

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik (Syafitri *et al.*, 2019). Kondisi geologis tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu wilayah dengan aktivitas tektonik paling intensif di dunia sehingga memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap berbagai bencana geologi, seperti gempa bumi, letusan gunung api, dan tsunami. Selain itu, posisi geografis Indonesia yang membentang di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia semakin meningkatkan potensi terjadinya tsunami, khususnya di kawasan pesisir yang berbatasan langsung dengan lempeng samudera. Tsunami merupakan salah satu bencana geologi yang paling berbahaya karena terjadi secara mendadak, bergerak dengan cepat, dan sulit diprediksi secara akurat. Gelombang tsunami dapat dipicu oleh gempa bumi tektonik di dasar laut yang menyebabkan pergeseran lempeng secara tiba-tiba, letusan gunung api bawah laut, maupun longsor lereng dasar laut (Millang, 2024). Pelepasan energi yang besar dari bawah laut akan memindahkan massa air dalam jumlah besar sehingga membentuk gelombang yang menjalar dengan kecepatan tinggi dan mampu menempuh ribuan kilometer sebelum menghantam wilayah pesisir. Urgensi kajian kerawanan tsunami semakin meningkat seiring pesatnya pertumbuhan penduduk dan aktivitas pariwisata di wilayah pesisir Indonesia, sehingga potensi jumlah jiwa dan aset yang terpapar bila tsunami terjadi menjadi semakin besar dari waktu ke waktu (BNPB, 2024). Tanpa pemetaan zona rawan yang akurat dan terkini, upaya mitigasi seperti penentuan jalur evakuasi dan tata ruang pesisir sulit dilakukan secara tepat sasaran, sehingga penelitian mengenai zona rawan tsunami menjadi mendesak untuk dilakukan.

Dampak yang ditimbulkan oleh tsunami sangat destruktif, baik terhadap lingkungan fisik maupun kehidupan masyarakat. Bencana ini dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur berupa bangunan, jalan, jembatan, dan berbagai fasilitas umum lainnya. Selain itu, tsunami juga berdampak besar pada aspek sosial dan ekonomi, seperti hilangnya tempat tinggal, sumber mata pencaharian, serta anggota keluarga bagi masyarakat terdampak. Sektor perekonomian di wilayah pesisir dapat mengalami kelumpuhan akibat rusaknya kawasan perdagangan, pariwisata, dan transportasi laut. Dalam jangka panjang, tsunami juga dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem pesisir, termasuk hutan mangrove, terumbu karang, dan lahan pertanian yang mengalami intrusi air laut. Di Indonesia, berbagai peristiwa tsunami telah tercatat dalam sejarah dengan tingkat dampak yang berbeda-beda. Salah satu yang paling besar adalah tsunami Aceh tahun 2004, yang menjadi bukti nyata dahsyatnya bencana ini karena menyebabkan korban jiwa dalam jumlah sangat besar serta kerugian ekonomi yang mencapai miliaran hingga triliunan rupiah.

Provinsi Bali, khususnya Kota Denpasar, memiliki posisi yang sangat strategis sebagai pusat pemerintahan, perekonomian, dan pariwisata di Bali. Namun letaknya yang berada di pesisir selatan Pulau Bali membuat kawasan ini sangat rentan terhadap ancaman tsunami, karena berbatasan langsung dengan Lempeng Indo-Australia (Oktaviana *et al*, 2020). Tsunami sendiri adalah peristiwa alam yang terjadi akibat perubahan permukaan laut secara tiba-tiba, sehingga memicu perpindahan besar volume air (Simamora, 2017). Secara spesifik, sumber ancaman tsunami bagi Kota Denpasar terletak pada segmen megathrust di zona subduksi selatan Bali (Segmen Sumba), yaitu pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia yang berada sekitar 200 km di selatan Pulau Bali, dengan potensi gempa mencapai magnitudo 8,5–9,0 (BMKG, 2025). Potensi tsunami muncul karena pusat gempa pada zona ini berada di laut dengan kedalaman dangkal dan melibatkan pergerakan vertikal dasar laut, sehingga volume air laut dalam jumlah besar berpindah secara tiba-tiba dan menjalar sebagai gelombang menuju pesisir, BMKG memproyeksikan tinggi gelombang tsunami yang dapat mencapai kawasan Sanur dan Serangan berkisar 6–10

meter apabila skenario gempa maksimum tersebut terjadi (BMKG, 2025). Berdasarkan data BMKG (2019), Provinsi Bali tercatat telah mengalami bencana tsunami sebanyak enam kali dalam kurun waktu 416–2018. Seperti pada tabel berikut sejarah bencana tsunami di Provinsi Bali:

Tabel 1.1.1 Tingkat risiko bencana tsunami Provinsi Bali

No.	Tahun Kejadian	Sumber Gempa	Dampak / Keterangan
1	1815	Laut Bali	Memicu tsunami besar, korban jiwa mencapai ribuan orang
2	1818	Laut Bali	Tsunami besar di pantai utara Bali dan timur Jawa
3	1857	Laut Bali	Tsunami menyebabkan 36 orang meninggal dunia
4	1917	Laut Bali	Gempa kuat, tidak dilaporkan tsunami besar
5	1976	Laut Bali	Kerusakan parah di Buleleng dan Jembrana, memicu tsunami kecil
6	1985	Samudra Hindia	Guncangan kuat, tidak menimbulkan tsunami signifikan

Sumber: BMKG dan BPDB Provinsi Bali

Kota Denpasar termasuk dalam wilayah dengan tingkat risiko tsunami tinggi (BNPB, 2022). Seperti data dari KRB Provinsi Bali Tahun 2022–2026, diketahui bahwa Kota Denpasar memiliki kelas bahaya tsunami tinggi dan dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1.1.2 Tingkat risiko bencana tsunami Provinsi Bali

No	Kabupaten /Kota	Kelas Bahaya	Kelas Kerentanan	Kelas Kapasitas	Kelas Risiko
A.					
Kabupaten					
1	Jembrana	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang
2	Tabanan	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang

3	Badung	Tinggi	Tinggi	Sedang	Tinggi
4	Gianyar	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang
5	Klungkung	Tinggi	Tinggi	Sedang	Tinggi
6	Karangasem	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang
7	Buleleng	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang
B. Kota					
1	Kota Denpasar	Tinggi	Tinggi	Sedang	Tinggi
Provinsi Bali	Tinggi	Tinggi	Sedang	Tinggi	

Sumber: Dokumen KRB Prov Bali Tahun 2022 – 2026

Kota Denpasar menghadapi permasalahan yang kompleks dalam kerawanan tsunami. Sebagai pusat aktivitas pariwisata internasional, kawasan ini memiliki kepadatan penduduk yang tinggi, terutama di wilayah pesisir selatan seperti Kecamatan Denpasar Selatan yang mencakup Pantai Sanur dan sekitarnya. Infrastruktur penting seperti hotel, pusat perbelanjaan, pelabuhan, serta kawasan permukiman padat banyak berada di dataran rendah yang dekat dengan garis pantai. Kondisi ini meningkatkan tingkat kerawanan, karena jika tsunami terjadi, proses evakuasi akan sulit dilakukan akibat keterbatasan jalur evakuasi, minimnya area evakuasi vertikal, serta tingginya intensitas aktivitas masyarakat di wilayah tersebut. Secara kependudukan, jumlah penduduk Kota Denpasar tercatat sekitar 670 ribu jiwa pada pertengahan tahun 2024 dan terus mengalami pertambahan setiap tahunnya (BPS Kota Denpasar, 2024). Dari sisi pariwisata, kunjungan wisatawan mancanegara ke Provinsi Bali sepanjang tahun 2024 mencapai lebih dari 6,3 juta kunjungan, meningkat sekitar 20% dibanding tahun sebelumnya, dengan sebagian besar wisatawan terkonsentrasi di kawasan pesisir selatan seperti Sanur, Kuta, dan Serangan yang juga merupakan zona dengan kelas bahaya tsunami tinggi (BPS Provinsi Bali, 2024). Tingginya jumlah penduduk tetap yang berpadu dengan derasny arus wisatawan pada waktu-waktu tertentu

menyebabkan populasi harian di kawasan pesisir Denpasar dapat jauh melampaui kapasitas normalnya, sehingga memperbesar potensi jumlah korban apabila tsunami sewaktu-waktu terjadi.

Berdasarkan data Indeks Rawan Bencana Indonesia (IRBI) yang dikeluarkan BNPB tahun 2024, kondisi topografi Provinsi Bali berada pada kisaran 0–2.276 mdpl (BNPB, 2024). Kota Denpasar didominasi oleh dataran rendah dengan ketinggian antara 0–75 meter di atas permukaan laut (mdpl), dan memiliki luas wilayah sekitar 125,98 km² (BPS, 2025). Morfologi landai dengan kemiringan lahan sebagian besar berkisar antara 0-5% namun di bagian tepi kemiringannya bisa mencapai 15%. Sebagian besar wilayah pesisir selatan seperti Pantai Sanur memiliki topografi yang sangat landai dengan kemiringan lereng kurang dari 8%, sehingga sangat rentan terhadap genangan dan infiltrasi air bila terjadi tsunami atau gelombang pasang. Kemudian rata – rata perubahan garis pantai di wilayah pesisir sebesar 7,46 m (Aryastana *et al.*, 2017). Bagian tengah Kota Denpasar merupakan zona transisi dengan sedikit perbukitan rendah, sedangkan bagian utara relatif lebih tinggi, tetapi secara umum tetap relatif datar. Jenis tanah yang dominan di wilayah Denpasar selatan berasal dari endapan aluvial, terutama di wilayah pantai dan lembah sungai, sementara di daerah utara dan perbukitan rendah jenis tanahnya lebih banyak dari hasil pelapukan batuan vulkanik (*litosol*, *latosol*) serta campuran fluvial-vulkanik (Wisnawa *et al.*, 2021). Keberadaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Badung, yang mengalir dari utara ke selatan dan bermuara di Teluk Benoa, memberikan tambahan faktor kerawanan, karena luapan sungai dan limpasan air saat hujan lebat bisa memperburuk dampak jika tsunami juga terjadi. Secara fisik, garis pantai selatan Kota Denpasar mulai dari Pantai Sanur hingga Pulau Serangan berupa dataran pantai landai dengan elevasi rendah dan tanpa penghalang alami berupa tebing atau bukit yang berarti, sehingga gelombang tsunami berpotensi menjalar jauh ke daratan tanpa banyak hambatan topografis. Kondisi ini diperparah oleh dominasi endapan aluvial yang bersifat lepas dan mudah tererosi, serta minimnya jalur sungai besar yang dapat berfungsi sebagai penahan energi gelombang,

sehingga secara fisik kawasan ini termasuk tipologi pantai yang rentan terhadap genangan dan inundasi tsunami (Pratama, 2020).

Penelitian-penelitian terkini memperkuat kekhawatiran tersebut. Misalnya, penelitian tentang *‘Pemodelan dan Pembuatan Peta Evakuasi Tsunami Pesisir Sanur’* menemukan bahwa dalam skenario gempa maksimum (skala M9,0) ditambah referensi tsunami Banyuwangi 1994, jarak inundasi tsunami bisa mencapai 2–3 km ke arah darat, dengan tinggi gelombang di pantai bervariasi antara 9,9 – 16,8 meter dan run-up maksimum mencapai 21 meter. Waktu tiba tsunami di pantai diperkirakan sekitar 24 menit setelah gempa (Pratama., 2020). Selain itu, studi *‘Identification of Image Area Concept of Tsunami Disaster Response in Coastal Spatial Case Study: Serangan Island, Denpasar, Bali’* menunjukkan bahwa Pulau Serangan memiliki topografi relatif rendah dan elevasi daratan yang terbatas di bagian tertentu, yang memperbesar risiko paparan terhadap bahaya tsunami (Darmawan, 2020). Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah tersebut dengan pendekatan integratif melalui analisis DEM dan jarak pantai, sehingga menghasilkan peta kerawanan tsunami yang lebih akurat dan dapat dijadikan acuan dalam mitigasi bencana, perencanaan wilayah yang tangguh, serta pengurangan risiko kerugian di Kota Denpasar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kerawanan tsunami serta memprediksi potensi dampak yang ditimbulkan oleh bencana tsunami di Kota Denpasar dengan memanfaatkan pendekatan spasial. Ancaman kerugian akibat bencana dapat dilihat pada dokumen rencana penanggulangan bencana Provinsi Bali seperti pada tabel 2 berikut:

Tabel 1.1.3 Tingkat kerugian akibat bencana Provinsi Bali

Tingkat Ancaman	Tingkat Kerugian	Indeks Kerugian (Rupiah)	Jenis Bencana
Rendah	Rendah	Rendah	Banjir

Sedang	Sedang	Sedang	Letusan Gunung Api, Epidemi dan Wabah Penyakit
Tinggi	Rendah– Tinggi	Rendah–Tinggi	1. Gelombang Ekstrim & Abrasi 2. Epidemi dan Wabah Penyakit 3. Gempabumi 4. Kebakaran Hutan & Lahan 5. Kegagalan Teknologi 6. Cuaca Ekstrim 7. Tsunami 8. Konflik Sosial 9. Tanah Longsor

Sumber: Dokumen RPB Provinsi Bali 2012 – 2017

Berdasarkan penentuan tingkat kerugian, potensi tingkat kerugian akibat multibencana di Provinsi Bali dapat dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Tingkat kerugian rendah berpotensi terjadi apabila bencana yang melanda berupa banjir dan letusan gunung api. Tingkat kerugian sedang terjadi apabila terjadi bencana epidemi dan wabah penyakit. Sementara itu, tingkat kerugian tinggi berpotensi muncul akibat bencana gempa bumi, gelombang ekstrim dan abrasi, cuaca ekstrim, konflik sosial, gagal teknologi, tsunami, kekeringan, kebakaran hutan dan lahan, serta tanah longsor.

Analisis dilakukan melalui penggabungan data *Digital Elevation Model* (DEM) dan parameter jarak dari garis pantai yang diolah menggunakan *Sistem Informasi Geografis* (SIG). DEM digunakan untuk memperoleh informasi topografi secara detail, seperti ketinggian dan kemiringan lereng, yang berpengaruh terhadap sebaran genangan tsunami. Sementara itu, parameter jarak pantai digunakan untuk menilai tingkat keterpaparan wilayah pesisir, karena semakin dekat lokasi dengan garis pantai, maka semakin besar potensi terkena dampak langsung gelombang tsunami. Melalui

variabel tersebut, dapat diperoleh gambaran spasial mengenai tingkat kerawanan di wilayah Kota Denpasar, baik pada kawasan pesisir, kawasan transisi, maupun daerah permukiman padat penduduk.

Ketertarikan peneliti dalam mengambil topik '**Analisis Zona Rawan Tsunami Terhadap Permukiman di wilayah Kota Denpasar Berbasis Sistem Informasi Geografis**' didasari oleh besarnya peran Bali, khususnya Kota Denpasar, sebagai pusat pariwisata internasional yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana tsunami. Faktor lain yang memperkuat pemilihan topik ini adalah posisi geografis Kota Denpasar yang berada dekat dengan zona subduksi pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, sehingga memiliki potensi tinggi terhadap aktivitas seismik yang dapat memicu terjadinya tsunami serta potensi dampak yang besar.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana tingkat kerawanan bencana tsunami di Kota Denpasar?
2. Bagaimana potensi dampak bencana tsunami terhadap permukiman di Kota Denpasar?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis tingkat kerawanan bencana tsunami di Kota Denpasar.
2. Menganalisis potensi dampak ke permukiman yang disebabkan oleh bencana tsunami di Kota Denpasar.

1.4 Kegunaan Penelitian

1. Bidang Keilmuan
 - a. Menambah wawasan dan literatur ilmiah dalam bidang geografi, khususnya yang berkaitan dengan analisis tingkat kerawanan bencana berbasis Sistem Informasi Geografi (SIG) dan menjadi referensi bagi penelitian.
 - b. Menambah wawasan dalam bidang mitigasi bencana dan pengelolaan wilayah pesisir, terutama dalam pemetaan risiko bencana berbasis teknologi geospasial.

- c. Menjadi sumber data dan referensi bagi mahasiswa, peneliti, maupun akademisi dalam mempelajari hubungan topografi, jarak pantai, dan kerawanan tsunami.
2. Kegunaan Praktis
- a. Memberikan informasi yang bermanfaat bagi pemerintah daerah Kota Denpasar dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) agar pembangunan infrastruktur di wilayah pesisir memperhatikan tingkat risiko bencana.
 - b. Membantu dalam pembuatan peta zona kerawanan tsunami yang dapat digunakan oleh pemerintah, seperti BPBD Kota Denpasar atau BNPB, untuk merencanakan jalur evakuasi, lokasi shelter, dan sistem peringatan dini tsunami.
 - c. Membantu meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya memahami tingkat kerawanan tsunami, sehingga lebih siap dalam menghadapi potensi bencana.

1.5 Telaah Pustaka dan Penelitian Sebelumnya

1.5.1 Telaah Pustaka

a. Tsunami

Tsunami merupakan bencana alam berupa gelombang laut besar yang terjadi akibat gempa bumi di dasar laut dan dapat bergerak dengan sangat cepat, bahkan mencapai kecepatan lebih dari 900 km/jam (Ferdy & Wahyuddin, 2024). Tsunami berasal dari kata dalam bahasa Jepang, yaitu '*tsu*' yang berarti pelabuhan dan '*nami*' yang berarti gelombang (Lumbah *et all*, 2025). Tsunami disebabkan serangkaian gelombang laut besar yang terbentuk akibat gangguan di dasar laut, seperti gempa bumi tektonik, letusan gunung api bawah laut, atau longsor di bawah laut, yang menyebabkan perpindahan massa air secara tiba-tiba.

Salah satu penyebab utama tsunami adalah gempa bumi tektonik yang terjadi di zona subduksi (Agustiani, 2023). Aktivitas pertemuan

lempeng tektonik di Indonesia, seperti Lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah Lempeng Eurasia, memicu gempa berkekuatan besar yang berpotensi menghasilkan tsunami. Indonesia termasuk dalam wilayah yang sangat rawan tsunami karena terletak di Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) dan memiliki banyak zona subduksi aktif, termasuk perairan selatan Bali.

b. *Digital Elevation Model (DEM)*

Digital Elevation Model (DEM) merupakan model berbasis komputer yang menyajikan informasi mengenai kondisi permukaan bumi (topografi) dalam berbagai bentuk, seperti raster, vektor, atau format data lainnya (Kurniawan, 2024). DEM memuat data ketinggian dan kemiringan yang memudahkan interpretasi, sehingga dapat dimanfaatkan dalam bidang kebencanaan seperti untuk membuat peta rawan bencana tsunami, banjir dan longsor (Abdi Hernanda *et all*, 2021). DEM sering dimanfaatkan untuk mengidentifikasi daerah rendah dan tinggi sehingga sangat berguna dalam analisis bencana yang dipengaruhi oleh topografi, termasuk tsunami. DEM memiliki peran penting dalam pemetaan kerawanan tsunami karena dapat membantu menentukan daerah yang akan tergenang ketika gelombang tsunami mencapai daratan. Wilayah dengan elevasi rendah, khususnya 0–10 meter di atas permukaan laut (mdpl), merupakan area yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap genangan tsunami. Dengan demikian, DEM menjadi salah satu parameter utama dalam model peringatan dini tsunami dan perencanaan jalur evakuasi.

c. Jarak Garis Pantai

Garis pantai adalah batas pertemuan antara daratan dan laut yang bersifat dinamis, karena posisinya dapat berubah akibat pengaruh pasang surut air laut dan proses erosi pantai (Setyawan *et all*, 2021). Kemudian jarak garis pantai mengacu semakin dekat suatu lokasi

dengan garis pantai, semakin besar potensi dampaknya saat gelombang tsunami menerjang. Tetapi dapat diminimalisir dengan membuat jalur evakuasi, kondisi infrastuktur, dan kondisi topografi di pesisir pantai.

Sehingga dalam konteks mitigasi bencana tsunami, jarak garis pantai dapat digunakan untuk menentukan zona risiko bencana tsunami dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi. Menurut BNPB (2024), wilayah yang berada dalam jarak 0–1 km dari garis pantai umumnya dikategorikan sebagai zona sangat rawan tsunami, 1–3 km sebagai zona rawan, sedangkan daerah yang berada lebih dari 3 km dari pantai biasanya memiliki tingkat kerawanan yang lebih rendah. Sehingga perlu dilakukan mitigasi dengan menggabungkan DEM untuk menentukan wilayah yang lebih akurat tentang risiko bencana tsunami.

d. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan (land use) merupakan bentuk pemanfaatan permukaan bumi oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, seperti permukiman, pertanian, industri, dan kawasan hutan. Menurut (Nuraeni *et al.*, 2017), penggunaan lahan adalah pengaturan, pengelolaan, dan pemanfaatan sumber daya lahan untuk berbagai aktivitas manusia dengan mempertimbangkan potensi serta keterbatasannya. Dalam konteks perencanaan wilayah, pola penggunaan lahan sangat dipengaruhi oleh faktor fisik seperti topografi, kemiringan, ketinggian, dan jarak dari garis pantai, serta faktor sosial ekonomi masyarakat.

Penggunaan lahan berperan penting sebagai salah satu parameter yang memengaruhi tingkat keterpaparan suatu wilayah. Kawasan dengan dominasi permukiman padat dan kegiatan ekonomi tinggi cenderung memiliki tingkat kerawanan yang lebih besar terhadap tsunami dibandingkan dengan wilayah hutan atau lahan terbuka yang berfungsi sebagai area penahan alami gelombang. Klasifikasi tingkat

kerawanan penggunaan lahan dapat dibagi menjadi permukiman (sangat rentan), pertanian (rentan), lahan kosong (cukup rentan), perairan (kurang rentan), dan hutan (tidak rentan).

e. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, mengelola, memproses, dan menyajikan data yang berkaitan dengan informasi geografis (Al Fauzi *et al*, 2022). SIG mengintegrasikan data spasial (geometri atau lokasi) dengan data atribut, sehingga mampu menampilkan fenomena geografi dalam bentuk peta digital, tabel, maupun model analisis. Dengan kemampuannya tersebut, SIG menjadi alat yang sangat penting dalam penelitian yang memerlukan analisis berbasis lokasi, seperti mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, dan pemetaan lingkungan. Penggunaan SIG dalam kebencanaan berperan untuk mitigasi dan manajemen bencana, termasuk pemetaan zona rawan tsunami. SIG berfungsi sebagai alat analisis yang dapat menggabungkan berbagai parameter seperti DEM, jarak pantai, dan penggunaan lahan untuk menghasilkan peta zona kerawanan bencana yang akurat seperti bencana tsunami. Salah satu kelebihan SIG yaitu mampu mengolah dan menganalisis data spasial yang lebih akurat serta dapat menjalankan berbagai parameter secara bersamaan.

f. Menentukan Kerawanan Bencana Tsunami

Kerawanan bencana tsunami merupakan kondisi yang menggambarkan tingkat potensi suatu wilayah untuk terdampak oleh kejadian tsunami, yang dipengaruhi oleh karakteristik fisik wilayah, kondisi lingkungan, serta kedekatannya dengan sumber ancaman. Kerawanan dipengaruhi oleh karakteristik fisik wilayah, kondisi lingkungan, serta kedekatan wilayah terhadap sumber ancaman tsunami. Wilayah dengan ketinggian rendah, kemiringan lereng yang

landai, dan lokasi yang dekat dengan garis pantai cenderung memiliki tingkat kerawanan tsunami yang lebih tinggi. SIG dimanfaatkan untuk melakukan pemetaan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap ancaman tsunami melalui analisis spasial berbagai parameter yang berpengaruh. Parameter yang biasanya digunakan dalam analisis kerawanan meliputi kemiringan lereng, ketinggian permukaan daratan, pola penggunaan lahan, serta kedekatan wilayah dengan garis pantai (Isdianto *et al.*, 2021). Parameter yang dipertimbangkan dalam pemetaan kerawanan tsunami meliputi kemiringan lereng, ketinggian permukaan tanah, jenis penggunaan lahan, serta jarak kedekatan dengan garis pantai.

g. Menganalisis Dampak Bencana Tsunami

Analisis dampak bencana tsunami mencakup berbagai aspek yang saling berkaitan, baik fisik, sosial, ekonomi, maupun lingkungan. Dampak fisik biasanya terlihat dari kerusakan infrastruktur, fasilitas publik, hingga hancurnya permukiman di wilayah pesisir. Dari sisi sosial, tsunami berakibat pada jatuhnya korban jiwa, meningkatnya jumlah pengungsi, dan terganggunya aktivitas masyarakat sehari-hari. Pada aspek ekonomi, bencana tsunami dapat melumpuhkan sektor perikanan, perdagangan, serta pariwisata yang menjadi penopang utama perekonomian masyarakat pesisir, seperti di Bali. Selain itu, dampak lingkungan juga signifikan, di antaranya rusaknya ekosistem pesisir seperti hutan mangrove, terumbu karang, serta penurunan kualitas tanah dan air. Tingkat kerawanan dianalisis dengan menggunakan data berdasarkan parameter yang telah ditetapkan, kemudian dilakukan proses pembobotan nilai sesuai dengan Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 mengenai Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana (Sarapang *et al.*, 2019).

1.5.2 Penelitian Sebelumnya

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa analisis bencana tsunami memainkan penting dalam pembangunan wilayah dan mitigasi bencana. Misalnya penelitian, (Oktaviana *et all*, 2020) berjudul **Aplikasi SIG untuk Pemetaan Zona Tingkat Bahaya dan Keterpaparan Pemukiman Terhadap Tsunami Kota Denpasar** yang membahas pemetaan zona tingkat bahaya dan keterpaparan permukiman terhadap tsunami di Kota Denpasar menggunakan *Sistem Informasi Geografis* (SIG) dengan mempertimbangkan parameter seperti jarak dari garis pantai, ketinggian wilayah, kemiringan lereng, dan jarak dari sungai. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Kota Denpasar, khususnya Denpasar Selatan dan sebagian Denpasar Timur, memiliki tingkat bahaya tsunami yang tergolong sedang hingga tinggi karena berada di kawasan dataran rendah dan dekat garis pantai. Tingkat keterpaparan permukiman juga didominasi kategori sedang hingga tinggi, dengan luasan mencapai 3,46 km² atau 27,21% dari total wilayah, di mana Denpasar Selatan memiliki keterpaparan tertinggi. Temuan ini menegaskan pentingnya pemetaan berbasis SIG sebagai dasar mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang untuk meminimalkan risiko serta kerugian akibat tsunami di Kota Denpasar.

(Sutarja, 2015) dalam penelitian berjudul **Rencana Tempat Evakuasi Sementara (TES) Pada Kawasan Rawan Bencana Tsunami Provinsi Bali** membahas analisis struktur Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang dibangun di Pasar Serangan, Denpasar, Bali, sebagai upaya mitigasi risiko tsunami di kawasan Pulau Serangan yang rawan bencana karena letaknya dekat zona subduksi Lempeng Indo-Australia. Kajian ini bertujuan untuk menilai kelayakan fungsi bangunan terhadap beban gempa dan tsunami dengan metode pemodelan 3D menggunakan ETABS 2015 serta analisis beban sesuai standar SNI. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa struktur TES mampu menahan beban gravitasi, tetapi beberapa elemen balok dan kolom tidak memenuhi ketentuan ketika diberi beban gempa. Analisis pushover dan simpangan memperlihatkan bahwa meski struktur tidak langsung runtuh, terdapat kelemahan yang menuntut penguatan tambahan. Kesimpulannya, bangunan TES layak secara fungsional untuk beban normal, namun agar benar-benar aman digunakan sebagai tempat evakuasi tsunami, diperlukan penguatan pada elemen-elemen strukturnya.

(Ramadhani et al., 2023) dalam penelitian berjudul **Tinjauan kesiapan mitigasi bencana non-struktural dalam menghadapi bencana tsunami di kawasan pesisir Kecamatan Kuta** yang membahas kesiapan mitigasi bencana non-struktural tsunami di kawasan pesisir Kecamatan Kuta, Bali, yang merupakan pusat pariwisata internasional sekaligus wilayah dengan risiko tinggi terhadap tsunami akibat letaknya di zona subduksi. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif melalui analisis spasial, deskriptif, dan skoring, menggunakan data regulasi, tata guna lahan, serta edukasi dan sosialisasi kebencanaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kesiapan mitigasi non-struktural di Kuta masih tergolong kurang siap dengan nilai 41,66%. Hal ini disebabkan oleh minimnya regulasi yang secara eksplisit mengatur kawasan rawan tsunami, ketidaksesuaian tata ruang dan penggunaan lahan dengan pedoman mitigasi, pembangunan yang melanggar sempadan pantai, serta terbatasnya edukasi, sosialisasi, dan pelatihan kesiapsiagaan bagi masyarakat. Kondisi tersebut berimplikasi pada meningkatnya kerentanan fisik, sosial, dan ekonomi masyarakat, sehingga diperlukan upaya serius dalam penyusunan kebijakan, pengendalian tata ruang, serta peningkatan kapasitas masyarakat untuk menghadapi ancaman tsunami secara lebih komprehensif.

(Hanifa et al., 2022) dalam penelitian berjudul **Pemodelan bahaya tsunami dan evaluasi strategi evakuasi di Tanjung Benoa Bali untuk mendukung upaya safe-tourism Bali** penelitian ini bertujuan memperbarui pemodelan bahaya tsunami, mengevaluasi jalur dan tempat evakuasi, serta menilai pemahaman masyarakat dan wisatawan. Hasil menunjukkan seluruh Tanjung Benoa berpotensi terdampak tsunami dengan ketinggian 10–14 meter di timur dan 6–10 meter di barat, dengan waktu tiba 20–25 menit. Kapasitas evakuasi yang ada hanya cukup untuk separuh penduduk, belum termasuk wisatawan hingga 30 ribu orang. Karena itu, direkomendasikan penambahan tempat evakuasi vertikal setinggi minimal 20 meter, revisi regulasi waktu kedatangan tsunami, serta peningkatan edukasi dan simulasi kesiapsiagaan guna mendukung safe tourism di Bali.

Selain itu (Yuniartanti, 2021) penelitian berjudul **Konsep Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana (KRB) Tsunami di Kabupaten Karangasem, Pulau Bali** membahas upaya mitigasi bencana tsunami melalui penataan ruang berbasis *Disaster Risk Reduction* (DRR). Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif dengan analisis SIG, telaah kebijakan, serta praktik baik dari berbagai negara. Hasil kajian menunjukkan bahwa wilayah pesisir Karangasem, khususnya Kecamatan Manggis, Karangasem, Kubu, dan Abang, termasuk dalam KRB tsunami dengan tingkat risiko rendah, sedang, hingga tinggi. Rekomendasi yang dihasilkan meliputi penetapan sempadan pantai minimal 100meter sebagai zona lindung, pengembangan infrastruktur mitigasi struktural (tanggul, pemecah gelombang, sistem evakuasi, TES/TEA), serta mitigasi non-struktural (rehabilitasi pantai, sabuk hijau, mangrove, RTH). Selain itu, diusulkan agar bangunan pariwisata dan permukiman menggunakan konstruksi tahan gempa dan difungsikan ganda sebagai tempat evakuasi vertikal. Kesimpulannya, pengaturan tata ruang

berbasis mitigasi dapat mengurangi risiko tsunami sekaligus mendukung pariwisata berkelanjutan di Kabupaten Karangasem.

Tabel 1.5.2.1 Pebandingan dan Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Oktaviana <i>et all</i> , (2020)	Aplikasi SIG untuk Pemetaan Zona Tingkat Bahaya dan Keterpaparan Permukiman Terhadap Tsunami Kota Denpasar	Memetakan tingkat bahaya dan keterpaparan permukiman terhadap tsunami di Kota Denpasar guna memberikan informasi dalam upaya mitigasi bencana serta meminimalkan kerugian.	Teknik overlay, skoring, dan pembobotan menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.3 dengan parameter jarak dari garis pantai, ketinggian, kemiringan lereng, dan jarak dari sungai.	Tingkat bahaya tsunami di Kota Denpasar didominasi kategori sedang hingga tinggi, terutama di wilayah selatan seperti Denpasar Selatan dan sebagian Denpasar Timur. Luas permukiman dengan keterpaparan sedang mencapai 3,46 km ² atau 27,21% dari total wilayah, sedangkan keterpaparan tinggi terpusat di Denpasar Selatan seluas 16,80 km ² , disebabkan oleh elevasi rendah dan jarak yang dekat dengan garis pantai
Sutarja, I. N. (2015)	Analisis Struktur Rencana Tempat Evakuasi Sementara (TES) pada Kawasan Rawan Bencana Tsunami Provinsi Bali	Mengetahui <i>Laik Fungsi</i> bangunan TES di Pasar Serangan, Pulau Serangan, dilihat dari perilaku strukturnya bila dilanda gempa dan tsunami	Pemodelan struktur menggunakan program ETABS 2015 berdasarkan data lapangan, Analisis struktur dengan simulasi beban gravitasi dan gempa (SNI 1726-2012), dan Pengujian mutu beton, pengamatan lapangan, serta evaluasi	Simulasi pertama menunjukkan struktur TES mampu memikul beban gravitasi. Simulasi kedua menunjukkan beberapa balok dan kolom tidak mampu menahan beban gempa sesuai SNI 1726-2012. Diperlukan perkuatan (penambahan dimensi/tulangan) agar bangunan lebih aman terhadap gempa.

			kinerja struktur melalui analisis pushover	
Ramadhani, D. A. B., Miladan, N., & Kusumastuti, K. (2023).	Tinjauan kesiapan mitigasi bencana non-struktural dalam menghadapi bencana tsunami di kawasan pesisir Kecamatan Kuta	Mengetahui tingkat kesiapan mitigasi bencana non-struktural tsunami di Kecamatan Kuta, Bali	Metode kuantitatif dengan teknik analisis spasial, analisis deskriptif, dan skoring; data primer (observasi, kuesioner) & sekunder (literatur, regulasi, dokumen)	Metode kuantitatif dengan teknik analisis spasial, analisis deskriptif, dan skoring; data primer (observasi, kuesioner) & sekunder (literatur, regulasi, dokumen)
Hanifa, N. R., Rahatiningtyas, N. S., Fatchurochman, I., Gunawan, E., Hartanto, D., Agastya, I. B. O., ... & Putra, Y. M. (2022).	Pemodelan Bahaya Tsunami dan Evaluasi Strategi Evakuasi di Tanjung Benoa Bali untuk Mendukung Upaya Safe-Tourism Bali	Memutakhirkan pemodelan bahaya tsunami, mengevaluasi jalur dan tempat evakuasi, serta menilai pemahaman masyarakat dan wisatawan terhadap peringatan dini tsunami	8 tahap: identifikasi sumber gempa, parameter sumber, pemodelan tsunami (software COMCOT), survei lapangan & geotagging, analisis data eksposur, <i>network analysis</i> (ArcGIS), <i>gap analysis</i> , serta survei pemahaman masyarakat	- Seluruh Tanjung Benoa berpotensi terdampak tsunami dengan tinggi 10–14 m (timur) dan 6–10 m (barat) - Waktu tiba tsunami 20–25 menit (lebih cepat dari regulasi 30 menit) - Kapasitas tempat evakuasi hanya 3.000 jiwa, sementara penduduk ± 5.684 jiwa + wisatawan hingga 30.000 orang - Perlu penambahan tempat evakuasi vertikal minimal 20 m dan revisi regulasi terkait waktu evakuasi.
Yuniartanti, R. K. (2021).	Konsep Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana (KRB) Tsunami di	Memberikan rekomendasi rencana pola ruang dan pengembangan	Pendekatan kualitatif dan kuantitatif; analisis menggunakan SIG, telaah literatur, praktik baik	- Seluruh pesisir Karangasem masuk KRB tsunami (1,194,38 ha atau 1,42% wilayah). - Risiko tertinggi di pantai selatan (Kecamatan Karangasem dan Manggis).

	Kabupaten Karangasem, Pulau Bali	infrastruktur mitigasi berbasis PRB (Pengurangan Risiko Bencana)	internasional, serta kebijakan nasional dan daerah	- Rekomendasi meliputi penetapan sempadan pantai 100 m, pengembangan infrastruktur mitigasi struktural (tanggul, pemecah gelombang, sistem evakuasi, TES/TEA), serta mitigasi non-struktural (sabuk hijau, RTH, hutan mangrove). - Pemanfaatan ruang di KRB bersifat terbatas dan bersyarat agar mendukung pengurangan risiko bencana.
--	----------------------------------	--	--	---

1.6 Kerangka Penelitian

Tsunami merupakan gelombang laut besar yang dihasilkan oleh aktivitas tektonik, vulkanik, atau longsor bawah laut, dan berpotensi menimbulkan kerusakan parah di wilayah pesisir. Dalam menganalisis tingkat kerawanan wilayah terhadap tsunami, penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis *Sistem Informasi Geografis* (SIG) dengan mempertimbangkan empat parameter utama, yaitu kemiringan lahan (*slope*), elevasi daratan (*elevation*), penggunaan lahan, dan jarak dari garis pantai (*coastal proximity*).

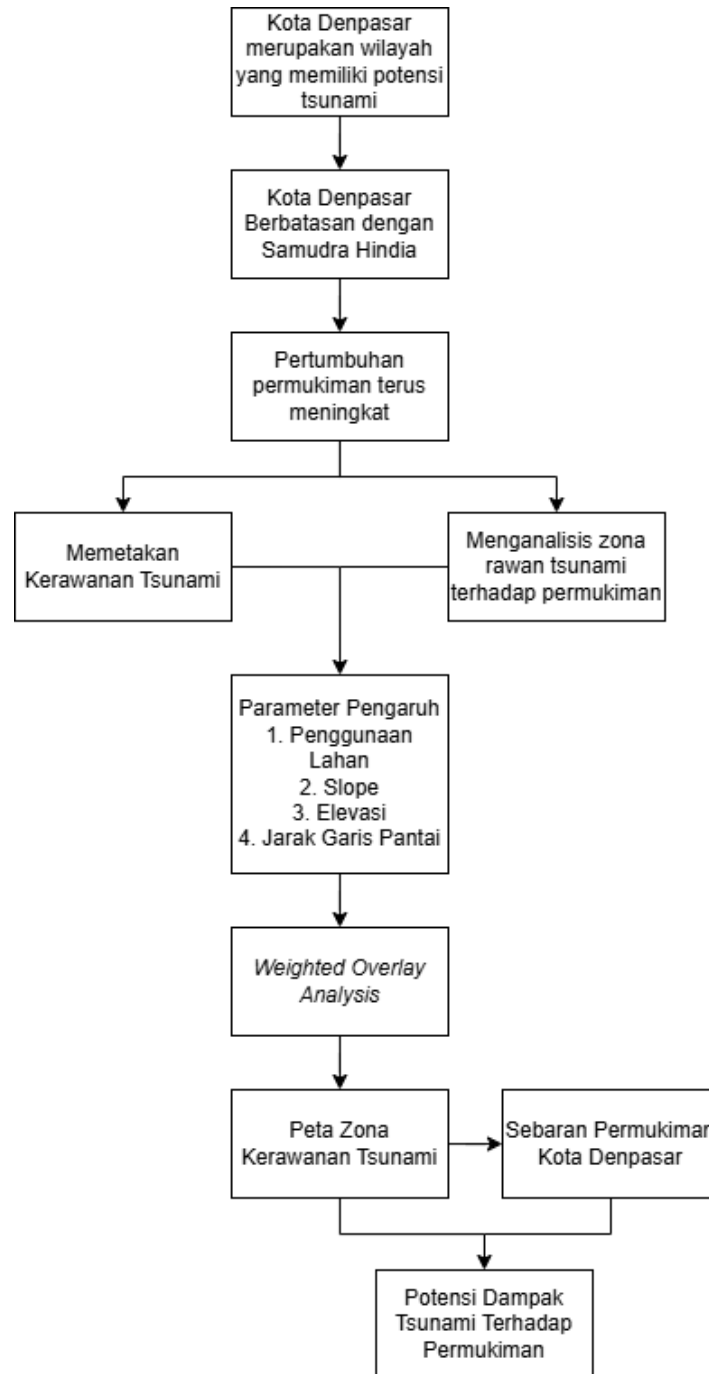
Parameter kemiringan lahan berperan penting dalam menentukan seberapa jauh gelombang tsunami dapat menjangkau daratan. Daerah dengan lereng landai memungkinkan energi gelombang untuk bergerak lebih jauh ke dalam wilayah darat, sehingga risiko genangan semakin besar. Sebaliknya, wilayah dengan lereng curam dapat sedikit mengurangi daya jangkau gelombang karena topografi yang menahan laju air.

Elevasi daratan menunjukkan ketinggian permukaan tanah terhadap permukaan laut. Wilayah dengan elevasi rendah sangat rentan terhadap terjangan tsunami karena berpotensi langsung tergenang, sedangkan daerah dengan elevasi lebih tinggi relatif lebih aman. Analisis elevasi membantu memetakan zona rawan yang perlu mendapatkan mitigasi bencana.

Jarak dari garis pantai merupakan indikator tingkat keterpaparan terhadap tsunami. Kawasan yang berada dekat dengan pantai memiliki risiko lebih tinggi karena berhadapan langsung dengan gelombang pertama tsunami yang biasanya memiliki energi paling besar. Semakin jauh jarak dari pantai, potensi dampak tsunami semakin berkurang, meskipun tetap dipengaruhi oleh kondisi elevasi dan kemiringan lahan.

Parameter tersebut kemudian diolah menggunakan SIG untuk menghasilkan peta kerawanan tsunami yang lebih akurat. SIG berperan dalam mengintegrasikan data spasial, serta memvisualisasikan tingkat kerawanan

wilayah berdasarkan kombinasi parameter yang ada. Adapun kerangkang penelitian berbentuk diagram sebagaimana di bawah ini:



Gambar 1.6.1 Kerangka Penelitian

1. 7 Batasan Operasional

Penelitian ini dilakukan pada analisis zona rawan tsunami di wilayah Kota Denpasar, Provinsi Bali, dengan memanfaatkan data sekunder yang diolah menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Digital Elevation Model* (DEM) yang berfungsi untuk merepresentasikan kondisi topografi wilayah penelitian. Analisis dilakukan untuk menghasilkan peta tingkat kerawanan tsunami berdasarkan parameter fisik wilayah..

- a. Kemiringan lereng merupakan tingkat kecuraman permukaan lahan yang diperoleh dari hasil pengolahan data DEM melalui analisis *slope* menggunakan software ArcGIS. Kemiringan lereng dinyatakan dalam satuan derajat dan digunakan untuk menggambarkan kemampuan suatu wilayah dalam menahan atau mempercepat perambatan gelombang tsunami.
- b. Elevasi daratan adalah ketinggian suatu lokasi terhadap permukaan laut yang diperoleh dari data DEM dan dinyatakan dalam satuan meter. Parameter ini digunakan untuk menunjukkan tingkat kerawanan wilayah terhadap genangan tsunami, di mana wilayah dengan elevasi rendah cenderung memiliki tingkat kerawanan yang lebih tinggi.
- c. Jarak dari garis pantai merupakan jarak horizontal suatu wilayah terhadap garis pantai yang dihitung menggunakan metode *Multiple Ring Buffer* pada SIG. Parameter ini digunakan untuk mengetahui pengaruh kedekatan wilayah dengan sumber bahaya tsunami terhadap potensi dampak yang ditimbulkan.
- d. Penggunaan lahan adalah jenis pemanfaatan lahan yang terdapat di wilayah penelitian, yang dianalisis berdasarkan data tutupan lahan terbaru yang diperoleh dari citra satelit dan/atau Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI). Parameter ini digunakan untuk mengetahui distribusi aktivitas manusia dan potensi keterpaparan wilayah terhadap bencana tsunami.

Kajian dalam penelitian ini dibatasi pada aspek fisik wilayah dalam menentukan tingkat kerawanan tsunami, tanpa menganalisis aspek sosial, ekonomi, maupun kapasitas masyarakat. Selain itu, penelitian ini tidak membahas skenario kejadian tsunami, tinggi gelombang, maupun waktu tiba gelombang, melainkan berfokus pada pemetaan tingkat kerawanan spasial berdasarkan parameter yang telah ditentukan.