

PEMODELAN BAHAYA TSUNAMI DAN EVALUASI STRATEGI EVAKUASI DI TANJUNG BENOA BALI UNTUK MENDUKUNG UPAYA *SAFE-TOURISM* BALI

TSUNAMI HAZARD MODELING AND EVALUATION OF EVACUATION STRATEGIES IN TANJUNG BENOA BALI TO SUPPORT SAFE-TOURISM BALI

Nuraini Rahma Hanifa^{1,5}, Nurul Sri Rahatiningtyas^{3,5}, Iman Fatchurochman⁴, Endra Gunawan², Dwi Hartanto⁴, Ida Bagus Oka Agastya⁵, I Nyoman Putera Indrawan³, Giovanni Cynthia Pradipta^{5,6}, Tomy Gunawan⁴, Yogha Mahardikha Putra⁴

¹Pusat Penelitian Geoteknologi, Organisasi Riset Ilmu Pengetahuan Kebumihan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Cisit, Sangkuriang Bandung, 40135

²Kelompok Keahlian Geofisika Global, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10, Bandung, 40132

³Departemen Geografi FMIPA Universitas Indonesia, Kampus Universitas Indonesia Depok Jawa Barat 16424

⁴Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar
Jl. Raya Tuban - Denpasar 80362

⁵U-INSPIRE Indonesia

⁶Institute for Risk and Disaster Reduction, University College London, Gower St, London WC1E 6BT

*E-mail: nura010@brin.go.id

Naskah masuk: 08 November 2021

Naskah diperbaiki: 07 Januari 2022

Naskah diterima: 04 Januari 2022

ABSTRAK

Salah satu upaya untuk mendorong Bali Kembali dalam era normal baru pasca pandemi Covid-19 yaitu menekan disrupsi dari bencana, diantaranya ancaman gempa dan tsunami. Penelitian ini bertujuan untuk memutakhirkan pemodelan bahaya tsunami, mengevaluasi tempat dan jalur evakuasi, menggali sejauh mana masyarakat dan wisatawan memahami informasi peringatan tsunami dari BMKG dan BNPB, dan perintah evakuasi dari BPBD. Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi sektor kesehatan, pariwisata, ekonomi dan sosial budaya secara langsung kepada masyarakat di Provinsi Bali. Penelitian ini meliputi delapan tahap yaitu, 1) identifikasi sumber dan bahaya gempa pemicu tsunami; 2) identifikasi parameter sumber gempa; 3) pemodelan tsunami; 4) survei lapangan; 5) analisis data eksposur; 6) *network analysis closest facility*, 7) *gap analysis*, dan 8) analisis pemahaman masyarakat terhadap tsunami dan evakuasi mandiri. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh area Tanjung Benoa memiliki potensi terdampak tsunami. Estimasi tinggi tsunami di sisi Timur berkisar 10-14 m, estimasi tinggi tsunami di sisi Barat berkisar 6-10 m dan estimasi waktu tiba tsunami berkisar 20-25 menit. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa perlu mempertimbangkan untuk amendemen Peraturan Gubernur, terkait estimasi waktu kedatangan tsunami, yang tertulis 30 menit. Saat ini terdapat 8 hotel terdistribusi di sepanjang pantai sisi timur sebagai tempat evakuasi, yang hanya dapat menampung setengah penduduk di luar jumlah wisatawan. Oleh karena itu, perlu adanya penambahan tempat evakuasi di wilayah Tanjung Benoa dengan tinggi minimal 20 meter. Mengingat peraturan batas tinggi bangunan di wilayah Bali, maka direkomendasikan adanya pengecualian untuk kasus ini, dan bisa dipertimbangkan adanya Pura di bagian atas dari tempat evakuasi.

Kata kunci: Tsunami, Tanjung Benoa, Jalur Evakuasi, Tempat Evakuasi

ABSTRACT

One of the efforts to encourage Bali to return to a new normal era after the Covid-19 pandemic is to suppress disruption from disasters, including the threat of earthquakes and tsunamis. This study aims to update tsunami hazard modeling, evaluate evacuation sites and routes, explore the extent to which people and tourists understand tsunami warning information from BMKG and BNPB, and evacuation orders from BPBD. Through this research, it is hoped that it can provide benefits for the health, tourism, economic and socio-cultural sectors directly to the people in Bali Province. This study includes eight stages, namely, 1) identification of the source and hazard of the earthquake triggering the tsunami; 2) identification of earthquake source parameters; 3) tsunami modeling; 4) field survey; 5) analysis of exposure data; 6) *network analysis closest facility*, 7) *Gap analysis*, and 8) analysis of community understanding of tsunami and self-evacuation. The results of this study indicate that the entire Tanjung Benoa area has the potential to be affected by a tsunami. The estimated tsunami height on the east side ranges from 10-14 m, the estimated tsunami height on the west side ranges from 6-10 m and the estimated tsunami arrival

time is around 20-25 minutes. The results of this study indicate that it is necessary to consider amending the Governor's Regulation, regarding the estimated time of tsunami arrival, which is written in 30 minutes. Currently there are 8 hotels distributed along the east coast as evacuation sites which could only accommodate half the population apart from the number of tourists. Thus, it is necessary to add evacuation sites in the Tanjung Benoa area, with a minimum height of 20 meters. Considering the building height limit regulations in the Bali region, it is recommended that an exception to this case be made, and it can be considered the existence of a temple at the top of the evacuation site.

Keywords: Tsunami, Tanjung Benoa Bali, Small Island, Evacuation Plan

1. Pendahuluan

Salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam melakukan upaya mendorong Bali Kembali dalam era normal baru yaitu menekan disrupsi dari bencana yang dapat terjadi di Bali, diantaranya dari ancaman gempa dan tsunami. Gempa dan tsunami dapat menimbulkan dampak yang katastrofik yang mengganggu lintas sektor kehidupan manusia, apalagi ditambah kondisi pandemi yang dapat memperburuk situasi [1].

Tanjung Benoa adalah sebuah Kelurahan di Kabupaten Badung yang dikenal sebagai pusat wisata bahari di Bali. Berdasarkan data BPS, Jumlah Kunjungan Wisatawan Mancanegara Menurut Pintu Masuk melalui Tanjung Benoa saja mencapai hampir 30.000 wisatawan. Kelurahan Tanjung Benoa terletak di sisi selatan Bali, dan memiliki pesisir di sebelah timur, utara dan barat, dengan luas 173,75 Hektar. Secara topografi wilayah ini merupakan dataran rendah, dengan lebar jarak dari pesisir barat ke timur sekitar 900 meter. Jumlah penduduk Kelurahan Tanjung Benoa (2019) sebanyak 5.602 jiwa terdiri dari 2.819 jiwa laki-laki dan 2.783 jiwa perempuan [2]. Kelurahan Tanjung Benoa telah melakukan upaya-upaya sebagai Desa Tangguh Bencana.

Pariwisata merupakan sektor utama di Tanjung Benoa, namun dengan kondisi pandemi sektor pariwisata sangat terdampak sehingga dibutuhkan kiat-kiat dan stimulan khusus guna membangkitkan sektor pariwisata kembali di Bali. Tidak menutup kemungkinan bahwa tren berpariwisata ke depan akan berubah dari konsep pariwisata massal ke *Quality tourism* yang mengedepankan aspek kualitas didalamnya. Geowisata sebagai bentuk *quality tourism* dapat dibangun sebagai upaya mengedukasi wisatawan maupun masyarakat yang tinggal di daerah berpotensi bencana [3]. Mengemas informasi mitigasi bencana ke dalam konsep wisata berbasis edukasi kebumih atau kebencanaan (geowisata) menjadi salah satu terobosan berwisata di era baru [4]. Tanjung Benoa dengan kekayaan wisata yang tinggi namun juga memiliki potensi bahaya tsunami. Nilai-nilai ini sangat menarik untuk dikembangkan dan diangkat menjadi konsep geowisata sebagai

solusi wisata edukatif dan inovasi dalam menciptakan kesiapsiagaan dan menuju bali dengan pariwisata berkualitas.

Provinsi Bali sendiri masih memiliki tren meningkat dalam hal kasus COVID-19. Data pada tanggal 26 Maret 2021 menunjukkan data pasien terkonfirmasi positif COVID-19 di Provinsi Bali sebanyak 39.057 Orang. Dalam Perawatan 1.653 (4,23%) kasus. Sembuh 36.298 (92,94 %) kasus. Sedangkan meninggal 1.106 (2,83%) kasus. Hal ini menjadi tantangan tersendiri dalam mengembalikan pariwisata Bali.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka penelitian ini akan mencoba menjawab pertanyaan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi sumber gempa yang dapat menimbulkan tsunami di Kelurahan Tanjung Benoa?
2. Bagaimana potensi bahaya tsunami di Kelurahan Tanjung Benoa?
3. Bagaimana kerentanan masyarakat dan wisatawan terhadap risiko tsunami?
4. Bagaimana distribusi spasial tempat evakuasi di Kelurahan Tanjung Benoa?
5. Bagaimana pengaruh potensi bahaya tsunami terhadap akses dan titik evakuasi di Kelurahan Tanjung Benoa?
6. Apakah jalur dan tempat evakuasi yang ada saat ini telah mencukupi untuk menyelamatkan jiwa penduduk dan wisatawan yang berada di Kelurahan Tanjung Benoa?
7. Dimana jalur evakuasi yang efektif dan tempat evakuasi yang sesuai di Kelurahan Tanjung Benoa?

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi terhadap potensi bahaya tsunami, tempat dan jalur evakuasi, dan juga menggali sejauh mana masyarakat dan wisatawan memahami informasi peringatan tsunami dari BMKG dan BNPB, serta perintah evakuasi dari BPBD. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada sektor pariwisata, ekonomi, kesehatan, dan sosial budaya secara langsung bagi masyarakat Provinsi Bali dalam rangka mendukung percepatan penanganan COVID-19 dan pemulihan ekonomi.

Urgensi penelitian ini adalah Kelurahan Tanjung Benoa merupakan wilayah dengan potensi wisata yang sangat tinggi. Namun disisi lain, wilayah ini sangat rawan bencana khususnya tsunami. Pandemi COVID-19 sangat dirasakan dampaknya di seluruh wilayah Provinsi Bali dengan berkurangnya jumlah wisatawan yang berkunjung dalam satu tahun terakhir. Terkait dengan hal tersebut, salah satu alternatif solusi yang dapat dilakukan adalah dengan *Quality Tourism*, yaitu wisata terbatas dengan tetap menerapkan protokol kesehatan dengan terus meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat dan wisatawan terhadap tsunami. Dengan *quality tourism* ini, diharapkan pariwisata di Kelurahan Tanjung Benoa dapat terus berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

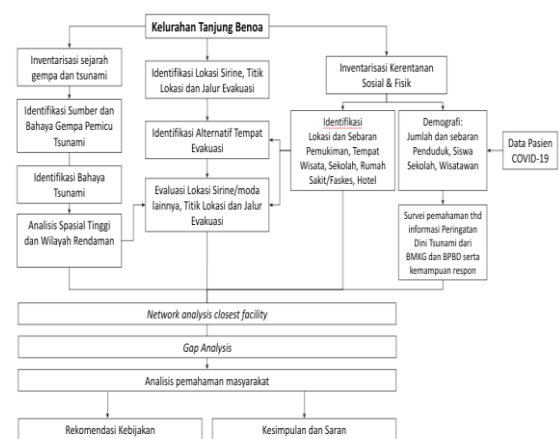
Secara umum, metode penelitian dilakukan melalui delapan tahapan. Tahapan tersebut adalah 1) identifikasi sumber dan bahaya gempa pemicu tsunami; 2) identifikasi parameter sumber gempa; 3) pemodelan tsunami; 4) survei lapangan untuk identifikasi dan *geotagging* lokasi sirene, tempat dan jalur evakuasi, serta alternatif tempat evakuasi; 5) analisis data eksposur yang diperoleh melalui survei dan *geotagging* lokasi dan sebaran pemukiman, tempat wisata, sekolah, rumah sakit dan fasilitas kesehatan, serta hotel; 6) *network analysis closest facility*, 7) *gap analysis*, dan 8) Analisis Pemahaman Masyarakat terhadap Tsunami dan Evakuasi Mandiri dilakukan terhadap beberapa *stakeholder* di Kelurahan Tanjung Benoa. Tahapan penelitian yang dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahap Pertama adalah inventarisasi sumber dan bahaya gempa. Sumber dan bahaya gempa diinventarisasi berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya yang telah dipublikasikan serta data sekunder yang tersedia untuk di wilayah Bali dan sekitarnya.

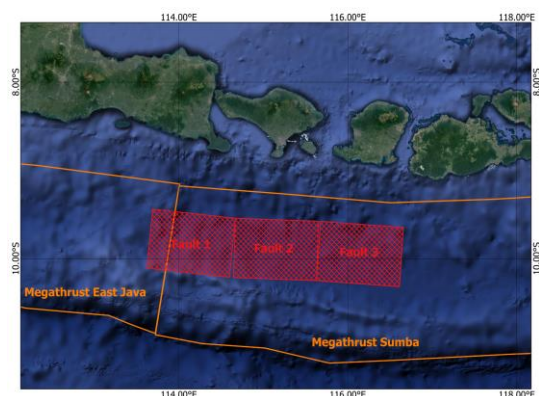
Tahap Kedua adalah identifikasi parameter sumber gempa. Parameter sumber gempa (Tabel 1) pembangkit tsunami diambil berdasarkan beberapa rujukan ilmiah yaitu:

- Magnitudo yang digunakan berdasarkan kajian dari PUSGEN [5] dimana untuk, *megathrust* Sumba diperkirakan potensi magnitudo maksimumnya yaitu M_w 8.5.
- Rigiditas yang digunakan dalam model yaitu 30 GPa untuk kedalaman sumber berkisar 30 km [6,7].
- Parameter kedalaman, *strike* dan *dip* sumber menggunakan model subduksi untuk segmen Sumatra-Jawa dari USGS [8].
- Data tutupan lahan yang digunakan yaitu data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2019.

Tahap Ketiga adalah melakukan pemodelan tsunami. Pemodelan tsunami yang dilakukan adalah dengan menggunakan perangkat lunak COMCOT (Cornell Multigrid Couple Tsunami [9]. COMCOT merupakan salah satu *numerical solver* untuk Persamaan Perairan Dangkal Non linier (*Non-linear Shallow Water Equations*). Untuk pemodelan tsunami dengan sumber *multifault* (Gambar 2) diperlukan parameter masukan berupa *epicenter*, *strike*, *dip*, *rake* dan kedalaman (Tabel 1). Selain itu diperlukan juga parameter panjang dan lebar patahan serta nilai dislokasi vertikal. Parameter panjang dan lebar patahan didapatkan dengan menggunakan persamaan Wells dan Coppersmith yang menunjukkan hubungan antara magnitudo dan panjang dan lebar patahan [10]. Sedangkan untuk mendapatkan nilai dislokasi vertikal menggunakan persamaan hubungan magnitudo dengan momen seismik [11].



Gambar 1. Metodologi penelitian



Gambar 2. Peta bidang sumber gempa di selatan Bali yang digunakan dalam pemodelan tsunami

Tabel 1. Parameter sumber gempa

Sumba Megathrust											
Subfault	Epicenter (deg)		Mag	Depth	Focal Mechanism			Dimension		Disloc.	Rigidity
	Lon	Lat			Mw	Strike	Dip	Rake	L (km)		
Fault 1	114.1438	-9.822	8.15	31	277	19.7	90	108	75	8.697	30
Fault 2	115.1421	-9.888	8.22	30	273	18.4	90	108	75	11.076	30
Fault 3	116.1404	-9.941	8.18	29.5	274	17.5	90	108	75	9.647	30

Tahap Keempat adalah melakukan survei lapangan untuk identifikasi dan *geotagging* lokasi sirene, tempat dan jalur evakuasi, serta alternatif tempat evakuasi, serta mengambil lama waktu yang diperlukan dari beberapa titik untuk mencapai tempat evakuasi. Survei dilakukan pada Bulan Agustus hingga September 2021. *Point of Interest* (PoI) dikumpulkan menggunakan *tools* Survey123 dari ESRI. Informasi yang dikumpulkan dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan informasi yang dikumpulkan terkait dengan tingkat Pemahaman Masyarakat terhadap Tsunami dapat dilihat pada Tabel 3.

Tahap Kelima adalah analisis data eksposur yang diperoleh melalui survei dan *geotagging* lokasi dan sebaran pemukiman, tempat wisata, sekolah, rumah sakit dan fasilitas kesehatan, serta hotel. Data demografi yang dikumpulkan yaitu jumlah dan sebaran penduduk, siswa sekolah, wisatawan serta data pasien Covid-19.

Tabel 2. *Point of Interest* (PoI) yang dikumpulkan

No	Jenis Informasi	Keterangan
1.	Jenis Objek	a. Rumah Tinggal b. Pasar Tradisional/Warung/Supermarket/Minimarket c. Sekolah d. Sarana Kesehatan e. Sarana Ibadah f. Kantor Pemerintahan g. Pom Bensin/Penjual Bensin Eceran h. Hotel/Losmen/ <i>Homestay</i> i. Warung Makan/Restoran j. Fasilitas EWS Tsunami
2.	Nama Objek	Nama Objek
3.	Tahun Berdiri	Atau memulai usaha
4.	Jumlah Orang pada Objek	Jumlah Penghuni/Kapasitas Pengunjung (termasuk pegawai)
5.	Luas Objek	Dalam satuan luas
6.	Jumlah Lantai	Jumlah lantai dalam bangunan
7.	Dokumentasi Objek	a. Foto Objek b. Lokasi Objek (dalam koordinat)

Tahap keenam yaitu melakukan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan metode *Network Analysis - Closest Facility* menggunakan software ArcGIS. *Network Analysis - Closest Facility* digunakan untuk menentukan rute terdekat dari suatu insiden ke lokasi fasilitas terdekat [12]. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi jarak rute terdekat serta estimasi waktu tiba, dari beberapa titik yang tersebar di seluruh Banjar di Tanjung Benoa ke tempat evakuasi. Banjar merupakan unit administrasi terkecil di Provinsi Bali di dalam Kelurahan atau Desa, setingkat dengan Rukun Warga.

Tabel 3. Informasi tingkat pemahaman masyarakat terhadap tsunami

No	Jenis Informasi	Keterangan
1.	Identitas Responden	Nama, Usia, Jenis Kelamin, Tempat Tinggal, Kondisi Pribadi (disabilitas/tidak),
2.	Jumlah Penduduk	Jumlah Penduduk/Petugas/Pengunjung/Wisatawan/Anggota Keluarga di tempat masing-masing (termasuk data usia, jenis kelamin, dan disabilitas)
3.	Pengetahuan Rawan Bencana	Rawan Tsunami
4.	Pengetahuan Potensi Bencana	Potensi Tsunami
5.	Keputusan melakukan Evakuasi	Waktu memutuskan untuk melakukan evakuasi
6.	Pelatihan Kesiapsiagaan Gempa dan Tsunami	Keikutsertaan dalam pelatihan kesiapsiagaan gempa dan tsunami
7.	Simulasi Evakuasi Gempa dan Tsunami	Keikutsertaan dalam simulasi evakuasi gempa dan tsunami
8.	Jalur Evakuasi	Jalur dan Tempat Evakuasi
9.	Perjalanan menuju Tempat Evakuasi	Tujuan, cara evakuasi, waktu tempuh menuju tempat evakuasi
10.	Dokumentasi	Foto Responden Lokasi Responden (dalam koordinat)

Tahap ketujuh yaitu melakukan *gap analysis* dalam melakukan evaluasi tempat dan jalur evakuasi, dengan memperhitungkan jumlah penduduk yang tersebar secara spasial di 6 Banjar di Tanjung Benoa dengan kapasitas tempat evakuasi yang tersedia, serta secara umum terhadap statistik jumlah wisatawan yang berkunjung ke Tanjung Benoa.

Tahap kedelapan analisis Pemahaman Masyarakat terhadap Tsunami dan Evakuasi Mandiri dilakukan terhadap beberapa *stakeholder* di Tanjung Benoa. Survei yang dilakukan terdiri dari dua jenis yaitu survei *Point of Interest* (PoI) yang meliputi titik-titik bangunan sekolah, puskesmas, hotel, fasilitas ekonomi, rambu-rambu evakuasi, dan sirene tsunami. Sedangkan survei lainnya terkait dengan pemahaman masyarakat terhadap Tsunami dan proses Evakuasi Mandiri.

3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Sumber dan Bahaya Gempa Pemicu Tsunami di Wilayah Bali. Di Pantai Selatan Pulau Bali, lempeng Australia menghunjam di bawah pulau Bali, dengan laju konvergensi sekitar 70 mm/tahun [5] yang menjadi rumah dari beberapa kejadian gempa yang memicu tsunami [13,14,15]. Wilayah Bali - Nusa Tenggara merupakan transisi antara kerak samudera Indo-Australia di bagian barat dan kerak kontinen Australia di bagian timur. Beberapa sumber gempa di wilayah Bali yang dapat memicu tsunami yaitu sesar naik di belakang busur kepulauan (sesar RMKS dengan M_{maks} 7.8) dan di depan busur kepulauan (Bali Thrust, dengan M_{maks} 7.4), sesar mendarat yang berarah utara-selatan hingga timur laut-barat daya (Sesar Lombok Tengah dan Lombok Utara, dengan M_{maks} 7.5), serta zona subduksi *megathrust* segmen Jawa Timur (dengan M_{maks} 8.7) dan segmen Bali-Sumba (dengan M_{maks} 8.5) [5,16].

Berdasarkan publikasi Kajian PuSGeN dan dokumen Kajian Risiko Kabupaten Badung, potensi bahaya gempa di Kelurahan Tanjung Benoa yaitu 0.2 - 0.3 g untuk probabilitas periode ulang 500 tahun, atau setara dengan gempa intensitas MMI VII. Dengan asumsi bangunan sudah mengimplementasikan kode bangunan tahan gempa, MMI VII artinya banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah, sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atas bergeser ke bawah atau jatuh, struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.

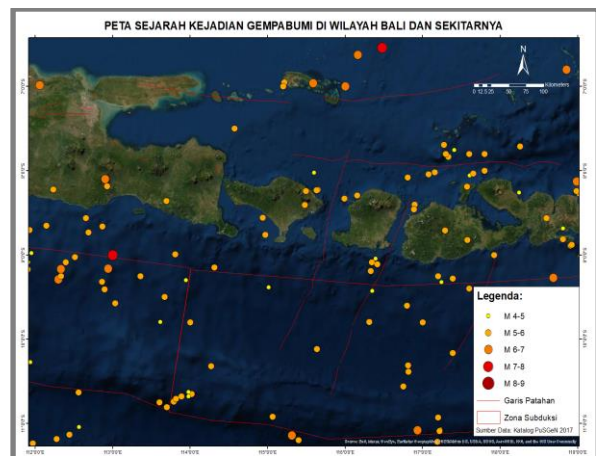
Sumber-sumber gempa di wilayah Bali seperti dilaporkan dalam katalog BMKG secara historis pernah beberapa kali memicu tsunami yang melanda Bali paling tidak sebanyak 8 kali pada rentang waktu tahun 1815 - 2020, yaitu diantaranya Tanggal 22 November 1815 (M7), Tanggal 8 November 1818 (M8.5), Tanggal 13 Mei 1857 (M7), Tanggal 20

Januari 1917, Tanggal 21 Januari 1917, Tanggal 19 Agustus 1977 (M7), Tanggal 13 Mei 1985, Tanggal 2 Juni 1994 (M7.8).

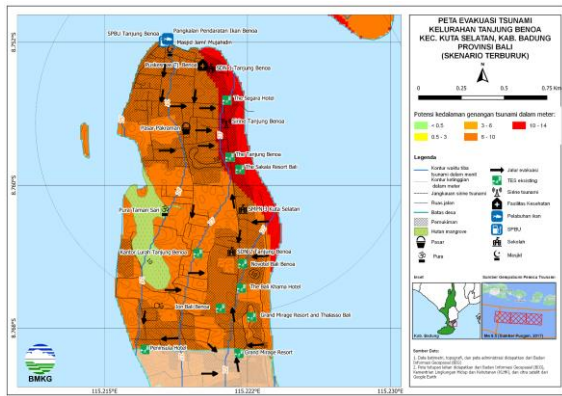
Gelombang tsunami pada tanggal 21 Januari 1917 dilaporkan dalam katalog BMKG mencapai pesisir Klungkung dan Benoa dari arah tenggara pantai serta menyebabkan kerusakan. Tsunami akibat Gempa Sumbawa tahun 1977 menimbulkan gelombang tsunami yang mencapai pesisir selatan pulau Sumba, Sumbawa, Lombok dan Bali Island [17]. Tsunami akibat Gempa Banyuwangi tahun 1994 dengan magnitudo M7.8 menyebabkan gelombang tsunami mencapai tinggi 5,7 - 13.9 m di pesisir selatan Banyuwangi, dan juga mencapai pesisir selatan Pulau Bali di beberapa wilayah, seperti di Kuta, Antap, Klating, Tanah Lot, Soka, Surabatan, Penggaragan, Pakutatan, Rambut Siwi dengan ketinggian 1 - 4,1 meter [18,19]. Sebaran kejadian gempa di Bali diperlihatkan pada Gambar 3.

Identifikasi Bahaya Tsunami. Dari hasil pemodelan bahaya tsunami, diperoleh potensi tsunami di wilayah Kelurahan Tanjung Benoa berdasarkan hasil penelitian ini yaitu:

- Seluruh Area Tanjung Benoa memiliki potensi terdampak tsunami.
- Estimasi Tinggi maksimum di sisi Utara - Timur: 10-14 meter.
- Estimasi Tinggi di sisi Barat dan Selatan : 6-10 meter.
- Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami: 20 -25 menit.
- Estimasi waktu untuk evakuasi: 15 menit.



Gambar 3. Sejarah kejadian gempa bumi di bali dan sekitarnya (Katalog BMKG, 2019 dan Katalog PuSGeN, 2017).



Gambar 4. Hasil pemodelan bahaya tsunami di Kelurahan Tanjung Benoa.

Hasil pemodelan bahaya tsunami diperlihatkan dalam Gambar 4. Hasil pemodelan dari penelitian ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya [20]. Namun demikian menghasilkan estimasi tinggi tsunami yang lebih besar dari dokumen resmi di Bali, serta waktu estimasi kedatangan tsunami yang lebih cepat (20 min) daripada yang tertuang di Peraturan Gubernur Bali Nomor 34 Tahun 2012 tentang Pedoman Pelaksanaan Sistem Peringatan Dini Tsunami yang menuliskan bahwa gelombang tsunami dapat mencapai pantai Bali antara 30-60 menit [21]. Perbedaan ini dikarenakan pengetahuan parameter sumber gempa yang meningkat pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017 [5], yang menghasilkan pemodelan tsunami yang lebih tinggi dengan estimasi waktu tempuh yang lebih cepat.

Peta bahaya tsunami yang tersedia di Kelurahan Tanjung Benoa sebelumnya yaitu diantaranya Peta Bahaya Tsunami tahun 2006 yang dikeluarkan oleh BAPPEDA Provinsi Bali bekerja sama dengan Universitas Udayana, Peta Bahaya Tsunami tahun 2008 yang dikeluarkan oleh PVMBG - Badan Geologi yang menyatakan bahaya tsunami tinggi (potensi tinggi tsunami lebih dari 3 meter). Namun peta bahaya tsunami yang dihasilkan pada Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Badung tahun 2014-2018 justru mengatakan kebalikannya, bahwa potensi bahaya tsunami di Kelurahan Tanjung Benoa rendah. Hal ini dapat menimbulkan *false sense of security* terhadap potensi bahaya tsunami yang sesungguhnya baik di Kel. Tanjung Benoa maupun di Kab. Badung, Bali. Sedangkan sumber informasi bahaya tsunami lainnya dari inarisk2.bnpb.go.id telah mengindikasikan bahaya tsunami lebih dari 3 meter di wilayah Tanjung Benoa Bali, namun tidak dapat diketahui berapa tinggi maksimum.

Investigasi Kerentanan Sosial dan Fisik: Identifikasi dan Sebaran Pemukiman, Tempat wisata, Sekolah, Rumah Sakit / Fasilitas Kesehatan, dan Hotel. Tanjung Benoa adalah sebuah Kelurahan di Kabupaten Badung yang dikenal sebagai pusat wisata bahari di Bali. Berdasarkan data

BPS, jumlah kunjungan wisatawan mancanegara yang masuk melalui Tanjung Benoa saja mencapai hampir 30.000 wisatawan. Kelurahan Tanjung Benoa terletak di sisi selatan Bali, dan memiliki pesisir di sebelah timur, utara dan barat, dengan luas 173,75 Hektar. Secara topografi wilayah ini merupakan dataran rendah, dengan lebar jarak dari pesisir barat ke timur sekitar 900 meter. Kelurahan Tanjung Benoa telah melakukan upaya-upaya sebagai Kelurahan Tangguh Bencana.

Jika dilihat dari sebaran bangunannya, Kelurahan Tanjung Benoa memiliki kepadatan bangunan yang tinggi di bagian utara dan timurnya (Gambar 5). Bangunan-bangunan tersebut meliputi pemukiman penduduk, fasilitas pendidikan, fasilitas ekonomi, fasilitas kesehatan, fasilitas ibadah, dan fasilitas pariwisata. Setidaknya ada tiga sekolah di Kelurahan Tanjung Benoa yang telah di survei terkait kesiapannya menjadi tempat evakuasi sementara, yaitu SD 1 Tanjung Benoa, SD 2 Tanjung Benoa, dan SMP 3 Kuta Selatan. Ketiga sekolah ini berada di bagian utara dan timur dari Kelurahan Tanjung Benoa. Tepat berada di jalur utama kelurahan ini. Ketiga sekolah tersebut dalam kondisi yang baik dan umumnya bangunan sekolah di kelurahan ini memiliki dua lantai. SD 2 Tanjung Benoa memiliki jumlah siswa dan guru sekitar 420 orang. Sedangkan SMP 3 Kuta Selatan memiliki jumlah siswa dan guru sekitar 257 orang. Di Kelurahan Tanjung Benoa sendiri terdapat satu fasilitas kesehatan yaitu Puskesmas Tanjung Benoa. Bangunan Puskesmas tersebut dalam kondisi baik, dan bangunannya terdiri dari dua lantai.

Hotel di Kelurahan Tanjung Benoa berjumlah 86 buah [2]. Masing-masing kelas dari hotel tersebut terdiri dari 3 hotel bintang dua dan bintang tiga, 7 hotel bintang empat, 8 hotel bintang lima, dan 65 hotel melati. Total kapasitas dari keseluruhan hotel tersebut adalah sekitar 5.000 jiwa. Berdasarkan rekomendasi dari BMKG Wilayah Bali dan BPBD Provinsi Bali, hanya beberapa hotel yang dapat menjadi tempat evakuasi tsunami dengan jumlah kapasitas sebesar 3.000 jiwa.



Gambar 5. Penggunaan lahan di Kelurahan Tanjung Benoa.

Demografi: Jumlah dan Sebaran Penduduk, Siswa Sekolah, Wisatawan. Kelurahan Tanjung Benoa memiliki enam Banjar, yaitu Banjar Purwa Shanti, Banjar Panca Bhineka, Banjar Kerta Pascima, Banjar Tengah, Banjar Anyar, dan Banjar Tengkulung. Jumlah Penduduk Kelurahan Tanjung Benoa sendiri berdasarkan data dari Kelurahan Tanjung Benoa pada Agustus 2019 adalah sebagai berikut:

1. Banjar Purwa Shanti 1.068 jiwa.
2. Banjar Panca Bhineka 854 jiwa.
3. Banjar Kerta Pascima 1.079 jiwa.
4. Banjar Tengah 1.063 jiwa.
5. Banjar Anyar 1.099 jiwa.
6. Banjar Tengkulung 591 jiwa.

Dengan demikian Kelurahan Tanjung Benoa memiliki total penduduk 5.684 jiwa. Berdasarkan Data dari BPS Kabupaten Badung tahun 2020, Kelurahan Tanjung Benoa memiliki 4 sekolah, masing-masing adalah Taman Kanak-Kanak (TK) berjumlah 1 sekolah, Sekolah Dasar (SD) berjumlah 2 sekolah dan Sekolah Menengah Pertama (SMP) sejumlah 1 sekolah. Jumlah murid di setiap sekolah di Kelurahan Tanjung Benoa masing-masing berjumlah 113 murid TK, 899 murid SD, dan 1.022 murid SD. Jumlah murid secara keseluruhan di Kelurahan Tanjung Benoa adalah sebanyak 2.034 murid. Wisatawan yang berkunjung ke Kelurahan Tanjung Benoa pada puncak kunjungan dapat mencapai 30.000 wisatawan.

Identifikasi Lokasi Sirene, Titik Tempatkan, dan Jalur Evakuasi. Di Bali bagian selatan, setidaknya terdapat delapan sirene yang dapat memberikan peringatan dini terhadap tsunami. Delapan sirene tersebut berada di Tanah Lot, Seminyak, Kuta, Kedonganan, BTDC Nusa Dua, Tanjung Benoa, Serangan, dan Sanur. Di lokasi penelitian terdapat salah satu sirene yang dapat memberikan peringatan dini terhadap tsunami kepada masyarakat. Sirene ini dinyalakan pada tanggal 26 setiap bulannya sebagai upaya untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap tsunami. Sekaligus sebagai sarana *monitoring* berfungsi atau tidaknya sirene tersebut.

Di Kelurahan Tanjung Benoa, terdapat satu buah sirene dengan lokasi di bagian timur laut dari Kelurahan Tanjung Benoa (Gambar 6). Sirene peringatan dini tsunami dapat didengar sekitar radius 1-2 km. Di Kelurahan Tanjung Benoa sendiri juga terdapat beberapa papan petunjuk arah jalur evakuasi, tempat berkumpul, dan peta jalur evakuasi.



Gambar 6. Sirene Tsunami di Kelurahan Tanjung Benoa.

Berdasarkan informasi yang diperoleh melalui BPBD Provinsi Bali dan BMKG Bali, diketahui bahwa di Kelurahan Tanjung Benoa terdapat sembilan hotel sebagai tempat evakuasi tsunami yang dicantumkan pada Prosedur Evakuasi Tsunami di Tanjung Benoa, yaitu:

1. The Segara Hotel dengan kapasitas 100 jiwa
2. Benoa Rose Residence dengan kapasitas 200 jiwa
3. Benoa Palm dengan kapasitas 50 jiwa
4. Ramada Hotel dengan kapasitas 1.500 jiwa
5. Rasa Sayang Penginapan dengan kapasitas 50 jiwa
6. The Bali Khama Hotel dengan kapasitas 200 jiwa
7. Puri Panca Setia dengan kapasitas 200 jiwa
8. Club Bali Mirage dengan kapasitas 700 jiwa
9. Grand Bali Mirage dengan kapasitas 200 jiwa

Dengan total kapasitas dari sembilan tempat evakuasi tersebut adalah 3.000 jiwa. BPBD Provinsi Bali dan BMKG Bali juga telah menentukan jalur evakuasi yang dapat digunakan masyarakat di Kelurahan Tanjung Benoa apabila tsunami terjadi di daerah ini. Kelurahan Tanjung Benoa juga telah memiliki MoU dengan 8 (delapan) hotel yang tersebar di kelurahan Tanjung Benoa dan Kelurahan Benoa terkait dengan Perjanjian Tempat Evakuasi Tsunami dan Shelter, yang ditandatangani oleh Pengelola Hotel dan Lurah Kelurahan Tanjung Benoa pada tanggal 26 Agustus 2017. Kedelapan hotel yang telah memiliki MoU yaitu Hotel Grand Mirage Resort, Hotel Ion Bali, Novotel, Paninsula By Resort, Hotel Sakala, Hotel Segara, Hotel The Bali Khama, dan Hotel The Tanjung Benoa.

Selain sirene, di beberapa lokasi juga telah dipasang papan-papan petunjuk jalur evakuasi yang dapat membantu masyarakat memahami jalur mana yang harus diambil untuk menuju tempat evakuasi sementara. Secara umum, jalur evakuasi yang digunakan adalah jalan utama yang membentang dari Kelurahan Tanjung Benoa di bagian utara menuju Kelurahan Benoa di bagian selatan. Di daerah ini hanya terdapat satu jalan utama yang cukup lebar.

Evaluasi Lokasi Sirene/Moda Lainnya, Titik Lokasi, dan Jalur Evakuasi. Sirene peringatan dini tsunami yang ada di daerah penelitian dapat didengar sekitar radius 1-2 km. Sirene ini sudah dapat menjangkau seluruh wilayah Kelurahan Tanjung Benoa. Di Kelurahan Tanjung Benoa sendiri terdapat satu buah sirene. Di Kelurahan Tanjung Benoa sendiri juga terdapat beberapa papan petunjuk arah jalur evakuasi, tempat berkumpul, dan peta jalur evakuasi. Jumlah Penduduk Kelurahan Tanjung Benoa sendiri berdasarkan data dari Kelurahan Tanjung Benoa pada Agustus 2019 adalah 5.684 jiwa. Apabila dibandingkan dengan sembilan alternatif tempat evakuasi, yang dapat menampung setidaknya 3.000 orang. Maka untuk dapat menampung seluruh penduduk Desa Tanjung Benoa, setidaknya diperlukan tambahan tempat evakuasi yang dapat menampung sekitar 2.684 jiwa lagi. Angka ini belum termasuk wisatawan, yang mana saat waktu puncak masa liburan, jumlah wisatawan yang berkunjung ke Kelurahan Tanjung Benoa dapat mencapai 30.000 wisatawan.

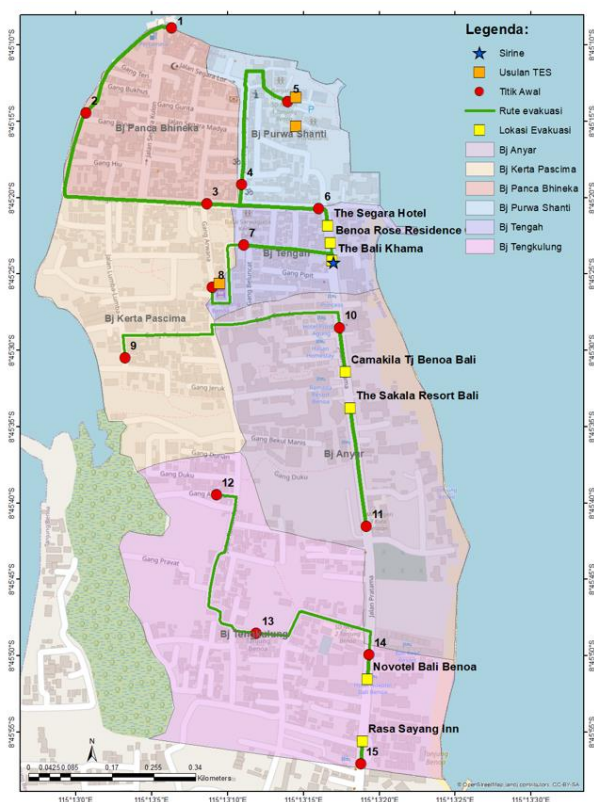
Untuk jalur evakuasi sendiri masih berfokus pada jalan utama yang ada di bagian timur Kelurahan Tanjung Benoa. Selain jalur ini merupakan jalur utama dengan jalan yang lebih lebar dibandingkan jalan yang lainnya, di jalur ini juga terdapat sembilan alternatif tempat evakuasi. Jalur evakuasi yang diusulkan dan dapat menjadi rekomendasi bagi Pemerintah Desa dalam melakukan evakuasi, dapat dilihat pada Gambar 7.

Network Analysis - Closest Facility. Evaluasi jalur dan lokasi evakuasi dengan metode *Network Analysis - Closest Facility* dilakukan di 15 titik yang tersebar di keenam banjar di Kelurahan Tanjung Benoa, yang digunakan sebagai titik awal. Pemilihan 15 titik awal dipilih berdasarkan perkiraan lokasi terdekat dan terjauh menuju lokasi evakuasi dari setiap banjar, serta berdasarkan luasan wilayah banjar, dengan rincian: 3 titik di Banjar Panca Bhineka, 2 titik di Banjar Purwa Shanti, 2 titik di Banjar Tengah, 2 titik di Banjar Kerta Pascima, 2 titik di Banjar Anyar, dan 4 titik di Banjar Tengkulung. Masing-masing titik akan menghasilkan rute/jalur evakuasi terdekat menuju 1 dari 7 lokasi evakuasi yang tersedia disertai dengan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk menuju lokasi evakuasi. Estimasi waktu tempuh yang diperlukan menuju suatu lokasi evakuasi menggunakan dua skenario kecepatan: (1) kecepatan saat berlari: 1.75 m/s, (2) kecepatan saat berjalan: 1.4 m/s. Nilai kecepatan diperoleh dari hasil survei lapangan penduduk lokal di wilayah Tanjung Benoa

Berdasarkan pengolahan data menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG), diperoleh hasil rute evakuasi terdekat seperti pada peta, seperti ditunjukkan seperti pada Gambar 7. Rincian estimasi jarak dan waktu tempuh yang dibutuhkan oleh

masing-masing titik awal menuju suatu lokasi evakuasi terdekat ditunjukkan pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil *network analysis closest facility*, estimasi jarak dari beberapa perwakilan titik awal ke lokasi evakuasi berkisar 45 – 990 meter. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk mencapai tempat evakuasi dengan kecepatan berlari maupun berjalan bervariasi dari 1 menit hingga 12 menit. Banjar Tengah memiliki 3 tempat evakuasi dengan jarak terjauh dari titik di batas Banjar Tengah 45 meter yang dapat ditempuh dalam 2 menit. Di sisi lain, Banjar Panca Bhineka yang tidak memiliki tempat evakuasi, perlu menempuh sekitar 1 Km ke tempat evakuasi terdekat dan memerlukan waktu 10-12 menit.



Gambar 7. *Network Analysis – Closest Facility* rute jalur evakuasi terdekat di Kelurahan Tanjung Benoa. Kotak kuning merupakan tempat evakuasi tsunami *eksisting*, sedangkan kotak oren merupakan usulan tempat evakuasi. Bintang menunjukkan lokasi sirene.

Tabel 4. Estimasi jarak dan waktu tempuh yang diperlukan menuju lokasi evakuasi terdekat

Banjar	titik	Tempat evakuasi	Esti- masi jarak (m)	Esti- masi waktu tempuh (kec jogging, 1.75 m/s)	Esti- masi waktu tempuh (kec berjalan 1.4 m/s)
Panca Bhineka	1	The Segara Hotel	990.9 meter	10 menit	12 menit
Panca Bhineka	2	The Segara Hotel	730.8 meter	7 menit	9 menit
Panca Bhineka	3	The Segara Hotel	271.9 meter	3 menit	3 menit
Purwa Shanti	4	The Segara Hotel	246.6 meter	2 menit	3 menit
Purwa Shanti	5	The Segara Hotel	598.3 meter	6 menit	7 menit
Tengah	6	The Segara Hotel	45.6 meter	<1 menit	<1 menit
Tengah	7	The Bali Khama	191.3 meter	2 menit	2 menit
Kerta Pascima	8	Benoa Rose Residence	412 meter	4 menit	5 menit
Kerta Pascima	9	Camakila Tj Benoa Bali	631 meter	6 menit	7 menit
Anyar	10	Camakila Tj Benoa Bali	89.8 meter	<1 menit	1 menit
Anyar	11	The Sakala Resort Bali	240.6 meter	2 menit	3 menit
Tengku- lung	12	Novotel Bali Benoa	794 meter	8 menit	9 menit
Tengku- lung	13	Novotel Bali Benoa	360 meter	3 menit	4 menit
Tengku- lung	14	Novotel Bali Benoa	49.3 meter	<1 menit	<1 menit
Tengku- lung	15	Rasa Sayang Inn	45.5 meter	<1 menit	<1 menit

Berdasarkan peta dan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat banjar yang belum memiliki lokasi evakuasi, sehingga harus menuju suatu lokasi evakuasi di banjar lain, yang tentu saja akan berpotensi terjadi penumpukan jumlah masyarakat di lokasi tersebut. Banjar yang belum memiliki lokasi evakuasi diantaranya adalah Banjar Panca Bhineka, Banjar Purwa Shanti, dan Banjar Kerta Pascima.

Tabel 5. Gap analisis tempat dan jalur evakuasi per Banjar

Banjar	Tempat Evakuasi	Kapasitas Tempat Evakuasi	Jumlah Penduduk	Estimasi Jarak	Estimasi Waktu tempuh	Gap Analysis
Panca Bhineka	The Segara Hotel	100 orang	854 jiwa	250 m - 1 km	3 - 12 menit	-Lokasi evakuasi diluar Banjar Panca Bhineka -Tempat evakuasi tidak mampu menampung seluruh penduduk & wisatawan
Purwa Shanti	The Segara Hotel	100 orang	1.068 jiwa dan siswa SD	50 - 600 m	2 - 7 menit	-Lokasi evakuasi diluar Banjar Panca Bhineka -Tempat evakuasi tidak mampu menampung seluruh penduduk & wisatawan
Tengah	1.The Segara Hotel 2.Bali Khama	100 orang + ... orang	1.063 jiwa	0 - 200 m	<5 menit	Tempat evakuasi tidak mampu menampung seluruh penduduk & wisatawan
Kerta Pascima	1.Benoa Rose Residence 2.Camakila Tj. Benoa Bali	200 orang	1.079 jiwa	400 - 700 m	4 - 7 menit	-Lokasi evakuasi diluar Banjar Panca Bhineka -Tempat evakuasi tidak mampu menampung seluruh penduduk & wisatawan
Anyar	1.Camakila Tj. Benoa Bali 2.The Sakala Resort Bali		1.099 jiwa	0 - 250 m	<5 menit	-Tempat evakuasi tidak mampu menampung seluruh penduduk & wisatawan
Tengkulung	1.Novotel Bali Benoa 2.Rasa Sayang Inn	50 orang	591 jiwa	0 - 800 m	1 - 9 menit	-Tempat evakuasi tidak mampu menampung seluruh penduduk & wisatawan

Ketiga banjar ini harus menuju ke lokasi evakuasi yang berada di luar banjar, sehingga akan memerlukan jarak yang lebih jauh dan waktu tempuh yang relatif lebih lama. Rekapitulasi dan gap *analysis* tempat dan jalur evakuasi per Banjar diperlihatkan pada Tabel 5.

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa lokasi evakuasi yang telah tersedia belum dapat menampung seluruh penduduk termasuk wisatawan saat evakuasi dilaksanakan. Maka diperlukan alternatif lokasi evakuasi baru yang dapat digunakan untuk menampung sisa penduduk yang belum dapat terpenuhi di lokasi evakuasi yang tersedia sebelumnya.

Jumlah penduduk Kelurahan Tanjung Benoa sendiri berdasarkan dari data dari Kelurahan Tanjung Benoa pada Agustus 2019 adalah 5.684 jiwa. Apabila dibandingkan dengan sembilan alternatif tempat evakuasi, yang dapat menampung setidaknya 3.000

orang. Maka untuk dapat menampung seluruh penduduk Desa Tanjung Benoa, setidaknya diperlukan tambahan tempat evakuasi yang dapat menampung sekitar 2.684 jiwa lagi. Angka ini belum termasuk wisatawan, yang mana saat waktu puncak masa liburan, jumlah wisatawan yang berkunjung ke Kelurahan Tanjung Benoa dapat mencapai 30.000 wisatawan.

Untuk jalur evakuasi sendiri masih berfokus pada jalan utama yang ada di bagian timur Kelurahan Tanjung Benoa. Selain jalur ini merupakan jalur utama dengan jalan yang lebih lebar dibandingkan jalan yang lainnya, di jalur ini juga terdapat sembilan alternatif tempat evakuasi.

Analisis Alternatif Lokasi Evakuasi. Setelah membandingkan antara jumlah penduduk dan wisatawan yang berkunjung ke Kelurahan Tanjung Benoa dengan kapasitas tempat evakuasi yang sudah ada saat ini. Maka masih perlu ditambahkan tempat evakuasi yang lain untuk menampung sekitar 2.684 jiwa penduduk (angka ini belum ditambahkan dengan jumlah wisatawan). Salah satu alternatifnya adalah dengan membangun tempat evakuasi yang baru dengan kriteria lokasi berada di luar wilayah rendaman tsunami dan mudah dijangkau penduduk di Kelurahan Tanjung Benoa dengan berjalan kaki maksimal 15 menit.

Usulan penambahan evakuasi vertikal dilakukan berdasarkan hasil Analisis spasial, gap analisis, diskusi dan survei tim peneliti dengan Bendesa Tanjung Benoa dan perwakilan tim PRB Tanjung Benoa. Kriteria pengusulan yaitu pada tanah desa adat ataupun tanah pemerintah, serta dapat digunakan secara multifungsi sehingga memiliki fungsi keseharian. Terdapat 3 alternatif yaitu pada tanah bangunan Balai Banjar di Banjar Tengah dan Banjar Purwa Shanti, serta di Pasar Pakraman Tanjung Benoa di Banjar Purwa Shanti (kotak oren di Gambar 7). Balai Banjar Banjar Tengah dan Banjar Purwa masing-masing memiliki luas area 10 are (10 are = 0.1 hektar) dan berada di dekat pesisir utara. Lokasi Pasar Pakraman mendekati daerah yang menjadi target untuk pembangunan *shalter* yang berada di tengah-tengah dari ujung daerah Tanjung Benoa. Balai Banjar serta Pasar dapat dilakukan renovasi sehingga memiliki fungsi keseharian sekaligus dapat digunakan sebagai tempat evakuasi vertikal. Usulan ini tentunya memerlukan proses investigasi dan diskusi lebih lanjut, termasuk alternatif bentuk dan model bangunan yang sesuai untuk konteks Tanjung Benoa.

Tingkat Pemahaman terhadap Informasi Peringatan Dini Tsunami dari BMKG dan BPBD serta Kemampuan Respons Masyarakat. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh penelitian ini di tahun 2021, didapatkan setidaknya

sebesar 86,67% dari responden menyatakan mereka tahu bahwa daerah tempat tinggalnya rawan terhadap tsunami. Hal ini mengindikasikan kondisi yang baik. Informasi mengenai potensi tsunami, umumnya diperoleh melalui pelatihan, pemerintah (khususnya pemerintah Kelurahan/Banjar/Desa/Dusun), BMKG, dan media internet.

Sebagian besar responden (61,54%) menyatakan bahwa akan melakukan evakuasi mandiri setelah merasakan gempa dan tanda tsunami lainnya. Sedangkan 23,08% responden lainnya menyatakan akan melakukan evakuasi mandiri setelah mendapatkan peringatan tsunami dan 15,38% responden menyatakan bahwa tidak tahu kapan waktu melakukan evakuasi mandiri. Hal ini mengindikasikan hal yang baik. Namun masih ada responden yang belum paham kapan perlu melakukan evakuasi. Hal ini mengindikasikan masih perlu adanya kegiatan penguatan kapasitas.

Apabila kita lihat mengenai keikutsertaan terhadap simulasi evakuasi gempa dan tsunami, maka setidaknya 53,85% responden menyatakan tidak pernah mengikuti simulasi evakuasi; 30,77% responden menyatakan setiap tahun mengikuti simulasi evakuasi; sedangkan 15,38% responden mengatakan bahwa pernah mengikuti simulasi evakuasi setidaknya satu kali. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa di Kelurahan Tanjung Benoa masih diperlukan pelaksanaan simulasi evakuasi secara rutin dan perlu dipastikan simulasi diikuti oleh seluruh masyarakat di Kelurahan Tanjung Benoa.

Pengetahuan mengenai jalur dan letak tempat evakuasi dapat dilihat bahwa sebanyak 76,82% responden menyatakan mengetahui jalur dan letak tempat evakuasi. Sedangkan 23,08% responden menyatakan tidak tahu jalur dan letak tempat evakuasi yang harus digunakan pada saat tsunami terjadi. Hal ini mengindikasikan hal yang baik. Namun masih perlu ditingkatkan lagi pengetahuan mengenai jalur dan letak tempat evakuasi yang akan digunakan pada saat tsunami terjadi.

Cara evakuasi yang dipilih responden umumnya adalah dengan berlari (61,54% responden), menggunakan sepeda motor (30,77% responden) dan dengan berjalan kaki (7,69% responden). Dari data tersebut dapat dilihat bahwa apabila menggunakan kendaraan (sepeda motor dan mobil) saat melakukan evakuasi, perlu juga dilihat kapasitas jalan yang ada di Kelurahan Tanjung Benoa. Sehingga dapat disimulasikan apakah akan menimbulkan kemacetan atau tidak saat evakuasi sedang berlangsung.

Waktu tempuh untuk mencapai tempat evakuasi setidaknya dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu paling lama 5 menit (53,85% responden), paling lama 10 menit (23,06% responden), paling lama 20

menit (15,38% responden), dan paling lama 30 menit (7,69% responden). Dengan Estimasi waktu untuk evakuasi 15 menit maka masih perlu didesain tempat evakuasi yang lebih dekat dengan posisi/distribusi tempat berkumpulnya masyarakat. Sehingga target waktu tempuh menuju tempat evakuasi maksimal 15 menit dapat tercapai [15].

Secara umum pemahaman terhadap Informasi Peringatan Dini Tsunami dari BMKG dan BPBD serta Kemampuan Respons Masyarakat di Kelurahan Tanjung Benoa sudah cukup baik. Namun hal ini perlu terus dijaga dan ditingkatkan melalui simulasi dan *sharing* pengetahuan mengenai bahaya tsunami dan kegiatan evakuasi sehingga masyarakat dapat melakukan evakuasi mandiri dengan baik.

SOP penyampaian informasi Peringatan Dini Tsunami/Arahan evakuasi dari BMKG/BPBD kepada masyarakat dan wisatawan. Berdasarkan FGD yang dilakukan pada tanggal 10 September 2021 bersama perwakilan *stakeholder* dari Kelurahan Tanjung Benoa dan seluruh Banjar di Tanjung Benoa dan utara Benoa, penyampaian informasi saat ini memanfaatkan info BMKG dan BPBD melalui media sosial terutama *whatsapp* dan sms baik untuk menerima informasi maupun mendesiminasikan informasi ke masyarakat.

Sebelum meneruskan informasi, akan dilakukan konfirmasi ke pihak BPBD/BMKG untuk menghindari informasi *hoax*. Jika akan terjadi tsunami akan diinformasikan supaya segera mengambil langkah evakuasi menuju tempat evakuasi terdekat. Tim lurah juga akan menginformasikan melalui grup *whatsapp*/sms saat tanggap darurat tsunami melalui *whatsapp* grup. Tempat Evakuasi yaitu tempat yang sudah ditentukan, baik yang sudah memiliki MoU atau bangunan lain yang bisa menampung masyarakat saat bencana dengan aman. Para siswa sudah diajarkan untuk melindungi kepala terlebih dahulu, berlindung di bawah meja, kemudian setelah gempa berakhir, berkumpul ke tempat evakuasi. Jangan evakuasi saat gempa masih berlangsung. Setelah tiba di tempat evakuasi sambil menunggu informasi lanjut. Fokus mendengar kalau sirene dibunyikan. Peringatan dini melalui sirene BPBD Provinsi Bali atau menerima informasi melalui aplikasi BMKG wilayah 3 Denpasar. Informasi yang diterima oleh ketua Forum Pengurangan Risiko Bencana (FPRB) kemudian diteruskan ke tim FPRB dan dilanjutkan ke desa adat dan seluruh masyarakat. Evakuasi ke hotel sesuai MoU. Informasi edukasi dan simulasi masih sangat kurang, maka perlu simulasi tentang tindak lanjut menangani/mengantisipasi tsunami. Saat gempa lombo, masyarakat panik sehingga tidak evakuasi ke tempat yang sudah disediakan.

Tantangan, kendala, dan keberhasilan yang telah dicapai dalam pelaksanaan kesiapsiagaan masyarakat terhadap tsunami. Hingga saat ini masih terdapat beberapa tantangan terkait kesiapsiagaan masyarakat terhadap tsunami, yakni alat komunikasi yang mungkin akan sangat terganggu pada saat terjadi tsunami. Jalur evakuasi akan sangat penuh, dikarenakan di Kelurahan Tanjung Benoa hanya terdapat satu jalan utama. Alat evakuasi untuk masyarakat rentan (lansia, disabilitas, anak-anak) dan alat pelindung diri juga masih minim ketersediaannya.

Kendala yang dialami dalam kesiapsiagaan masyarakat terhadap tsunami adalah pengetahuan masyarakat yang minim terhadap kesiapsiagaan bencana tersebut. Informasi dan simulasi mengenai tanggap bencana tsunami juga masih minim dilakukan. Hal tersebut juga dipengaruhi oleh kondisi infrastruktur yang kurang memadai untuk pelaksanaan kesiapsiagaan masyarakat tersebut. Oleh karena itu, diperlukan koordinasi kepada BPBD dan Dinas PU Kabupaten Badung untuk mempersiapkan infrastruktur tersebut. Selain infrastruktur, jalur evakuasi juga belum tersedia dan tahapan/Langkah untuk evakuasi belum disiapkan. Pengetahuan masyarakat terhadap kesiapsiagaan tsunami masih minim. Hal tersebut dipengaruhi oleh tingkat pendidikan masyarakat berbeda sehingga kesadaran masyarakat terkait kesiapsiagaan tsunami kurang, oleh karena itu harus diadakan pelatihan dan simulasi kepada masyarakat agar masyarakat sudah mengetahui dan terbiasa apabila bencana terjadi. Selain tantangan, terdapat keberhasilan yang sudah dicapai.

Keberhasilan yang telah dicapai hingga saat ini yakni sudah terdapat sekolah aman bencana. Sekolah tersebut juga sudah bekerja menjadi Tempat Evakuasi Sementara (TES) dan beberapa hotel di Tanjung Benoa juga sudah bersedia menjadi TES.

Evaluasi dari sektor pariwisata. Sejauh ini belum ada *platform* yang menyediakan informasi wisata dan potensi kebencanaan dengan baik dan edukasi kebencanaan selalu menjadi hal yang susah untuk diterapkan. Melalui geowisata harapannya kita dapat menggali informasi baik dari segi wisatanya maupun dari segi bencananya. Sehingga tercipta suasana aman dan nyaman dalam berwisata. Semenjak pandemi Covid-19 wisatawan sangat menyadari dengan keselamatan dalam berwisata. Ini akan menjadi tren berwisata dimana keamanan dan kenyamanan menjadi hal penting setelah objek wisatanya sendiri.

Sebagai objek tujuan wisata Tanjung Benoa memiliki kekayaan bahari dan kegiatan *watersport* yang luar biasa, tantangannya adalah memberi rasa aman kepada wisatawan. Maka informasi yang didapat haruslah mudah di akses dan memberikan informasi

yang baik bagi wisatawan. Melalui geowisata kita coba menggabungkan potensi wisata dengan informasi bahaya tsunami dan gempa di Tanjung Benoa. Melalui *platform* IKETAN (Inovasi Komunikasi Efektif evakuasi untuk kesiapsiagaan masyarakat dan wisatawan terhadap Tsunami di kawasan pariwisata kelurahan TANjung Benoa, Bali) dan sosialisasi bencana harapannya dapat menumbuhkan informasi dan kesadaran dari masyarakat dan wisatawan terhadap potensi bencana gempa dan tsunami. Informasi menjadi media utama edukasi kebencanaan dan informasi bencana dan potensi wisata dapat dikawinkan menjadi informasi di dalam *platform* IKETAN. Pengembangan *platform* IKETAN akan diceritakan pada publikasi selanjutnya.

Rencana ke depan di Kelurahan Tanjung Benoa terkait dengan penyampaian informasi dan kesiapsiagaan evakuasi tsunami. Beberapa rencana ke depan berdasarkan hasil FGD pada tanggal 10 September 2021 mencakup beberapa hal utama yaitu:

- a) Penajakan penambahan infrastruktur tempat evakuasi vertikal, mengingat jumlah yang ada saat ini belum mencukupi untuk dapat menampung seluruh masyarakat di Tanjung Benoa, ditambah wisatawan. Wilayah Kelurahan Tanjung Benoa terimpit laut di sisi utara barat timur selatan. Saat ini tidak adanya bangunan tinggi, sedangkan wilayah Kelurahan Tanjung Benoa juga relatif datar dan tidak memiliki bukit yang tinggi.
- b) Penambahan sirene atau moda komunikasi tradisional misalnya dengan penggunaan kentongan, sehingga jangkauan dapat lebih luas. Selain itu perlu diperhatikan juga jika pada saat bising/kondisi ramai agar suara sirene atau kentongan dapat terdengar jelas.
- c) Kontinuitas pelaksanaan edukasi dan simulasi secara berkelanjutan di seluruh lapisan masyarakat, supaya terbiasa tentang bagaimana kesiapsiagaan masyarakat
- d) Meneruskan kerja sama dengan pihak hotel di pantai Barat, serta Menyusun MoU dengan hotel yang belum memiliki MoU.

4. Kesimpulan

Wilayah Tanjung Benoa dapat terdampak tsunami khususnya dari sumber gempa *megathrust* di Selatan Jawa yang dapat mencapai setidaknya magnitudo 8.7. Dari hasil pemodelan tsunami penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh wilayah Kelurahan Tanjung Benoa memiliki potensi terdampak tsunami, dengan estimasi tinggi maksimum di sisi Timur dapat mencapai 10-14 m sedangkan estimasi tinggi tsunami di sisi Barat dapat mencapai 6-10 m. Estimasi waktu kedatangan tsunami yaitu 20-25 menit. Hasil pemodelan ini mengindikasikan perlunya mempertimbangkan mengamendemen Peraturan

Gubernur, terkait estimasi waktu kedatangan tsunami, yang tertulis 30 menit pada Peraturan Gubernur, perlu disesuaikan dengan hasil riset terkini. Dari hasil survei pemahaman masyarakat, diketahui bahwa edukasi dan sosialisasi banyak berpusat di sekolah-sekolah dan kepada tokoh masyarakat. Perlu adanya penambahan kapasitas pengetahuan dan latihan evakuasi bagi masyarakat, serta kontinuitasnya dan juga perlu dipastikan bahwa pengetahuan tersebut dapat disampaikan kepada seluruh penduduk dan wisatawan di Kelurahan Tanjung Benoa. Wilayah Kelurahan Tanjung Benoa merupakan area dengan topografi yang relatif datar, sehingga tempat evakuasi perlu memanfaatkan hotel-hotel yang cukup tinggi. Tanjung Benoa telah berkerjasama dengan delapan hotel yang terdistribusi di sepanjang pantai Timur untuk tempat evakuasi. Namun demikian jumlah kapasitas tempat evakuasi yang tersedia hanya dapat menampung setengah penduduk Kelurahan Tanjung Benoa, di luar jumlah wisatawan. Untuk itu perlu adanya penambahan tempat evakuasi vertikal di wilayah Kelurahan Tanjung Benoa, dengan tinggi minimal 20 meter. Mengingat peraturan batas tinggi bangunan di wilayah Bali, maka direkomendasikan adanya pengecualian untuk kasus ini, dan bisa dipertimbangkan adanya Pura di bagian atas dari tempat evakuasi vertikal. Tempat Evakuasi Vertikal ini dalam memiliki fungsi harian sebagai Pura, di sisi atas dan Tempat wisata, yang dapat melihat pemandangan Tanjung Benoa dan Bali dari atas. Selain itu hutan bakau yang telah ada perlu untuk dipelihara dan menambahkan bentuk pelindung pantai lainnya.

Saran dan Rekomendasi

- a) Perlunya mengamendemen Peraturan Gubernur, terkait estimasi waktu kedatangan tsunami, yang tertulis 30 menit pada Peraturan Gubernur, perlu disesuaikan dengan hasil riset terkini menjadi 20 menit.
- b) Perlunya pemutakhiran Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Badung untuk aspek kajian bahaya, kerentanan dan kapasitas terhadap ancaman tsunami, dari bahaya rendah ke bahaya tinggi mengingat potensi tinggi tsunami lebih dari 3 meter.
- c) Perlunya penambahan tempat evakuasi vertikal di wilayah Tanjung Benoa, mengingat area Tanjung Benoa yang relatif datar, dengan tinggi minimal 20 meter. Alternatif tempat evakuasi pada tanah milik desa adat atau tanah pemerintah dapat mempertimbangkan revitalisasi Balai Balai Banjar di Banjar Tengah dan Banjar Purwa Shanti, serta di Pasar Pakraman Tanjung Benoa di Banjar Purwa Shanti. Mengingat peraturan batas tinggi bangunan di wilayah Bali, maka direkomendasikan adanya pengecualian untuk kasus ini, dan bisa dipertimbangkan adanya Pura

di bagian atas dari tempat evakuasi vertikal. Tempat evakuasi vertikal ini dalam memiliki fungsi harian sebagai Pura, di sisi atas tempat wisata, yang dapat melihat pemandangan Tanjung Benoa dan Bali dari atas.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan Kemenristek BRIN dan BNPB selaku penyandang dana, para mitra lokal yaitu Kepala BMKG Bali, Kalaksa BPBD Prov. Bali, Kalaksa BPBD Tanjung Benoa, Pak Adhi, Pak Netra, Pak Komang, serta para kontributor dalam FGD yaitu Camat Kuta Selatan, Lurah Kelurahan Tanjung Benoa, Lurah Kelurahan Benoa, Bendesa desa adat Tanjung Benoa, Bendesa adat Tengkulung, Bendesa adat Bualu, Kaling Terora, Kaling Celuk, Kaling Tengkulung, Kaling Anyar, Kaling Kerta Pascima, Kaling Panca Bhineka, Kaling Tengah, Kaling Purwa Kanti, Kepala Puskesmas Tanjung Benoa, Kepala Sekolah SD 1 Tanjung Benoa, Kepala Sekolah SD 2 Tanjung Benoa, Kepala Sekolah SMP 3 Tanjung Benoa, Kepala Sekolah SD 6 Benoa, Ketua LPM Kel. Tanjung Benoa, Ketua LPM Kelurahan Benoa, Ketua Karang Taruna Kelurahan Tanjung Benoa, Ketua FPRB Kelurahan Tanjung Benoa, Ketua Paikatan Krama Istri Tanjung Benoa, dan IAGI Bali.

Daftar Pustaka

- [1] H. Ikhsanti, R. Saraswati, and N.S. Rahatiningtyas, "Modelling Tsunami Level of Hazard in PARIAMAN Coastal Area, West Sumatera," *Proceeding of The 5th International Conference of Energy, Environmental and Information System (ICENIS)*, pp. 1-9, 2020.
- [2] BPS Kabupaten Badung, *Kabupaten Badung Dalam Angka 2020*. Badung: Badan Pusat Statistik Kabupaten Badung, 2020.
- [3] H. Hermawan and E. Brahmanto, "Geowisata Perencanaan Pariwisata Berbasis Konservasi," *NEM*, 2017.
- [4] N. Hidayat, "Analisis Pengelolaan Kawasan Eksokarst Gunungkidul sebagai Kawasan Geowisata," Tesis, Sekolah Pascasarjana: Institut Pertanian Bogor, 2002.
- [5] PuSGeN. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017*. Jakarta: Balitbang Kementerian PUPR, 2017, ISBN 978-602-5489-01-3.
- [6] S. Bilek, and T. Lay, "Rigidity variations with depth along interplate megathrust faults in subduction zones." *Nature*, Vol. 400. Pp.443-446, 1999.
- [7] Y. Tanioka, G. Arguello, A. Gusman, Y. Fujii, "Method to Determine Appropriate Source Models of Large Earthquakes Including Tsunami Earthquakes for Tsunami Early Warning in Central America," *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 174, 2017.
- [8] G. Hayes, "Slab2 - A Comprehensive Subduction Zone Geometry Model," *U.S. Geological Survey data release*, <https://doi.org/10.5066/F7PV6JNV>, 2018.
- [9] W. Wang, and W. L. Power, "COMCOT : a tsunami generation propagation and run-up model," *Lower Hutt, New Zealand: GNS Science*, 2011, ISBN : 9780478198676.
- [10] D. Wells, and K. Coppersmith, "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement." *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, pp. 974-1002, 1994.
- [11] T.C. Hanks, and H. Kanamori, "A Moment Magnitude Scale." *Journal of Geophysical Research, B*, Vol.84 (B5). pp. 2348-2350, 1979.
- [12] Esri. 2020. "Closest Facility Analysis". <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/closest-facility.htm> (diakses 19 Oktober 2021)
- [13] N.R. Hanifa, I. Meilano, T. Sagiya, F. Kimata, and H.Z. Abidin. "Numerical modeling of the 2006 Java tsunami earthquake". *In Advances in Geosciences*, Vol. 13: Solid Earth (SE), pp. 231-248, 2009.
- [14] E. Gunawan, L. Meilano, H.Z. Abidin, and N.R. Hanifa. (2016), "Investigation of the best coseismic fault model of the 2006 Java tsunami earthquake based on mechanisms of postseismic deformation," *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 117, pp. 64-72, 2016.
- [15] E. Gunawan, L. Meilano, N.R. Hanifa, and S. Widiyantoro. "Effect of coseismic and postseismic deformation on homogeneous and layered half-space and spherical analysis: Model simulation of the 2006 Java, Indonesia, tsunami earthquake". *Journal of Applied Geodesy*, Vol. 11(4), pp. 207-214, 2017.
- [16] M. Irsyam, P.R. Cummins, M. Asrurifak, L. Faizal, D.H. Natawidjaja, S. Widiyantoro, .. , N.R. Hanifa, and A.J. Syahbana. "Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia". *Earthquake Spectra*, Vol 36, pp. 112-136. 2020
- [17] K. Kato and Y. Tsuji. "Tsunami of the Sumba earthquake of August 19, 1977". *Journal of natural disaster science*, vol 17(2), pp. 87-100, 1995.
- [18] Y. Tsuji, F. Imamura, H. Matsutomi, C.E. Synolakis, P.T. Nanang, S. Harada, ... and B. Cook, "Field survey of the East Java earthquake and tsunami of June 3, 1994," *In Tsunamis: 1992-1994*, pp. 839-854. Basel: Birkhäuser. 1995.
- [19] BMKG, "Katalog Tsunami Indonesia tahun 4016-2018 per wilayah." *Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika*, 2019.

- [20] S. Hall, C. Emmett, A. Cope, R. Harris., G.D. Setiadi, W. Meservy, and B. Berrett, "Tsunami knowledge, information sources, and evacuation intentions among tourists in Bali, Indonesia," *Journal of Coastal Conservation*, vol 23(3), pp. 505-519, 2019.
- [21] Pemerintah Provinsi Bali, "Peraturan Gubernur Bali Nomor 34 Tahun 2012 tentang Pedoman Pelaksanaan Sistem Peringatan Dini Tsunami," *Denpasar: Pemerintah Provinsi Bali*, 2012.