami. Metode ini dipilih karena relatif sederhana dan tidak membutuhkan parameter yang terlalu kompleks. Hanya saja, kemudahan tersebut mengakibatkan adanya pengasumsian dari dimensi yang lebih tinggi daripada dua dimensi (sumbu-x dan sumbu-y) dan juga adanya proses kalibrasi yang bergantung pada data historis tsunami di lokasi tersebut. Dengan tingkat gelombang yang dimodelkan yang lebih tinggi, lebih banyak wilayah yang akan tergenang tsunami. Ini menunjukkan betapa pentingnya tinggi gelombang tsunami untuk menentukan inondasi tsunami (Setiowati dkk., 2023). Terdapat tiga kelas indeks ancaman tsunami yang ditabulasikan dalam Tabel 4. Tabel ini disadur dari Perka BNPB Nomor 3 tahun 2012 dan dari Buku Panduan Perhitungan Ancaman Tsunami dari JICA (*Japan International Cooperation Agency*).

Tabel 4. Hitungan Indeks ancaman tsunami

Tinggi Genangan	Tingkat Ancaman
Inundasi ≤ 1 meter	Rendah
1 meter < Inundasi ≤ 3 meter	Sedang
Inundasi ≥ 3 meter	Tinggi

Menurut model matematis yang dikembangkan oleh Berryman (2006), perhitungan untuk menentukan jarak inondasi tsunami melibatkan faktor-faktor seperti penurunan ketinggian gelombang tsunami per meter jarak, kekasaran permukaan, tinggi gelombang tsunami di garis pantai, dan kemiringan kontur laut. Perumusan matematis metode Hloss dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$H_{loss} = \left(\frac{167n^2}{Ho^{\frac{1}{3}}} \right) + 5 \sin S \quad (3)$$

dengan:

H_{loss} : Nilai penurunan air saat masuk ke daratan

Ho : tinggi tsunami pada garis pantai (m)

n : koefisien kekasaran permukaan

S : besar nilai lereng permukaan (derajat)

Penentuan tingkat Kerentanan di Kabupaten Pesawaran multi-dimensi

Kerentanan adalah kondisi di masyarakat yang menyebabkan ketidakmampuan dalam menghadapi ancaman dari bencana (Zahro, 2017). Kerentanan dibedakan dari ancaman, yang merupakan potensi terjadinya bencana, dan kapasitas, yang merupakan kemampuan masyarakat untuk menghadapi dan mengatasi bencana. Pengkajian kerentanan di Pesawaran tampak dari empat konstituen, yaitu: 1) sosial, 2) fisik, 3) lingkungan, dan 4) ekonomi. Kelompok rentan mencakup perbandingan jenis kelamin, struktur usia yang rentan, proporsi penduduk miskin, dan jumlah penduduk dengan cacat (BNPB, 2016). Komponen ini membangun kerentanan sosial yang juga memasukkan kepadatan penduduk. Parameter tersebut didapatkan dari Dinas Sosial Kabupaten Pesawaran di tahun 2019. Parameter-parameter di atas memiliki bobot yang berbeda terhadap aspek kerentanan sesuai dengan aturan yang berlaku. Bobot masing-masing parameter ditentukan berdasar pada aturan BNPB yang ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Parameter dari Kerentanan Sosial

Parameter Kerentanan Sosial	Bobot (%)	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Kelompok Rentan				
Rasio Jenis Kelamin (10%)	40	>40%	20%-40%	<20%
Rasio Kelompok Umur Rentan (10%)		<20%	20%-40%	>40%
Rasio Penduduk Miskin (10%)		<5 jiwa/ha	5 – 10 jiwa/ha	>10 jiwa/ha
Rasio Penduduk Cacat (10%)				
Kepadatan Penduduk	60	<5 jiwa/ha	5 – 10 jiwa/ha	>10 jiwa/ha

$$\text{Kerentanan Sosial} = (0,6 \times \frac{\log(\frac{\text{kepadatan penduduk}}{0,01}}{\log(\frac{100}{0,01})}) + (0,1 \times \text{rasio jenis kelamin}) + (0,1 \times \text{rasio kemiskinan}) + (0,1 \times \text{rasio penduduk disabilitas}) + (0,1 \times \text{rasio kelompok umur})$$

Kerentanan ekonomi mencakup kontribusi objek terhadap PDRB dan luas lahan produktif (BNPB, 2016). Luas lahan produktif dihitung berdasarkan data tata guna lahan di tingkat kabupaten atau kecamatan dan dikonversikan ke nilai ekonomi dalam rupiah, sementara PDRB sendiri diperoleh dari laporan sektoral atau data ekonomi kabupaten. Pengkajian komponen kerentanan ekonomi menggunakan parameter sebagai berikut ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Parameter dari Kerentanan Ekonomi

Parameter Kerentanan Ekonomi	Bobot (%)	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Lahan Produktif	60	<50 juta	50 – 200 juta	>200 juta
PDRB	40	<100 juta	100 - 300 juta	>300 juta

$$\text{Kerentanan Ekonomi} = (0,6 * \text{skor Lahan Produktif}) + (0,4 * \text{skor PDRB})$$

Dalam membuat peta kerentanan, ada tiga perhitungan kunci yang dibutuhkan, termasuk dalam parameter kerentanan fisik. Faktor-faktor yang menjadi penanda dalam menghitung kerentanan fisik meliputi ketersediaan fasilitas umum, kepadatan permukiman, dan ketersediaan fasilitas penting lainnya (BNPB, 2016). Pengkajian parameter kerentanan fisik ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Parameter dari Kerentanan secara Fisik

Parameter Kerentanan Fisik	Bobot (%)	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Rumah	40	<400 juta	400 – 800 juta	>800 juta
Fasilitas Kritis	30	<500 juta	500 juta – 1 M	>1 M
Fasilitas Umum	30	<500 juta	500 juta – 1 M	>1 M

$$\text{Kerentanan Fisik} = (0,4 * \text{skor Rumah}) + (0,3 * \text{skor Fasum}) + (0,3 * \text{skor Faskris})$$

Penilaian keempat dan terakhir pada penyusunan peta kerentanan adalah parameter kerentanan dari lingkungan. Hutan alam, hutan lindung, hutan bakau, rawa, dan semak belukar adalah indikator penutupan lahan yang digunakan untuk mengukur kerentanan lingkungan (BNPB, 2016). Indeks kerentanan fisik diperoleh dari rata-rata bobot jenis tutupan lahan. Pengkajian komponen kerentanan lingkungan menggunakan parameter seperti ditunjukkan di Tabel 8.

Tabel 8. Parameter dari Kerentanan Lingkungan

Parameter Kerentanan Lingkungan	Kelas			Skor
	Rendah	Sedang	Tinggi	
Hutan Lindung ^{a,b,c,d,e} ,	<20 Ha	20 – 50 Ha	>50 Ha	Kelas / Nilai Maks. Kelas
Hutan Alam ^{a,b,c,d,e} ,	<25 Ha	25 – 75 Ha	>75 Ha	
Hutan Bakau/Mangrove ^{a,b,c,d,e}	<10 Ha	10 – 30 Ha	>30 Ha	
Semak Belukar ^{a,b,c,d,e}	<10 Ha	10 – 30 Ha	>30 Ha	
Rawa ^e	<5 Ha	5 – 20 Ha	>20 Ha	

- a. Tanah Longsor
- b. Kebakaran Hutan dan Lahan
- c. Banjir

- d. *Gempabumi*
- e. *Tsunami*

Skor kerentanan sosial, fisik, ekonomi, dan lingkungan digabungkan untuk membuat indeks kerentanan untuk setiap jenis ancaman. Skor ini dinilai dengan mengambil berat masing-masing aspek kerentanan (BNPB, 2016). Pembagian bobot parameter masing-masing kerentanan lingkungan berbeda untuk setiap potensi bencana. Tabel 9 di bawah ini menunjukkan bobot parameter untuk jenis bencana gempabumi dan tsunami. Bobot parameter kerentanan bencana gempabumi tidak memiliki nilai kerentanan lingkungan, karena bencana tersebut tidak merusak fungsi lahan maupun lingkungan.

Tabel 9. Pembobotan untuk masing-masing Komponen Kerentanan

No.	Jenis Bencana	Bobot Parameter Kerentanan			
		Sosial	Fisik	Ekonomi	Lingkungan
1.	Gempabumi	40%	30%	30%	-
2.	Tsunami	40%	25%	25%	10%

Survei untuk penentuan tingkat Kapasitas Bencana di Kabupaten Pesawaran

Kemampuan daerah dan masyarakat untuk mengurangi tingkat ancaman dan dampak kerugian bencana disebut kapasitas (BNPB, 2012b). Indeks kapasitas adalah ukuran standar yang digunakan untuk menggambarkan kemampuan daerah dan masyarakat dalam mengurangi risiko bencana. Perhitungan indeks ini didasarkan pada indikator yang tercantum dalam Kerangka Kerja Hyogo untuk Aksi (HFA) (BNPB, 2012b). Untuk mendapatkan Nilai Indeks Kapasitas dalam hal ini menggunakan kuesioner yang disusun berdasarkan 22 indikator pencapaian HFA yang terdiri dari 5 prioritas program pengurangan risiko bencana. Kuesioner tersebut dijawab oleh narasumber yang merupakan Stakeholder se-Kabupaten Pesawaran yang terdiri dari Kepala Bappeda, Kepala Badan Pusat Statistika, Kepala BPBD serta seluruh camat di Kabupaten Pesawaran. Peta kapasitas adalah representasi visual yang menunjukkan tingkat sumber daya, pengetahuan, keterampilan, dan kekuatan yang dimiliki masyarakat dalam suatu wilayah untuk mempertahankan diri, melakukan persiapan, mencegah, dan mengurangi dampak negatif dari bencana (Fahmi dkk., 2017).

Perhitungan tingkat Risiko Bencana berdasarkan Ancaman, Kerentanan dan Kapasitas

Risiko adalah hasil dari potensi kerusakan dan kerugian yang mungkin terjadi akibat interaksi antara ancaman bencana, kerentanan penduduk, dan kapasitas yang tersedia untuk mengurangi dampaknya. Penilaian risiko bencana disusun dengan mempertimbangkan tiga elemen utama: bahaya, kerentanan, dan kapasitas (BNPB, 2016). Salah satu metode yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko adalah menggunakan pendekatan HVC. Pendekatan ini membantu dalam memahami hubungan kompleks antara ancaman, kerentanan, dan kapasitas, serta membangun perspektif terhadap tingkat risiko bencana.

Tingkat analisis terkecil dari pendekatan ini dapat disesuaikan dengan ketersediaan data, kebutuhan tingkat kedalaman, dan kebaikan dari parameter penyusunnya. Hal ini ditujukan untuk menghindari adanya kesalahpahaman akan tingkat kedalaman analisis yang berpeluang untuk menjadi tingkat ketelitian yang semu. Umumnya, pengukuran risiko memiliki hubungan positif dengan tingkat bahaya dan kerentanan, serta hubungan negatif dengan kapasitas. Ketentuan pengkajian risiko bencana yang telah ditetapkan dalam Perka BNPB Nomor 02 Tahun 2012 tercantum pada Persamaan 4.

$$R = (H \times V \times (1 - C))^{\frac{1}{3}} \tag{4}$$

dengan:

R : Indeks Risiko (Risk)

H : Indeks Bahaya, Ancaman (Hazard)

V : Indeks Kerentanan (Vulnerability)

C : Indeks Kapasitas (Adaptive Capacity)

Penilaian risiko berdasarkan komponen HVC menggunakan metode tabulasi silang disajikan pada Tabel 10 (Muta'ali, 2014). Tabel tersebut adalah matriks ancaman dan kerentanan yang selanjutnya disebut dengan tipologi *Hazard-Vulnerability* (HV).

Tabel 10. Matriks Tipologi Ancaman-Kerentanan (HV)

Tipologi HV	Ancaman Tinggi	Ancaman Sedang	Ancaman Rendah
Kerentanan Rendah	Sedang	Rendah	Rendah
Kerentanan Sedang	Tinggi	Sedang	Rendah
Kerentanan Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang

Setiap daerah ancaman yang memiliki informasi kerentanan dan kapasitas maka selanjutnya informasi risiko bencana dapat diperoleh. Hasil kerentanan dan kapasitas didasarkan dengan *element at risk* sehingga tidak semua lokasi memiliki informasi kerentanan dan kapasitas. *Element at risk* menjadi penentu informasi kerentanan dan kapasitas suatu lokasi. Berikutnya, setelah mendapatkan tipologi *Hazard-Vulnerability* (HV), hasilnya akan disilangkan dengan informasi kapasitas untuk menghasilkan tipologi risiko yang direpresentasikan dalam Tabel 11. Indikator-indikator dari Tabel 10 dan 11 juga ditandai oleh warna, dengan hijau untuk tingkat yang rendah, warna kuning untuk kelas dengan indikasi sedang dan merah untuk indikasi tinggi.

Tabel 11. Matriks Tipologi dari Risiko

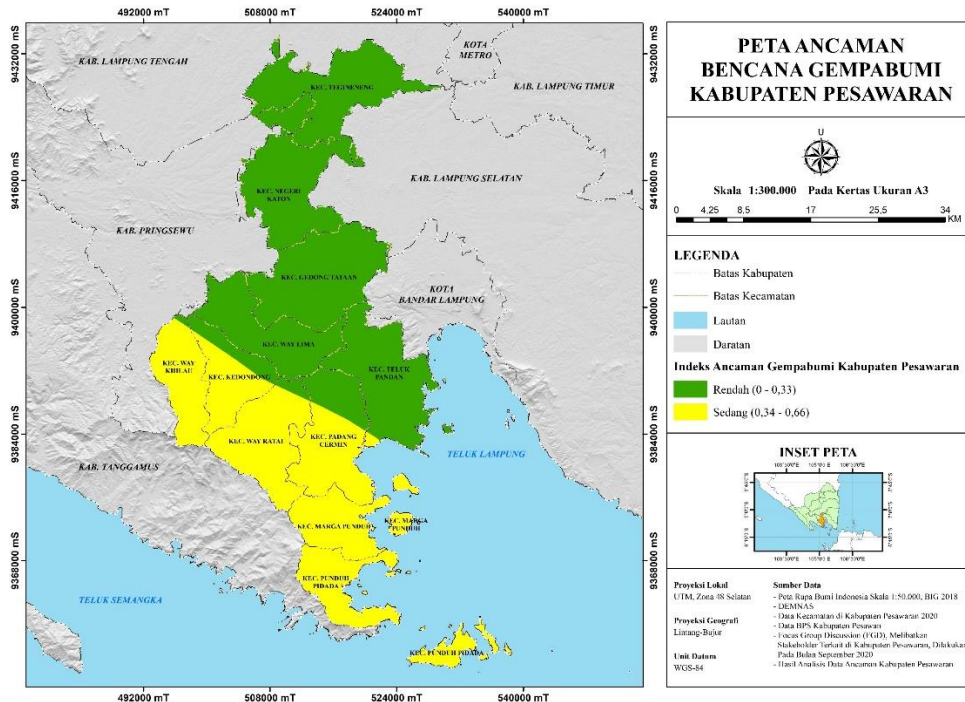
Tipologi Risiko	HV Tinggi	HV Sedang	HV Rendah
Kapasitas Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah
Kapasitas Sedang	Tinggi	Sedang	Rendah
Kapasitas Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang

HASIL DAN PEMBAHASAN

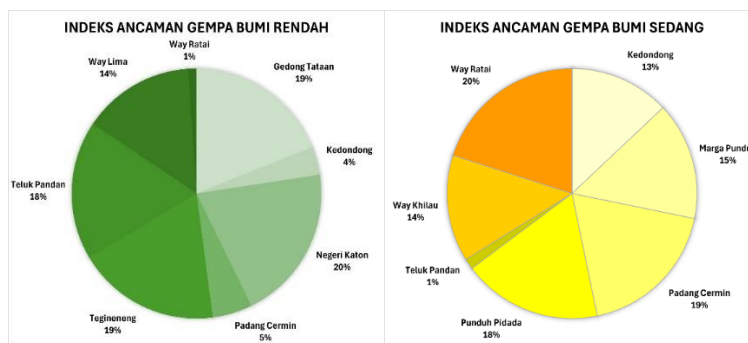
Tingkat Ancaman Gempabumi dan Tsunami

Kelas parameter ancaman untuk gempabumi dibagi berdasarkan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA). Peta Ancaman Gempabumi di Kabupaten Pesawaran memiliki nilai PGA pada rentang 0,18 hingga 0,28 yang sesuai dengan aturan dari BNPB dengan No. 2 di Tahun 2012 berkenaan dengan Pengkajian Risiko Bencana masuk pada rentang rendah ke sedang, ditandai dengan warna hijau dan kuning. Hasil peta ancaman bencana gempabumi ditunjukkan pada Gambar 4.

Peta yang ditunjukkan oleh Gambar 4 menunjukkan ancaman gempabumi yang ada di Kabupaten Pesawaran secara spasial yang secara garis besar tampak terpisah menjadi dua; bagian utara yang memiliki kelas ancaman rendah dan bagian selatan dengan kelas ancaman sedang. Daerah di Kabupaten Pesawaran bagian selatan yaitu Kecamatan Marga Punduh, Way Khilau, Kedondong, Punduh Pidada, dan Padang Cermin. Daerah Kabupaten Pesawaran bagian utara diantaranya adalah Kecamatan Way Lima, Tegineneng, Negeri Katon, dan Gedong Tataan. Pemisahan ini terjadi dikarenakan estimasi PSHA dan PGA menggunakan parameter jarak dari sesar terdekat dan jenis batuan di lokasi tersebut. Hasil juga menunjukkan bahwa indeks ancaman tinggi bencana gempabumi tidak muncul di Kabupaten Pesawaran.



Gambar 4. Peta Ancaman Gempabumi di Kabupaten Pesawaran



Gambar 5. Grafik Persentase Berdasarkan Luasan Indeks Ancaman Gempabumi Rendah dan Sedang di Kabupaten Pesawaran

Berdasarkan luasnya indeks ancaman gempabumi yang tersebar pada seluruh kecamatan di Kabupaten Pesawaran, maka dapat diurutkan kecamatan berdasarkan besarnya luas dengan indeks ancaman gempabumi kelas rendah maupun sedang, tergambar pada Gambar 5. Pada indeks ancaman kelas rendah dengan luas terbesar yaitu, Negeri Katon, Gedong Tataan, Teluk Pandan, Way Lima, Padang Cermin, Kedondong, dan Way Ratai. Jika berdasarkan indeks ancaman kelas sedang dengan luas terbesar yaitu, Way Ratai, Padang Cermin, Punduh Pidada, Marga Punduh, Way Khilau, Kedondong, dan Teluk Pandan. Dalam rangka membandingkan luas dari kecamatan dengan kelas indeks sedang dan rendah, luas indeks ancaman dari dua kecamatan; Negeri Katon yang memiliki kelas indeks mayoritas rendah dan Way Ratai dengan mayoritas indeks ancaman sedang dan berlokasi dekat dengan sesar, ditampilkan pada Tabel 12. Indeks ancaman tersebut dihitung luasnya berdasarkan luas desa atau kelurahan.

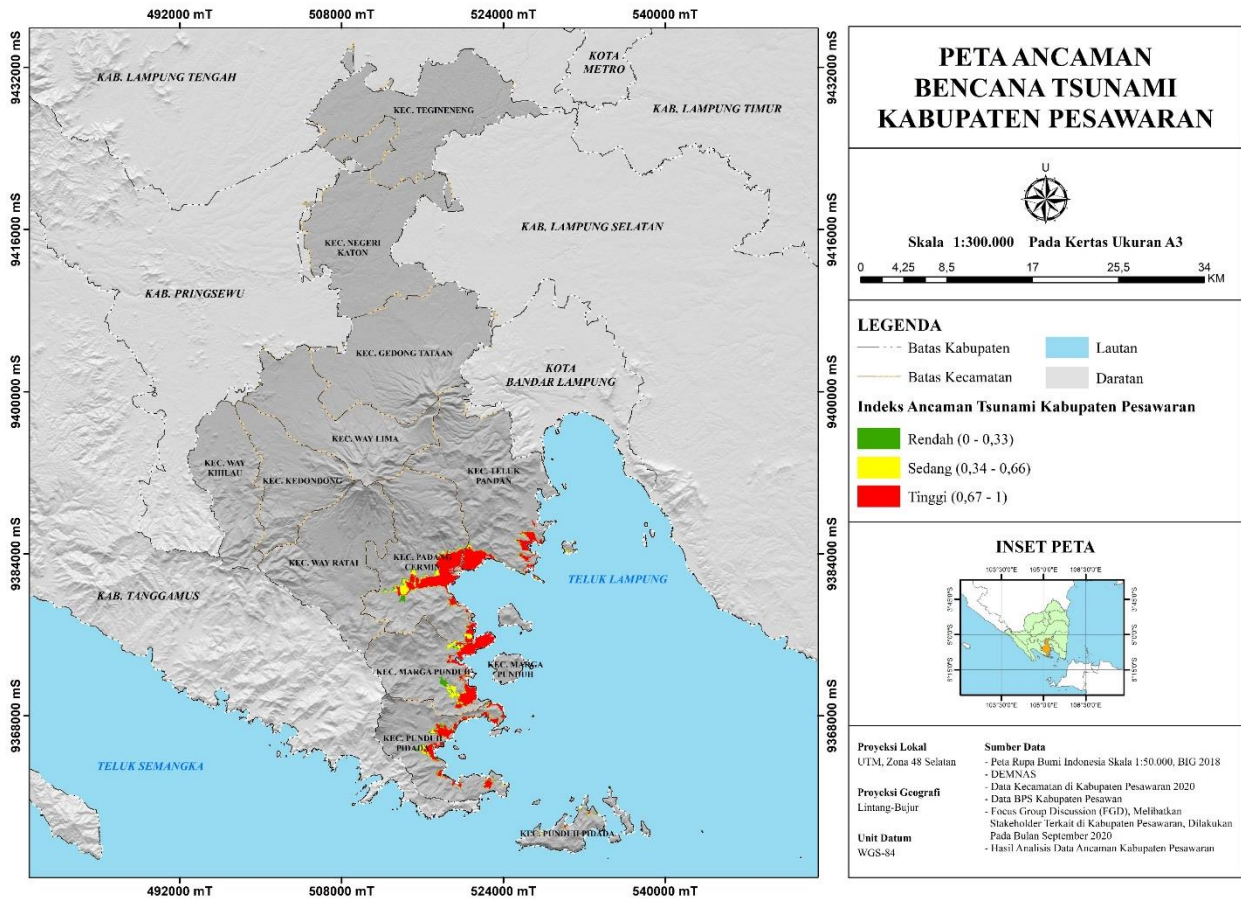
Tabel 12. Luas Indeks Ancaman Gempabumi masing-masing kelas indeks terluas di Kabupaten Pesawaran

Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Ancaman Gempabumi		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
Negeri Katon	Bangun Sari	526,10	0	0
	Halangan Ratu	1.666,12	0	0

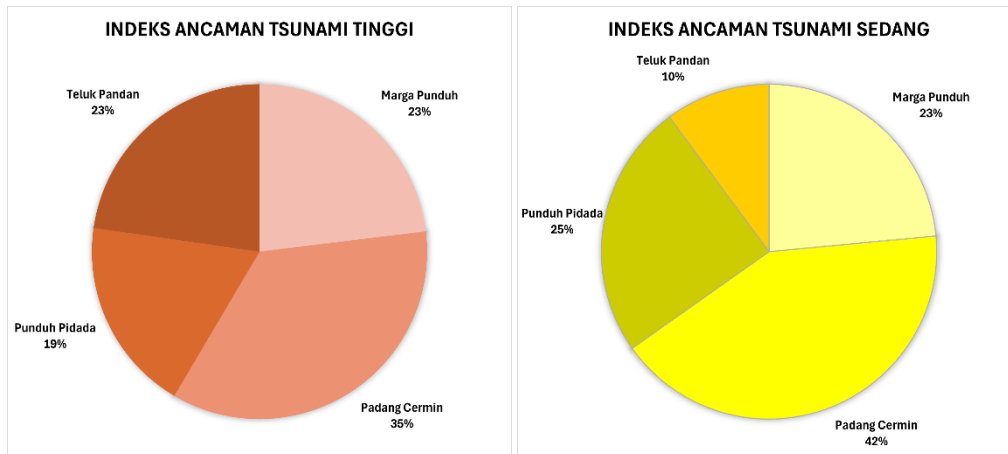
Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Ancaman Gempabumi		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
Way Ratai	Kagungan Ratu	1.118,92	0	0
	Kali Rejo	579,14	0	0
	Karang Rejo	264,53	0	0
	Lumbirejo	1.321,72	0	0
	Negara Saka	288,93	0	0
	Negeri Katon	1.210,84	0	0
	Negeri Ulangan Jaya	495,27	0	0
	Pejambon	441,81	0	0
	Ponco Kresno	1.035,73	0	0
	Pujo Rahayu	300,42	0	0
	Purworejo	299,71	0	0
	Rowo Rejo	865,27	0	0
	Sidomulyo	945,33	0	0
	Sinar Bandung	472,11	0	0
	Tanjung Rejo	1.311,05	0	0
	Tresno Maju	1.310,96	0	0
	Tri Rahayu	759,45	0	0
	Bunut	0	624,02	0
	Bunut Seberang	0	2.006,65	0
Ceringin Asri	0	1.122,79	0	
Desa Persiapan Kali Rejo	0	537,39	0	
Gunung Rejo	636,38	1.211,45	0	
Mulyo Sari	68,83	849,81	0	
Pesawaran Indah	127,83	922,64	0	
Poncorejo	0	434,27	0	
Sumber Jaya	0	1.935,97	0	
Wates Way Ratai	0	517,50	0	

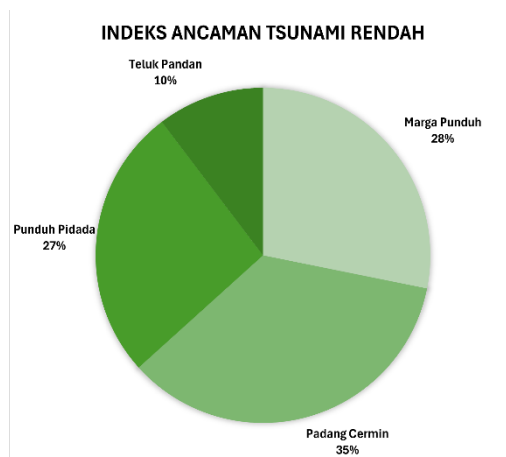
Terlihat pada Tabel 12, sebaran indeks ancaman rendah pada Kecamatan Negeri Katon tersebar di seluruh desa/kelurahan yang jumlahnya cukup banyak jumlahnya yaitu terdiri dari 19 desa/kelurahan. Terdapat Halangan Ratu dengan wilayah terluas, kemudian Karang Rejo dengan wilayah terkecil. Namun, jika mengikuti luasan ancaman gempabumi berdasarkan kelurahan di Kabupaten Pesawaran, menunjukkan indeks ancaman rendah untuk gempabumi dengan luasan terbesar berada di Desa Tanjung Agung, Way Lima. Hal ini mengingat luasnya batas administrasi desa yang merujuk pada luasan indeks ancaman gempabumi dengan kelas sedang, dimana Way Lima hanya terdiri dari 15 kelurahan. Sedangkan untuk indeks gempabumi dengan kelas sedang pada kecamatan Way Ratai, terluas di kelurahan Bunut Seberang dengan luas mencapai 2.006,65 ha. Namun jika dibandingkan dengan keseluruhan kelurahan pada Kabupaten Pesawaran terdapat kelurahan Bayas Jaya yang berada pada Kecamatan Way Khilau dengan wilayah terluas untuk indeks ancaman gempabumi dengan kelas sedang. Penelitian sejenis di lokasi lain seperti Sumbawa (Sunardi dkk., 2012), Palembang (Triyoso dkk., 2020), dan Cilacap (Ridwan dkk., 2023) menunjukkan pola yang berbeda-beda sesuai dengan masukan di lokasi yang digunakan dalam penelitian tersebut, memperlihatkan kapabilitas dan adaptabilitas dari metode PSHA sesuai dengan lokasi yang digunakan.

Hasil dari estimasi tingkat ancaman tsunami berdasarkan persamaan Hloss yang mensimulasikan inundasi dari gelombang tsunami sebesar 10 meter ditampilkan secara spasial pada Gambar 6. Pemberian nilai dari tingkat ancaman disesuaikan dengan seberapa tinggi genangan, yang mana terjadi pada 4 kecamatan yang berbatasan langsung dengan Selat Sunda di Teluk Lampung; 1) Marga Punduh, 2) Padang Cermin, 3) Punduh Pidada, 4) Teluk Pandan.



Gambar 6. Peta Ancaman Tsunami di Kabupaten Pesawaran





Gambar 7. Grafik Persentase Luasan Sebaran Kecamatan Berdasarkan Kelas Indeks Ancaman Tsunami di Kabupaten Pesawaran

Berdasarkan sebaran luasan pada kecamatan yang memiliki indeks ancaman tsunami tinggi terluas pada Gambar 7 adalah Padang Cermin, Marga Punduh, Teluk Pandan dan Punduh Pidada. Sedangkan untuk indeks ancaman tsunami dengan kelas sedang, terluas berada pada kecamatan Padang Cermin, Punduh Pidada, Marga Punduh, Teluk Pandan. Terakhir, untuk indeks ancaman tsunami dengan kelas rendah, jika diurutkan dari luasnya yaitu, Padang Cermin, Marga Punduh, Punduh Pidada dan Teluk Pandan. Sehingga dari keempat kecamatan yang memiliki indeks ancaman tsunami, terdapat kesimpulan bahwa kecamatan Padang Cermin menjadi kecamatan terluas yang memiliki indeks ancaman tsunami baik dengan kelas tinggi, sedang maupun rendah. Sedangkan Teluk Pandan merupakan wilayah terkecil yang memiliki indeks ancaman tsunami baik untuk kelas tinggi, sedang maupun rendah. Luasan genangan secara detail di keempat kecamatan tersebut tersedia di Tabel 13.

Tabel 13. Luas Indeks Ancaman Tsunami di 4 kecamatan

Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Ancaman Tsunami		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
Marga Punduh	Kampung Baru	10,17	49,13	180,09
	Kekatang	16,37	69,42	95,19
	Kunyaian	3,71	7,40	0
	Maja	0	0	0
	Pekon Ampai	24,86	11,54	37,99
	Penyandingan	0	0	0
	Pulau Pahawang	0	0	47,85
	Sukajaya Punduh	17,16	50,20	332,94
	Tajur	5,40	4,74	68,54
	Umbul Limus	16,96	0	0
Padang Cermin	Banjaran	32,32	12,76	41,08
	Desa Persiapan Dantar	13,40	39,72	350,29
	Durian	5,54	15	124,63
	Gayau	6,09	50,39	57,97
	Hanau Berak	12,12	73,94	24,06
	Khepong Jaya	0,92	28,80	46,18
	Padang Cermin	15,81	53,66	71,01
	Paya	0,77	0,47	0
	Sanggi	12,53	53,12	453,36
	Tambangan	6,87	6,37	2,41
Punduh Pidada	Trimulyo	2,23	3,34	0
	Way Urang	9,47	3,83	0
	Banding Agung	5,40	9,26	4,31
	Bangun Rejo	7,29	13,71	1,40
	Batu Raja	0,23	0,03	0
	Bawang	15,22	42,29	115,25
	Kota Jawa	9,82	9,63	73,09

Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Ancaman Tsunami		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
	Pagar Jaya	9,17	25,57	88,18
	Pulau Legundi	12,16	25,36	24,76
	Rusaba	3,52	10,57	75,49
	Suka Maju	6,75	11,07	39,42
	Sukajaya Pidada	6,07	12,32	8,51
	Sukarame	12,85	42,25	190,19
	Batu Menyan	11,32	28,14	477,59
	Cilimus	0	0	0
	Gebang	18,67	44,15	204,17
	Hanura	0	0	0
Teluk Pandan	Hurun	0	0	0
	Munca	0	0	0
	Sidodadi	4,72	10,57	69,92
	Sukajaya Lempasing	0	0	0
	Talang Mulya	0	0	0
	Tanjung Agung	0	0	0

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari keempat kecamatan yang memiliki ancaman tsunami, tidak semua kelurahan terancam terkena bencana tsunami, seperti Kelurahan Cilimus dan Hanura di Teluk Pandan. Selain itu, ditemukan bahwa indeks ancaman tinggi bencana tsunami dengan luasan tertinggi adalah di Kelurahan Batu Menyan, Kecamatan Teluk Pandan dengan luas sebesar 477,59 ha. Indeks ancaman sedang bencana tsunami dengan luasan tertinggi adalah Kelurahan Hanau Berak, Kecamatan Padang Cermin dengan luas sebesar 73,94 ha. Indeks ancaman rendah bencana tsunami dengan luasan tertinggi adalah Kelurahan Banjaran, Kecamatan Padang Cermin dengan luas sebesar 32,32 ha. Di antara 4 kecamatan, Padang Cermin memiliki total luasan terbesar dengan kelas ancaman tsunami tinggi dengan 1.170,99 ha yang diikuti oleh Kecamatan Marga Punduh dan Teluk Pandan dengan selisih yang tidak besar, 762,6 dan 751,6 ha untuk masing-masing. Penelitian senada di kota Palu (Pribadi dkk., 2023) menunjukkan perbedaan tingkat yang cukup signifikan dibandingkan dengan hasil di Pesawaran, menunjukkan keterikatan metode Hloss dengan rekam jejak tsunami di lokasi tersebut. Selain itu, penelitian di Lombok (Felix dkk., 2022) dan Cilacap (Laksono dkk., 2022) menunjukkan bahwa pemodelan tsunami bergantung pada ketersediaan data yang baik, khususnya pada keberadaan rekam jejak yang komprehensif.

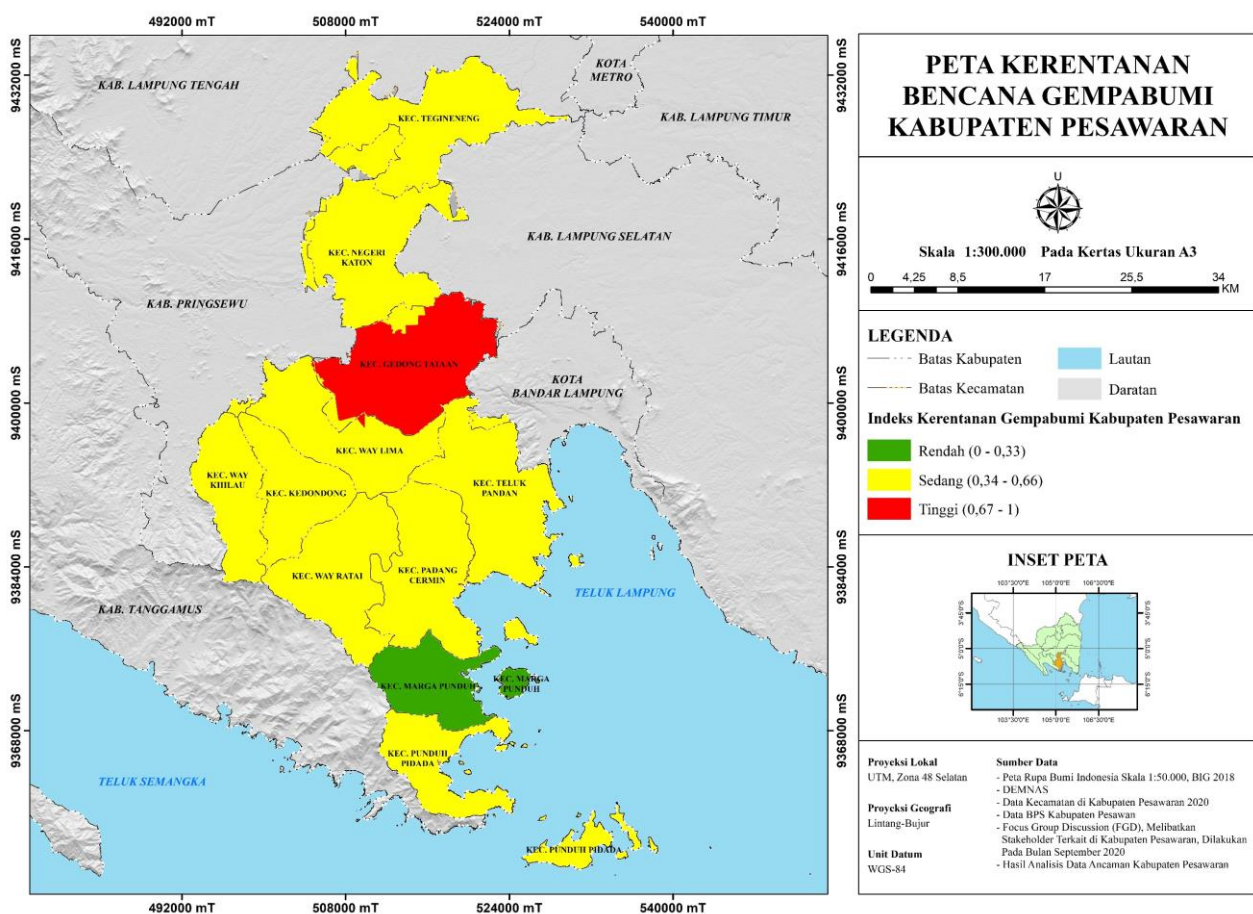
Tingkat Kerentanan Gempabumi dan Tsunami di Kabupaten Pesawaran

Proses perhitungan tingkat kerentanan di Kabupaten Pesawaran dilakukan dalam tingkat kecamatan, bukan kelurahan seperti pada ancaman, disesuaikan dengan tingkat kedalaman data yang didapatkan. Berdasarkan analisis kerentanan yang telah dilakukan pada masing-masing aspek yaitu sosial, ekonomi, fisik dan lingkungan serta melalui proses skoring dalam menentukan kerentanan Kabupaten Pesawaran terhadap bencana gempabumi, ditemukan bahwa mayoritas kecamatan memiliki kelas sedang. Kecamatan dengan kelas tinggi dan rendah hanya ada satu untuk masing-masing kelas, yaitu Gedong Tataan yang memiliki kerentanan tinggi dan Marga Punduh dengan tingkat kerentanan rendah. Hal ini menunjukkan bahwa jika terjadi bencana gempabumi, Kecamatan Gedong Tataan akan menimbulkan korban terdampak yang tinggi, kerusakan fisik serta kerugian ekonomi yang tinggi. Sebaliknya, Kecamatan Marga Punduh akan menimbulkan dampak yang rendah pada korban terdampak, kerusakan fasilitas serta kerugian ekonomi yang rendah pada bencana gempabumi. Sesuai Peraturan Kepala BNPB, gempabumi menggunakan tiga komponen indeks kerentanan yaitu indeks kerentanan sosial, fisik dan ekonomi. Tabel 14 dan Gambar 8 menunjukkan secara luasan dan visual tingkat Kerentanan Gempabumi di Kabupaten Pesawaran.

Tabel 14. Luas Indeks Kerentanan Gempabumi di Pesawaran

No.	Kecamatan	IKF	IKE	IKS	Indeks Kerentanan	Kelas
1	Punduh Pidada	0,40	0,56	0,44	0,46	Sedang

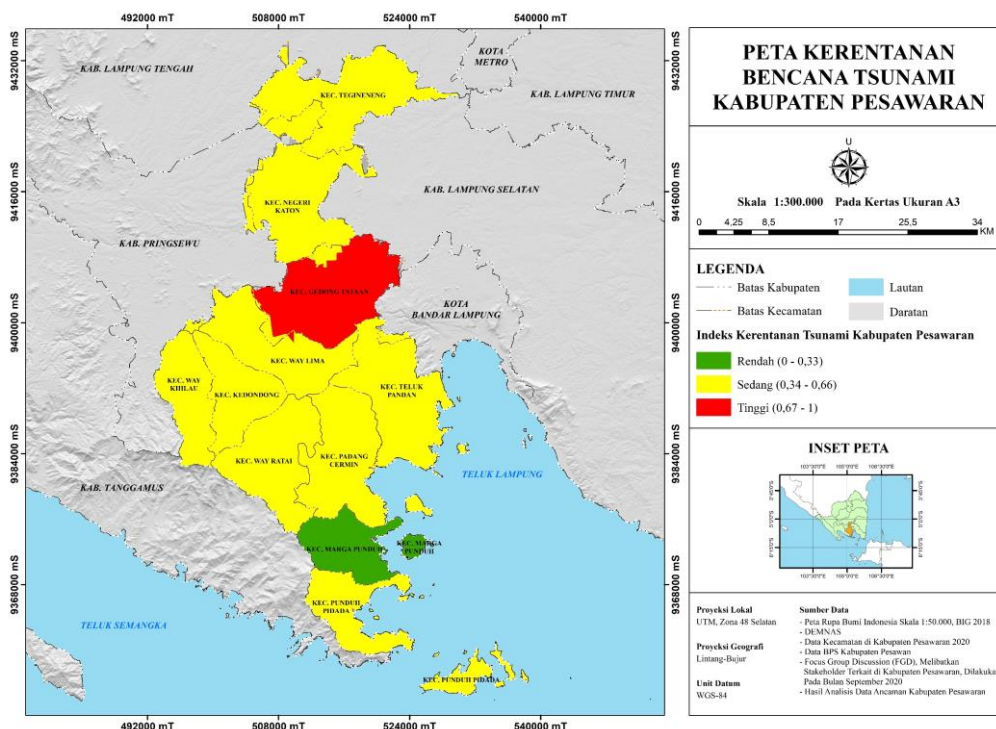
No.	Kecamatan	IKF	IKE	IKS	Indeks Kerentanan	Kelas
2	Marga Punduh	0,07	0,44	0,29	0,27	Rendah
3	Padang Cermin	0,16	0,67	0,36	0,39	Sedang
4	Way Ratai	0,11	0,69	0,4	0,40	Sedang
5	Teluk Pandan	0,14	0,31	0,55	0,36	Sedang
6	Kedondong	0,24	0,58	0,58	0,48	Sedang
7	Way Khilau	0,12	0,62	0,52	0,43	Sedang
8	Way Lima	0,14	0,53	0,46	0,39	Sedang
9	Gedong Tataan	0,70	0,48	0,9	0,71	Tinggi
10	Negeri Katon	0,35	0,43	0,5	0,43	Sedang
11	Tegineneng	0,76	0,55	0,49	0,59	Sedang



Gambar 8. Peta Kerentanan Gempabumi di Kabupaten Pesawaran

Hasil dari perhitungan tingkat kerentanan untuk bencana tsunami menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda walaupun menggunakan komponen keempat yaitu aspek lingkungan, terdaftar dan tervisualisasi pada Tabel 15 dan Gambar 9. Mayoritas dari kecamatan di Pesawaran memiliki kelas kerentanan sedang, dengan pengecualian di Marga Punduh yang memiliki kelas kerentanan rendah terhadap tsunami dan sebaliknya, Kecamatan Gedong Tataan dengan kelas kerentanan yang tinggi. Nilai kerentanan dalam kelas tinggi ini memiliki artian bahwa setiap skor pembangun nilai indeks kerentanan di lokasi tersebut besar. Kecamatan Gedong Tataan dinilai memiliki indeks kerentanan tinggi dikarenakan skor yang tinggi pada masing-masing parameter seperti indeks kerentanan sosial dan fisik, meskipun kecamatan tersebut tidak termasuk ke dalam

kecamatan yang memiliki ancaman tsunami. Indeks kerentanan sosial dengan kelas tinggi memiliki artian bahwa daerah tersebut penduduknya padat dan rasio penduduk rentan serta miskinnya tinggi. Selain itu, indeks kerentanan fisik yang tinggi mengartikan bahwa pada Kecamatan Gedong Tataan memiliki jumlah fasilitas kritis dan harga rumah hunian yang lebih tinggi daripada kecamatan lain. Sehingga, ketika sebuah bencana terjadi, efek yang ditimbulkan lebih besar di Gedong Tataan daripada kecamatan lain karena lebih rentan. Perlu diperhatikan bahwa nilai kerentanan tinggi bukan berarti bahwa daerah tersebut rawan terkena bencana yang terhitung. Tetapi, kerentanan mewakili kuantifikasi kerugian-kerugian yang terjadi apabila sebuah bencana terjadi di daerah yang diperhatikan. Selain itu, 3 kecamatan lain selain Marga Punduh yaitu Kecamatan Padang Cermin, Punduh Pidada dan Teluk Pandan berada pada indeks kerentanan tsunami dengan kelas sedang. Hasil sejenis ditemukan pada penelitian di bagian utara Sumatera (Jena, Pradhan, & Beydoun, 2020) dan pesisir barat di Provinsi Banten (Muzani dkk., 2024).



Gambar 9. Peta Kerentanan Tsunami di Kabupaten Pesawaran

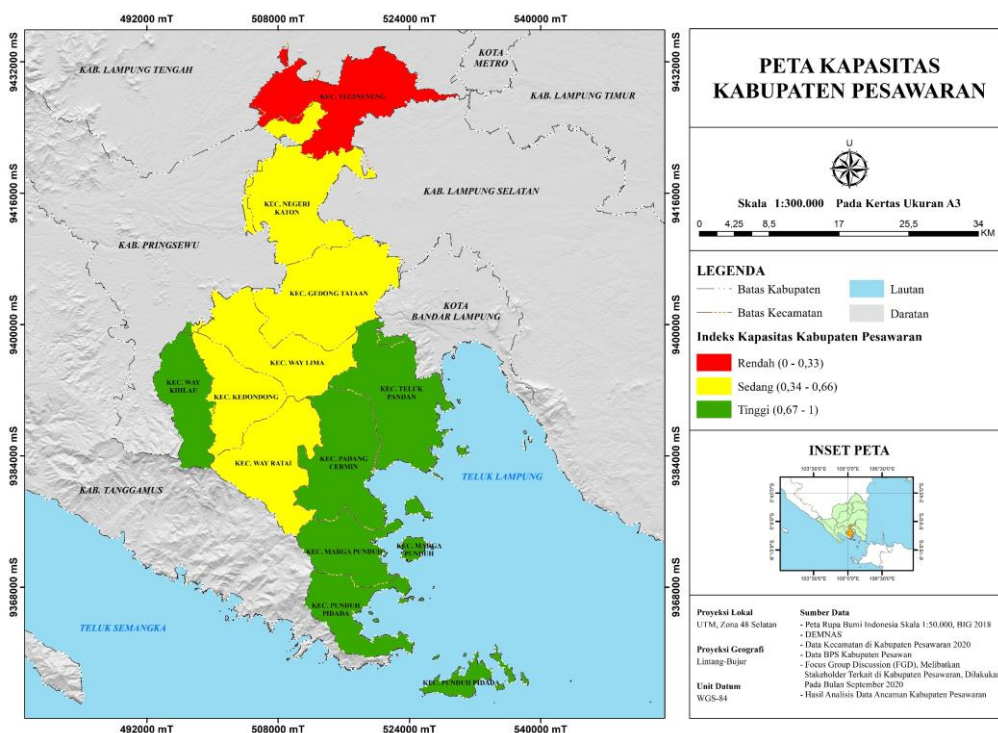
Tabel 15. Luas Indeks Kerentanan Tsunami di Pesawaran

No	Kecamatan	IKS	IKE	IKF	IKL	Indeks Kerentanan	Kelas
1	Punduh Pidada	0,44	0,56	0,40	0,24	0,44	Sedang
2	Padang Cermin	0,36	0,67	0,16	0,66	0,42	Sedang
3	Marga Punduh	0,29	0,44	0,07	0,37	0,28	Rendah
4	Teluk Pandan	0,55	0,31	0,14	0,41	0,37	Sedang
5	Way Ratai	0,4	0,69	0,11	0,21	0,38	Sedang
6	Kedondong	0,58	0,58	0,24	0,10	0,45	Sedang
7	Way Khilau	0,52	0,62	0,12	0,18	0,41	Sedang
8	Way Lima	0,46	0,53	0,14	0,22	0,37	Sedang
9	Gedong Tataan	0,9	0,48	0,70	0,31	0,69	Tinggi
10	Negeri Katon	0,5	0,43	0,35	0,00	0,40	Sedang
11	Tegineneng	0,49	0,55	0,76	0,00	0,52	Sedang

Tingkat Kapasitas di Kabupaten Pesawaran

Kapasitas merupakan penggambaran kesiapan sebuah lokasi dalam menghadapi bencana, apapun itu jenisnya. Kapasitas dalam menghadapi bencana di suatu wilayah ditentukan oleh berbagai faktor, seperti kebijakan dan lembaga penanggulangan bencana, sistem peringatan dini dan analisis risiko bencana, pendidikan mengenai bencana, upaya mengurangi faktor risiko mendasar, dan upaya membangun kesiapsiagaan di semua tingkat (Cvetković dkk., 2021). Nilai indeks kapasitas didapatkan menggunakan kuesioner berdasarkan 22 indikator pencapaian Kerangka Aksi Hyogo (KAH) yang terdiri dari 5 Prioritas program pengurangan risiko bencana. Kuesioner terdiri dari 10 bagian pertanyaan berdasarkan indikator pencapaian KAH. Kuesioner Indeks Kapasitas diisi oleh *stakeholder* daerah Kabupaten Pesawaran yang terdiri dari Kepala Bappeda, Kepala Badan Pusat Statistika, Kepala BPBD, seluruh Kecamatan di Kabupaten Pesawaran.

Pada Tabel 16, Gambar 10 dan Gambar 11 di bawah ini menunjukkan indeks kapasitas Kabupaten Pesawaran secara tabulasi dan spasial. Dapat dilihat dari kedua penggambaran tersebut bahwa mayoritas kecamatan di Pesawaran memiliki tingkat kapasitas rendah dan sedang, dengan satu kecamatan sebagai pengecualian yaitu Kecamatan Tegineneng. Hal ini menunjukkan bahwa khususnya di Tegineneng diperlukan usaha-usaha yang lebih baik dalam seluruh komponen prioritas untuk meningkatkan tingkat kapasitas dalam menghadapi bencana.



Gambar 10. Peta Kapasitas di Kabupaten Pesawaran



Gambar 11. Grafik Persentase Kapasitas di 11 Kecamatan di Kabupaten Pesawaran

Tabel 16. Luas Indeks Kapasitas di Pesawaran

No	Kecamatan	Indeks Kapasitas	Kelas
1	Punduh Pidada	0,70	Tinggi
2	Marga Punduh	0,80	Tinggi
3	Padang Cermin	0,85	Tinggi
4	Teluk Pandan	0,70	Tinggi
5	Way Ratai	0,60	Sedang
6	Kedondong	0,50	Sedang
7	Way Khilau	0,70	Tinggi
8	Way Lima	0,60	Sedang
9	Gedong Tataan	0,60	Sedang
10	Negeri Katon	0,65	Sedang
11	Tegineneng	0,10	Rendah

Sejalan dengan penelitian (Cvetković dkk., 2021) menunjukkan bahwa kerja sama dan koordinasi di antara berbagai tingkat pemerintahan dinilai baik. Namun kerja sama dengan kota tetangga selama kejadian bencana dinilai kurang baik (kurang dari separuh unit pemerintahan lokal yang berpartisipasi dalam survei menyatakan bahwa mereka bekerja sama dengan kota lain), sementara kerja sama antarkota yang bersifat pencegahan hampir bersifat simbolis. Hal ini sangat berpengaruh dalam peningkatan kapasitas pemerintah daerah dan administrasi lokal publik berdasarkan prinsip-prinsip pencegahan dan tindakan proaktif, koordinasi, kerja sama, kemitraan, dan tanggung jawab.

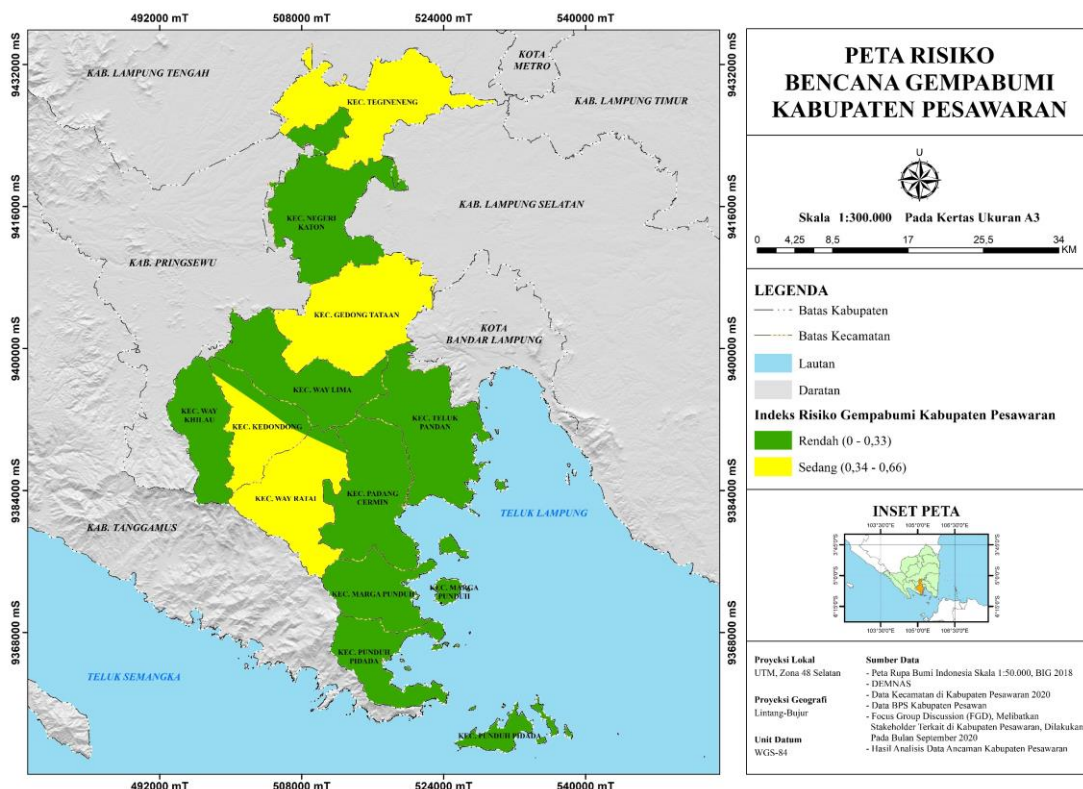
Estimasi Risiko Gempabumi dan Tsunami di Kabupaten Pesawaran

Setelah didapatkan indeks ancaman (H), kerentanan (V), dan kapasitas (C), dilakukan pengkajian indeks risiko menggunakan pendekatan HVC. Jika ancaman suatu daerah memiliki indeks yang tinggi, namun daerah tersebut memiliki kerentanan rendah dan kapasitas yang tinggi, risiko yang timbul cenderung rendah. Namun, jika kerentanan tinggi dan kapasitas rendah, serta ancaman yang tinggi, risiko yang timbul akan tinggi. Gambar 12 di bawah ini menunjukkan hasil pengolahan spasial dari indeks risiko gempabumi di Kabupaten Pesawaran. Berdasarkan Gambar tersebut, daerah zona risiko tinggi untuk gempabumi tidak muncul di daerah Kabupaten Pesawaran. Kecamatan Tegineneng, Kedondong, Gedong Tataan, dan sebagian Way Ratai masuk pada kategori sedang. Sebagian sisanya Kecamatan Way Ratai dan Kecamatan Kedondong masuk pada indeks risiko rendah. Kecamatan selain yang disebutkan, seperti Teluk Pandan, Way Khilau, Way Lima, Marga Punduh, Negeri Katon, Padang Cermin, dan Punduh Pidada masuk pada zona indeks risiko rendah. Tabel 17 di bawah ini menunjukkan perhitungan luas indeks ancaman gempabumi berdasarkan kelurahan di Kecamatan Gedong Tataan dan Way Lima sebagai perbandingan luas pada masing-masing kelas indeks sedang dan rendah.

Tabel 17. Luas dari Indeks Risiko Gempabumi untuk 2 kecamatan di Pesawaran

Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Risiko Gempabumi		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
Gedong Tataan	Bagelen	0.00	385.47	0.00
	Bernung	0.00	532.38	0.00
	Bogorejo	0.00	2695.02	0.00
	Cipadang	1.81	855.15	0.00
	Gedung Tataan	0.00	361.60	0.00
	Karang Anyar	15.11	165.47	0.00
	Kebagusan	0.00	1030.68	0.00
	Kurungan Nyawa	0.00	494.58	0.00
	Kutoarjo	0.00	172.27	0.00
	Negeri Sakti	0.00	972.32	0.00

Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Risiko Gempabumi		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
Way Lima	Padang Ratu	79.79	388.53	0.00
	Pampangan	0.00	354.63	0.00
	Suka Banjar	0.00	498.47	0.00
	Sukadadi	0.00	524.69	0.00
	Sukaraja	0.00	262.12	0.00
	Sungai Langka	0.00	1470.12	0.00
	Taman Sari	0.00	992.34	0.00
	Way Layap	0.00	378.95	0.00
	Wiyono	0.00	1675.56	0.00
	Banjar Negeri	294.12	0.00	0.00
Baturaja	222.41	0.00	0.00	
Cimanuk	319.26	0.00	0.00	
Gedong Dalam	188.33	0.00	0.00	
Kota Dalam	298.70	0.00	0.00	
Margodadi	1784.74	0.00	0.00	
Padang Manis	111.66	49.69	0.00	
Paguyuban	223.36	0.00	0.00	
Pekondoh	88.88	0.00	0.00	
Pekondoh Gedung	138.17	13.28	0.00	
Sidodadi	292.54	3.39	0.00	
Sindang Garut	331.99	0.00	0.00	
Sukamandi	447.38	0.00	0.00	
Tanjung Agung	5062.46	406.91	0.00	
Way Harong	613.77	0.00	0.00	



Gambar 12. Peta Risiko Gempabumi di Kabupaten Pesawaran

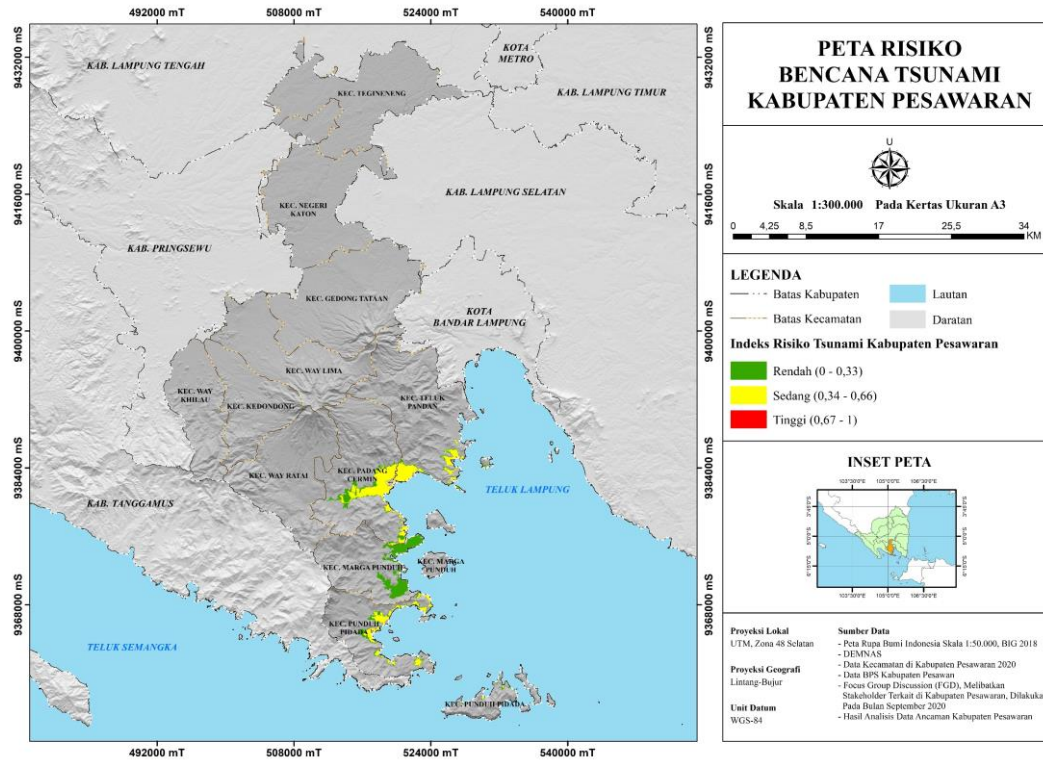
Perbandingan luas indeks risiko terkait bencana gempabumi di Kecamatan Gedong Tataan dan Way Lima, Kabupaten Pesawaran, menunjukkan bahwa luas terbesar untuk indeks risiko sedang terjadi di Desa Bogorejo, Kecamatan Gedong Tataan, dengan luas mencapai 2.695,02 ha. Sementara itu, untuk indeks risiko rendah terkait bencana gempabumi, luas terbesar tercatat di Desa Tanjung Agung, Kecamatan Way Lima, dengan luas mencapai 5.062,46 ha.

Selanjutnya untuk indeks risiko gempabumi di Kabupaten Pesawaran, dilakukan kembali perhitungan HVC. Gambar 13 di bawah ini menunjukkan hasil pengolahan spasial dari indeks risiko tsunami di Kabupaten Pesawaran, dengan catatan bahwa lokasi-lokasi di Kabupaten Pesawaran yang berwarna abu-abu tua adalah lokasi yang tidak tenggelam dari hitungan inundasi menggunakan metode Hloss. Berdasarkan Gambar 1, risiko tsunami di Kabupaten Pesawaran terletak di Padang Cermin, Teluk Pandan, Marga Punduh, dan Punduh Pidada. Daerah Kecamatan Padang Cermin yang memiliki risiko tsunami adalah Desa Persiapan Dantar, Kelurahan Sanggi, Kelurahan Durian, Kelurahan Gayau, dan Kelurahan Kepong Jaya. Daerah Kecamatan Teluk Pandan yang memiliki risiko tsunami adalah Kelurahan Batu Menyan, Kelurahan Gebang, dan Kelurahan Sidodadi. Daerah Kecamatan Marga Punduh yang memiliki potensi ancaman tsunami adalah Kelurahan Pulau Pahawang, Kelurahan Punduh, Kelurahan Tajur, Kelurahan Pekon Ampai, dan Kelurahan Kekatang, dan Kelurahan Kampung Baru. Daerah Kecamatan Punduh Pidada yang memiliki risiko tsunami adalah Kelurahan Sukarame, Kelurahan Kota Jawa, Kelurahan Sukaba, Kelurahan Bawang, Kelurahan Sukamaju, dan Kelurahan Pagar Jaya. Risiko tsunami di Kabupaten Pesawaran terbagi menjadi dua jenis yaitu pada kelas sedang dan kelas rendah Tabel 18.

Tabel 18. Luas dari Indeks Risiko Tsunami di Pesawaran

Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Risiko Tsunami		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
Marga Punduh	Kampung Baru	587.71	239.38	0.00
	Kekatang	184.48	180.97	0.00
	Kunyaian	31.25	11.11	0.00
	Maja	1904.78	0.00	0.00
	Pekon Ampai	270.91	74.36	0.00
	Penyandingan	1915.31	0.00	0.00
	Pulau Pahawang	735.04	47.85	0.00
	Sukajaya Punduh	772.26	400.27	2.48
	Tajur	224.36	78.63	0.00
	Umbul Limus	159.67	16.96	0.00
Padang Cermin	Banjaran	1133.27	45.08	41.08
	Persiapan Dantar	2622.30	53.05	349.42
	Durian	745.31	20.54	123.70
	Gayau	527.88	56.48	57.92
	Hanau Berak	86.06	24.06	0.00
	Khepong Jaya	29.72	46.18	0.00
	Padang Cermin	69.47	71.01	0.00
	Paya	280.89	1.24	0.00
	Sanggi	65.66	452.58	0.00
	Tambangan	13.24	2.41	0.00
	Trimulyo	4.65	0.00	0.00
	Way Urang	13.30	0.00	0.00
	Punduh Pidada	Bandung Agung	14.67	4.31
Bangun Rejo		717.01	21.00	1.40
Batu Raja		0.26	0.00	0.00
Bawang		64.51	115.25	0.00
Kota Jawa		19.45	73.08	0.00
Pagar Jaya		34.70	88.19	0.00
Pulau Legundi		37.51	24.76	0.00
Rusaba		14.09	75.49	0.00
Suka Maju		17.82	39.42	0.00
Sukajaya Pidada		18.39	8.51	0.00
Sukarame		54.70	190.19	0.00
Teluk Pandan	Batu Menyan	49.46	477.06	0.00
	Cilimus	0.00	0.00	0.00
	Gebang	62.81	204.18	0.00
	Hanura	0.00	0.00	0.00
	Hurun	0.00	0.00	0.00
	Munca	0.00	0.00	0.00
	Sidodadi	15.28	69.92	0.00
	Sukajaya Lempasing	0.00	0.00	0.00

Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Indeks Risiko Tsunami		
		Rendah (ha)	Sedang (ha)	Tinggi (ha)
	Talang Mulya	0.00	0.00	0.00
	Tanjung Agung	0.00	0.00	0.00



Gambar 13. Peta Risiko Tsunami di Kabupaten Pesawaran

Berdasarkan data pada Tabel 18, luas terbesar untuk indeks risiko tinggi terkait bencana tsunami tercatat di Desa Persiapan Dantar, Kecamatan Padang Cermin, dengan luas mencapai 349,42 ha. Untuk indeks risiko sedang terkait bencana tsunami, luas terbesar tercatat di Desa Batu Menyan, Kecamatan Teluk Pandan, dengan luas mencapai 477,06 ha. Sedangkan untuk indeks risiko rendah terkait bencana tsunami, luas terbesar juga tercatat di Desa Persiapan Dantar, Kecamatan Padang Cermin, dengan luas mencapai 2.622,30 ha.

Pentingnya menggunakan peta risiko ini bagi pemerintah daerah adalah untuk mengidentifikasi prioritas area untuk mitigasi dan respons bencana. Daerah dengan ancaman sedang seperti Kecamatan Way Khilau dan Way Lima, yang meskipun berdekatan, menunjukkan perbedaan dalam tingkat ancaman karena variabel seperti jarak dari sesar dan jenis batuan. Ini menggarisbawahi perlunya pendekatan yang lebih spesifik lokasi dalam penilaian risiko bencana. Selain itu, hasil simulasi tsunami mengungkapkan bahwa wilayah dengan risiko tinggi terutama berada di kecamatan yang berbatasan dengan laut, seperti Padang Cermin dan Teluk Pandan. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Pribadi dkk., 2023) di Palu yang menunjukkan perbedaan tingkat ancaman tsunami yang signifikan, memperlihatkan bagaimana rekam jejak bencana di wilayah tertentu mempengaruhi hasil model prediktif.

Diskusi tentang kerentanan menunjukkan bahwa sebagian besar kecamatan berada dalam kategori kerentanan sedang, dengan kecuali Kecamatan Gedong Tataan yang menunjukkan kerentanan tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah ini berpotensi mengalami kerusakan dan dampak yang signifikan jika terjadi bencana. Sebaliknya, Kecamatan Marga Punduh memiliki kerentanan yang rendah, yang dapat berarti potensi dampak bencana yang lebih kecil. Indeks kapasitas menunjukkan variasi yang signifikan antara kecamatan, dengan sebagian besar memiliki kapasitas rendah hingga sedang. Kecamatan Tegineneng yang memiliki kapasitas rendah, misalnya, memerlukan peningkatan dalam semua komponen kapasitas, termasuk pendidikan kebencanaan dan pembangunan kesiapsiagaan. Upaya ini dapat meningkatkan kemampuan daerah untuk menghadapi bencana di masa mendatang.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Proses pengkajian risiko bencana gempabumi dan tsunami di Kabupaten Pesawaran dikaji secara saintifik dan mengikuti peraturan resmi yang berlaku di Indonesia dan dunia dalam menentukan komponen-komponen risiko bencana, yaitu Ancaman, Kerentanan dan Kapasitas. Bencana gempabumi tidak memiliki ancaman dan risiko yang tinggi di Kabupaten Pesawaran. Ancaman dengan tingkatan sedang berada di Kecamatan Kedondong, Way Khilau, Padang Cermin, Punduh Pidada, dan Marga Punduh. Namun, risiko dari kelima kecamatan tersebut berada pada risiko rendah, kecuali pada Kecamatan Kedondong yang sebagian wilayahnya masuk ke risiko rendah dan sebagian lainnya masuk ke risiko sedang. Hal ini dikarenakan, meskipun kelima kecamatan tersebut memiliki ancaman yang sedang, namun kerentanan kelima kecamatan tersebut berada pada kategori sedang (kecuali Kecamatan Marga Punduh yang memiliki kerentanan rendah), dan kapasitas yang dimiliki oleh kecamatan tersebut berada pada kategori tinggi (kecuali Kecamatan Kedondong yang memiliki kapasitas sedang). Sehingga, meskipun ancaman di daerah tersebut berada pada kategori sedang, namun risiko bencananya berada pada kategori rendah karena minimnya kerentanan dan tingginya kapasitas yang dimiliki daerah tersebut. Indeks risiko sedang dengan luas terbesar berada di Desa Bogorejo, Kecamatan Gedong Tataan dengan luas 2.695,02 ha.

Sama halnya dengan ancaman gempabumi, ancaman tsunami di beberapa kelurahan yang terletak di Kecamatan Teluk Pandan, Padang Cermin, Punduh Pidada, dan Marga Punduh hampir seluruhnya berada pada indeks ancaman tsunami tinggi. Namun, karena kerentanan pada keempat kecamatan tersebut berada pada kategori rendah (Kecamatan Marga Punduh) hingga sedang (Kecamatan Padang Cermin, Teluk Pandan, dan Punduh Pidada), dengan kapasitas yang tinggi pada keempat kecamatan tersebut, sehingga sebagian besar wilayah tersebut risiko berada pada kategori sedang hingga rendah. Namun, ada beberapa kelurahan yang memiliki risiko tinggi bencana tsunami, diantaranya adalah Desa Persiapan Dantar, Kelurahan Banjaran, Kelurahan Gayau di Kecamatan Padang Cermin. Indeks risiko tinggi tsunami dengan luas wilayah terbesar berada di Desa Persiapan Dantar dengan luas 349,42 ha.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardewati, N., Marizka, F., Darman, R., & Namora, J. (2018). Implementasi Business Intelligence Menentukan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia dengan Fitur Geolokasi. *Journal of Information Engineering and Educational Technology*, 2(1), 13–18. <https://doi.org/10.26740/jieet.v2n1.p13-18>
- Baihaqi, R., & Pujiastuti, D. (2023). Analisis Risiko Gempa Bumi di Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), 206–212. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.2.206-212.2023>
- Berryman, K. (2006). Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand. Dalam *Institute of Geological and Nuclear Sciences* (Nomor September).
- BMKG. (2021). *Tigabelas Gempabumi Mengguncang Pesawaran Dalam Sehari Tanggal 6 Januari 2021*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika BMKG - Provinsi Lampung. <https://lampung.bmkg.go.id/profil/?ase=readnews&etc=NEWS84E640>
- BNPB. (2012a). Menuju Indonesia Tangguh Menghadapi Tsunami. Dalam *Masterplan Pengurangan Risiko Bencana Tsunami*.
- BNPB. (2012b). Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. Dalam *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana* (Nomor Nomor 02).
- BNPB. (2015). *Indonesia: National progress report on the implementation of the Hyogo framework for action (2013–2015)*. BNPB Jakarta.
- BNPB. (2016). *Risiko bencana indonesia*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Cvetković, V. M., Tanasić, J., Ocal, A., Kešetović, Ž., Nikolić, N., & Dragašević, A. (2021). Capacity Development of Local Self-Governments for Disaster Risk Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10406. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910406>

- Djalante, R., Garschagen, M., Thomalla, F., & Shaw, R. (2017). Introduction: Disaster Risk Reduction in Indonesia: Progress, Challenges, and Issues. Dalam R. Djalante, M. Garschagen, F. Thomalla, & R. Shaw (Ed.), *Disaster Risk Reduction in Indonesia* (hlm. 1–17). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54466-3_1
- Djalante, R., Thomalla, F., Sinapoy, M. S., & Carnegie, M. (2012). Building resilience to natural hazards in Indonesia: Progress and challenges in implementing the Hyogo Framework for Action. *Natural Hazards*, 62(3), 779–803. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0106-8>
- Fahmi, M. N., Wikantika, K., & Budiharto, A. (2017). Pembuatan Peta Zonasi Risiko Tsunami Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Wilayah Pesisir Pangandaran. *ITB Indonesian journal of Geospatial*, 6(2), 15–38.
- Fauzi, A., Hunainah, H., & Humaedi, H. (2020). Menyimak Fenomena Selat Sunda. *Jurnal Geografi*, 18(1), 43–62.
- Felix, R. P., Hubbard, J. A., Bradley, K. E., Lythgoe, K. H., Li, L., & Switzer, A. D. (2022). Tsunami hazard in Lombok and Bali, Indonesia, due to the Flores back-arc thrust. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(5), 1665–1682. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-1665-2022>
- Firman, T. (2016). Demographic Patterns of Indonesia's Urbanization, 2000–2010: Continuity and Change at the Macro Level. Dalam C. Z. Guilmoto & G. W. Jones (Ed.), *Contemporary Demographic Transformations in China, India and Indonesia* (hlm. 255–269). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24783-0_16
- Fuady, M., Munadi, R., & Fuady, M. A. K. (2021). Disaster mitigation in Indonesia: Between plans and reality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1087(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1087/1/012011>
- Garschagen, M., Hagenlocher, M., Comes, M., Dubbert, M., Sabelfeld, R., Lee, Y. J., Grunewald, L., Lanzendörfer, M., Mucke, P., Neuschäfer, O., & others. (2016). *World risk report 2016*.
- Hendriyawan, Irsyam, M., Asrurifak, M., Meilano, I., Natawidjaja, D. H., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., Sakti, L. M., Sabaruddin, A., Faisal, L., Simatupang, P. T., Hutapea, B. M., & Afriansyah, T. (2018). Recent Efforts to Mitigate the Impacts of Earthquake Hazard in Indonesia from Geotechnical Engineering Perspective. Dalam S. Iai (Ed.), *Developments in Earthquake Geotechnics* (Vol. 43, hlm. 131–150). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62069-5_7
- Imamura, F., Muhari, A., Mas, E., Pradono, M. H., Post, J., Sugimoto, M., Disaster Control Research Center, Tohoku University, Aoba 06-6-11-1106, Sendai 980-8579, Japan, The Agency for the Assessment and Application of Technology, Jl. MH, Thamrin 8, Jakarta 10340, Indonesia, German Remote Sensing Data Center (DFD), German Aerospace Center (DLR), 82234 Wessling, Germany, & Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0032, Japan. (2012). Tsunami Disaster Mitigation by Integrating Comprehensive Countermeasures in Padang City, Indonesia. *Journal of Disaster Research*, 7(1), 48–64. <https://doi.org/10.20965/jdr.2012.p0048>
- Jena, R., Pradhan, B., & Beydoun, G. (2020). Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46, 101518. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101518>
- Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Alamri, A. M., Ardiansyah, Nizamuddin, & Sofyan, H. (2020). Earthquake hazard and risk assessment using machine learning approaches at Palu, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 749, 141582. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141582>
- Joshi, A., & Midorikawa, S. (2004). A simplified method for simulation of strong ground motion using finite rupture model of the earthquake source. *Journal of Seismology*, 8(4), 467–484. <https://doi.org/10.1007/s10950-004-1595-z>
- Jufriansah, A., Pramudya, Y., Khusnani, A., & Saputra, S. (2021). Analysis of Earthquake Activity in Indonesia by Clustering Method. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 5(2), 92–103. <https://doi.org/10.20961/jphystheor-appl.v5i2.59133>
- Kryspin-Watson, J., Vun, Y. J., Stanton-Geddes, Z., & Semadeni, G. S. (2019). *Strengthening the Disaster Resilience of Indonesian Cities: A Policy Note* (Working Paper 142165). World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/748581569515561529/Strengthening-the-Disaster-Resilience-of-Indonesian-Cities-A-Policy-Note>
- Kurmiati, D., Zakiy Fauzi, M., Ripangi, Falegas, A., & Indria. (2021). Clustering of Earthquake Prone Areas in Indonesia Using K-Medoids Algorithm. *Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 1(1), 47–57.
- Kusuma-Atmadja, M., & Purwaka, T. H. (1996). Legal and institutional aspects of coastal zone management in Indonesia. *Marine Policy*, 20(1), 63–86. [https://doi.org/10.1016/0308-597X\(95\)00034-4](https://doi.org/10.1016/0308-597X(95)00034-4)

- Laksono, F. A. T., Widagdo, A., Aditama, M. R., Fauzan, M. R., & Kovács, J. (2022). Tsunami Hazard Zone and Multiple Scenarios of Tsunami Evacuation Route at Jetis Beach, Cilacap Regency, Indonesia. *Sustainability*, *14*(5), 2726. <https://doi.org/10.3390/su14052726>
- Løvholt, F., Glimsdal, S., Harbitz, C. B., Zamora, N., Nadim, F., Peduzzi, P., Dao, H., & Smebye, H. (2012). Tsunami hazard and exposure on the global scale. *Earth-Science Reviews*, *110*(1–4), 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.10.002>
- Marpaung, N. D. (2021). IDENTIFIKASI POLA SEBARAN BATUGAMPING DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS DI DESA GEBANG KECAMATAN PADANG CERMIN KABUPATEN PESAWARAN LAMPUNG. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, *16*(1). <https://doi.org/10.59637/jsti.v16i1.105>
- Masum, M., & Ali Akbar, M. (2019). The Pacific Ring of Fire is Working as a Home Country of Geothermal Resources in the World. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *249*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/249/1/012020>
- Meltzner, A. J., Sieh, K., Chiang, H.-W., Wu, C.-C., Tsang, L. L. H., Shen, C.-C., Hill, E. M., Suwargadi, B. W., Natawidjaja, D. H., Philibosian, B., & Briggs, R. W. (2015). Time-varying interseismic strain rates and similar seismic ruptures on the Nias–Simeulue patch of the Sunda megathrust. *Quaternary Science Reviews*, *122*, 258–281. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.06.003>
- 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. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v9i2.52318>
- Murdiaty, Angela, & Sylvia, C. (2020). Pengelompokan Data Bencana Alam Berdasarkan Wilayah, Waktu, Jumlah Korban dan Kerusakan Fasilitas Dengan Algoritma K-Means. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, *4*(3), 744–752. <https://doi.org/10.30865/mib.v4i3.2213>
- Muta'ali, L. (2014). *Perencanaan pengembangan wilayah berbasis pengurangan resiko bencana* (Cetakan Pe). Badan Penerbit Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Mutaqin, B. W., Lavigne, F., Hadmoko, D. S., & Ngalawani, M. N. (2019). Volcanic Eruption-Induced Tsunami in Indonesia: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *256*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012023>
- Muzani, M., Mataburu, I. B., & Tafiati, T. (2024). Vulnerability and tsunami disaster on the west coast Banten province, Indonesia. *All Earth*, *36*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/27669645.2024.2323355>
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research*, *30*(1).
- Natalia, H. C., & Denhi, A. D. A. (2023). EVOLUSI TUBUH GUNUNGAPI DAN IMPLIKASI STRUKTUR GEOLOGI DI GUNUNG PESAWARAN-BETUNG, LAMPUNG. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, *9*(1), 83–96. <https://doi.org/10.23960/jge.v9i1.253>
- Netrisa, Z., Syafriani, Triyono, R., & Arifin, H. (2018). Pemetaan Bahaya Gempabumi Deterministik Dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (PGA) Di Kota Padang. *Pillar of Physics*, *11*(2), 41–48.
- Pasari, S., Simanjuntak, A. V. H., Mehta, A., Neha, & Sharma, Y. (2021). A synoptic view of the natural time distribution and contemporary earthquake hazards in Sumatra, Indonesia. *Natural Hazards*, *108*(1), 309–321. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04682-0>
- Pawirodikromo, W. (2015). PENGURANGAN RISIKO BENCANA ALAM GEMPA BUMI SEBAGAI UPAYA UNTUK MELAKSANAKAN RISK-BASED EARLY WARNING. *Jurnal Teknisia*, *XX*(1), 51–66.
- Pertiwi, I. I., Fattah, M. H., & Rauf, A. (2018). Estimation of Tsunami Inundation and Disaster Mitigation in Bulukumba, Indonesia. *Jurnal Geofisika*, *16*(1), 1–8. <https://doi.org/10.36435/jgf.v16i1.13>
- Pribadi, C. B., Bioresita, F., & Shafira, A. K. (2023). Analisis Tingkat Bahaya Bencana Tsunami Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kota Palu. *Geoid*, *19*(1), 49. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v19i1.18057>
- PuSGeN. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* (Cetakan Pe). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.
- Rai, A. K., Malakar, S., & Goswami, S. (2023). Active source zones and earthquake vulnerability around Sumatra subduction zone. *Journal of Earth System Science*, *132*(2), 66. <https://doi.org/10.1007/s12040-023-02070-9>
- Ridwan, M., Soehaimi, A., Sinung Baskoro, S. R., Sopian, Y., Setianegara, R., & Cita, A. (2023). Pengembangan Peta Bahaya Gempabumi di Batuan Dasar untuk Daerah Cilacap dan Sekitarnya. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, *24*(1), 31–38. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i1.704>

- Saputra, E., Makrup, L., Nugraheni, F., & Pawirodikromo, W. (2020). Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode Psha. *Teknisia*, XXV(1), 42–49. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss1.art5>
- Sari, D. A. P., Innaqa, S., & Safrilah. (2017). Hazard, Vulnerability and Capacity Mapping for Landslides Risk Analysis using Geographic Information System (GIS). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012106>
- Setiawan, B. (2017). Probabilistic seismic hazard analysis incorporating Monte Carlo method in the case of Adelaide region. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(2), 81–96. <https://doi.org/10.17014/ijog.4.2.81-96>
- Setiowati, A. R., Sabri, L., & Sukmono, A. (2023). Analisis Tingkat Risiko Tsunami Kota Ambon Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (Ahp). *Jurnal Geodesi Undip Januari*, 12(1), 30.
- Stein, S., & Wysession, M. (2009). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure* (9. [pr.]). Blackwell.
- Sunardi, B., Daryono, D., Arifin, J., Susilanto, P., Ngadmanto, D., Nurdiyanto, B., & Sulastri, S. (2012). KAJIAN POTENSI BAHAYA GEMPABUMI DAERAH SUMBAWA BERDASARKAN EFEK TAPAK LOKAL. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(2). <https://doi.org/10.31172/jmg.v13i2.127>
- Suppasri, A., Imamura, F., & Koshimura, S. (2012). Tsunamigenic Ratio of the Pacific Ocean earthquakes and a proposal for a Tsunami Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(1), 175–185. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-175-2012>
- Triyoso, W., Suwondo, A., & Naibaho, Z. Y. X. (2020). Earthquake Potential Hazard Analysis of Palembang City, Sumatra Island. *Indonesian Journal on Geoscience*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.17014/ijog.8.1.1-9>
- Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Jebur, M. N., & Tehrani, M. S. (2014). Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province, Indonesia. *CATENA*, 118, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.02.005>
- Vemileza Putri, T. U., Dewi, I. K., & Marlinda, L. (2022). Penentuan Zonasi Bencana Tsunami di Kabupaten dan Kota Pesisir Provinsi Sumatera Barat. *Science, and Physics Education Journal (SPEJ)*, 5(2), 47–54. <https://doi.org/10.31539/spej.v5i2.3237>
- Widyastuti, H., Lumantarna, E., Sofi, M., Ramli, M. I., Oktavianus, Y., & Rajabifard, A. (2020). Earthquake Vulnerability of Port Structures in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012001>
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2003). At risk: Natural hazards, peoples vulnerability and disasters. Dalam *At Risk: Natural Hazards Peoples Vulnerability and Disasters* (Second Edi). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203714775>
- World Bank. (2023). *Indonesia: Overview*. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/country/indonesia/overview>
- Zahro, Q. (2017). Kajian Spasial Risiko Bencana Tsunami Kabupaten Serang, Banten. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 12(1), 44–52. <https://doi.org/10.29122/jstmb.v12i1.3699>
- Zaiyana, D., & Buchori, I. (2014). KAJIAN KEMBALI TERHADAP RISIKO TSUNAMI DI KOTA BANDA ACEH. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*, 3(4), 807–817.
