



GO-26

ANALISIS BAHAYA GEMPA DAN TSUNAMI PADA AREA RENCANA PEMBANGUNAN PUSAT KEBUDAYAAN BALI DI KABUPATEN KLUNGKUNG

Sutarja I.N.¹, Ardana M.D.W.¹, Kardita, P.C.P.K.¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran
e-mail: nsutarja@unud.ac.id

ABSTRAK

Pemerintah Provinsi Bali merencanakan Pembangunan Pusat Kebudayaan Bali sebagai Pusat Informasi Kebudayaan secara menyeluruh untuk mendukung pengembangan Pariwisata Bali yang berorientasi pada Budaya. Pusat Kebudayaan Bali akan di bangun pada Kawasan Bekas Galian C di Kabupaten Klungkung yang berada pada koordinat 8°32'41.35" - 8°34'30.94" LS dan 115°24'54.92" - 115°26'6.99" BT. Analisis bahaya, khususnya gempa bumi dan tsunami menjadi sangat penting karena mempunyai indeks risiko sangat tinggi dan sebagai dasar perancangan infrastruktur yang berorientasi pada keselamatan manusia dan lingkungannya. Analisis bahaya gempa bumi dilakukan dengan menganalisis sejarah kegempaan di wilayah Bali dan sekitarnya serta memodelkan tingkat guncangan di area penelitian berdasarkan beberapa skenario gempa bumi signifikan di wilayah Bali. Potensi bahaya tsunami diidentifikasi dengan memodelkan penjalaran gelombang tsunami dan inundasi di area penelitian berdasarkan dua skenario gempa bumi-tsunami akibat aktivitas subduksi di selatan Pulau Bali. Hasil analisis menunjukkan bahwa Area Pembangunan Pusat Kebudayaan Bali berpotensi terhadap guncangan gempa bumi hingga kategori Sangat Kuat (VII MMI) dengan nilai *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) mencapai 353 gal. Hasil pemodelan tsunami menunjukkan lokasi penelitian rawan terhadap bahaya tsunami dengan tinggi rendaman mencari 3-6 meter dan jarak inundasi sejauh 1500 meter. Temuan ini dijadikan pertimbangan dalam merancang infrastruktur Pusat Kebudayaan Bali beserta penataan lingkungannya.

Kata kunci: Pusat Kebudayaan Bali, Pariwisata Budaya, Bahaya, Gempa Bumi, Tsunami

PENDAHULUAN

Provinsi Bali sebagai salah satu tujuan Pariwisata Budaya akan membangun Pusat Kebudayaan Budaya Bali (PKB) untuk memperkenalkan aneka ragam budayanya secara terpusat. Tempatnya di bekas Galian C pada hilir daerah aliran Sungai Unda di Kabupaten Klungkung dengan luasan areal 300 Ha. Pulau Bali secara umum sangat berpotensi sekaligus rawan bahaya karena secara geografis berada pada pertemuan dua lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia dan juga berada di antara dua benua dan samudera yaitu Benua Asia dan Australia serta Samudera Pasifik dan Hindia [1] [2] [3] [4] [5].

Pembangunan Pusat Kebudayaan Bali di Kabupaten Klungkung terdiri dari berbagai bangunan infrastruktur untuk memwadahi berbagai kegiatan atau informasi tentang Budaya Masyarakat Bali. Dalam satu kegiatan dapat menampung puluhan ribu orang. Analisis bahaya yang berpotensi terjadi sangat perlu dianalisis dan dilakukan secara komprehensif sehingga dampak negatifnya bisa diturunkan [6] [7].

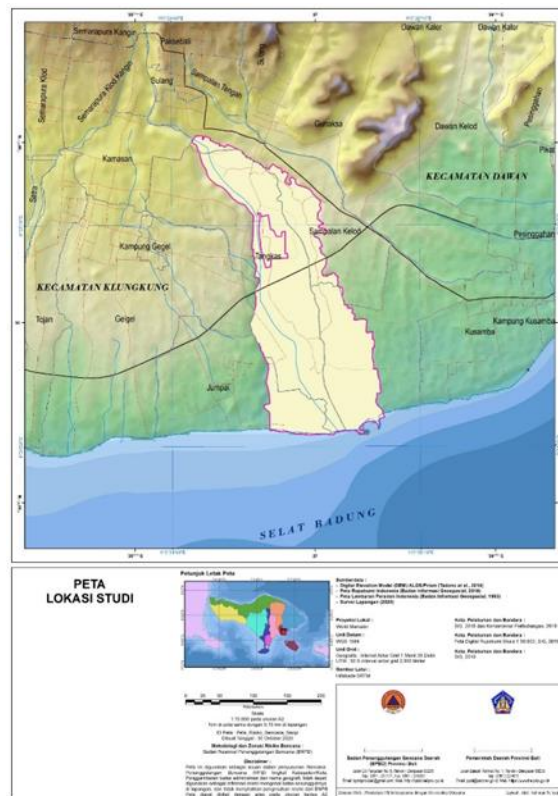
Berdasarkan kondisi tektonik, geografi, topografi, iklim serta sejarah kebencanaan yang perah terjadi di wilayah Provinsi Bali khususnya di area rencana pembangunan Pusat Kebudayaan Bali, setidaknya terdapat 5 (lima) potensi bencana alam [6]. Lima potensi bencana tersebut diantaranya potensi bencana gempa bumi, tsunami, likuifaksi, letusan gunung api dan cuaca ekstrem. Dalam tulisan ini dibatasi pada analisis potensi bahaya gempa bumi dan tsunami. Kedua bahaya ini sering terjadi secara beriringan [8] dan dengan indeks risiko paling besar dibandingkan dengan bahaya yang lainnya [4]. Pengurangan dampak bahaya gempa bumi dapat dilakukan dengan analisis *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) dan *PGV* (*Peak Ground Velocity*) sebagai dasar analisis kinerja struktur bangunan [9]. Ketinggian dan inundasi tsunami perlu diketahui sebagai dasar mitigasinya [10].

Beberapa manfaat yang didapatkan dari analisis ini yaitu, 1) sebagai dasar dalam perancangan infrastruktur di area Pusat Kebudayaan Bali dan penataan lingkungannya yang berorientasi pada mitigasi bencana untuk keselamatan manusia, dan 2) sebagai salah satu dasar bagi masyarakat umum untuk menyusun aksi praktis dalam rangka kesiapsiagaan, seperti menyusun rencana dan jalur evakuasi, pengambilan keputusan daerah tempat tinggal, dan sebagainya.

KAJIAN PUSTAKA

Lokasi Penelitian.

Secara administratif lokasi rencana pembangunan Pusat Kebudayaan Bali berada di Kabupaten Klungkung, Provinsi Bali. Dari empat kecamatan yang ada di Kabupaten Klungkung, apabila ditelusuri lebih lanjut, lokasi rencana pembangunan Pusat Kebudayaan Bali ini secara administratif berada di dua kecamatan, yaitu Kecamatan Klungkung dan Kecamatan Dawan. Lokasi rencana pengembangan Pusat Kebudayaan Bali berada di koordinat $8^{\circ}32'41.35'' - 8^{\circ}34'30.94''$ LS dan $115^{\circ}24'54.92'' - 115^{\circ}26'6.99''$ BT. Peta lokasi rencana studi dapat di lihat di Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Rencana Pembangunan Pusat Kebudayaan Bali

Earthquake Shakemap.

Dalam kajian potensi bahaya gempa bumi di suatu wilayah, peta tingkat guncangan gempa bumi (*earthquake shakemap*) memiliki manfaat sebagai inputan yang digunakan sebagai dasar desain pembuatan bangunan. Informasi yang terkadang dalam peta tersebut yaitu nilai percepatan tanah maksimum dan tingkat guncangan secara deterministik di suatu wilayah tertentu akibat kejadian gempa bumi tertentu. Dalam kajian ini pembuatan peta guncangan gempa menggunakan *software Shakemap* yang dikembangkan oleh United States Geological Survey (USGS) [11] untuk perhitungan skala intensitas *MMI (Modified Mercalli Intensity)* pasca gempa bumi berdasarkan pemodelan gerakan tanah (*ground motion*)



menggunakan parameter gempa seperti magnitude, lokasi, kedalaman sumber gempa, serta jenis sumber gempa,

$$MMI = 0.46MMA + 0.52MMV \quad (1)$$

$$MMI = (MMA + MMV) / 2 \quad (2)$$

Nilai guncangan tanah tersebut kemudian dikorelasikan dengan dampak gempa bumi yang dinyatakan dengan parameter intensitas gempa bumi dalam skala MMI yang berarti semakin besar nilai *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) dan *PGV* (*Peak Ground Velocity*) semakin besar nilai intensitas MMI. Sedangkan persamaan untuk menentukan nilai intensitas gempa bumi MMI berdasarkan kombinasi nilai *PGA* dan *PGV* ditunjukkan oleh persamaan (1) dan dapat pula disederhanakan sebagai nilai rata-rata intensitas gempa bumi yang diturunkan dari nilai *PGA* dan *PGV* seperti pada persamaan (2) dimana *MMA* merupakan nilai MMI yang diturunkan dari nilai *PGA*, dan *MMV* merupakan nilai intensitas gempabumi yang diturunkan dari nilai *PGV* [12].

Pemodelan Tsunami.

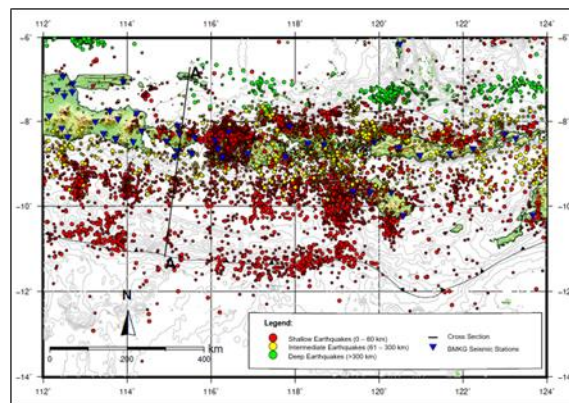
Pemodelan tsunami digunakan untuk mensimulasikan kejadian tsunami sehingga dapat diperkirakan dampaknya dan dapat digunakan sebagai acuan dalam menyusun langkah-langkah mitigasi tsunami di suatu wilayah tertentu. Pada penelitian ini terbagi dalam tiga tahapan utama dalam memodelkan tsunami:

1. Penentuan skenario gempa bumi pemicu tsunami. Skenario tersebut menjadi dasar dalam memodelkan perubahan dasar lantai samudra yang dijadikan sebagai masukan kondisi awal (*initial condition*) dalam pemodelan tsunami. Dalam penelitian ini, penentuan skenario gempa bumi dilakukan melalui kajian literatur hasil penelitian oleh Pusat Studi Gempa Nasional [13].
2. Pemodelan penjalaran tsunami menggunakan aplikasi ComMIT (*Community Model Interface for Tsunami*) yang dikembangkan oleh NOAA Center for Tsunami Research (NCTR). Aplikasi ini menggunakan model numerik yang dikenal dengan istilah MOST (*Method of Splitting Tsunami*). Model numerik MOST mampu mensimulasikan tiga tahapan evolusi tsunami yaitu gempa bumi, penjalaran gelombang trans-oseani dan inondasi tsunami di daratan [14]. Dari kajian awal pemodelan tsunami dengan menggunakan data batimetri ETOPO1 1 arc-minutes dan data topografi yang berasal dari model elevasi digital CGIAR SRTM 90m yang tersedia pada aplikasi ComMIT kurang merepresentasikan kondisi geografi sebenarnya untuk daerah Desa Gunaksa. Oleh sebab itu digunakan input data batimetri dan topografi tambahan yaitu data SRTM 1 arc-second yang disediakan oleh USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) dan data batimetri GEBCO 30 arc-second (<https://www.gebco.net/>).
3. Peta inondasi, pemodelan penjalaran gelombang tsunami menggunakan aplikasi ComMIT (<https://nctr.pmel.noaa.gov/ComMIT/>) menghasilkan data inondasi yang menggambarkan seberapa jauh gelombang tsunami melanda wilayah daratan dan seberapa besar ketinggian genangan akibat tsunami. Dari data tersebut diolah kembali menggunakan aplikasi Q-GIS (<https://qgis.org/en/site/>) yang berbasis sistem informasi geografis sehingga mudah dipahami. Salah satu hasil dari penelitian ini berupa peta inondasi tsunami untuk area PKB yang mudah dipahami dan dapat digunakan sebagai pedoman awal dalam perancangan bangunan gedung dan penataan lingkungannya.

GAMBAR DAN TABEL

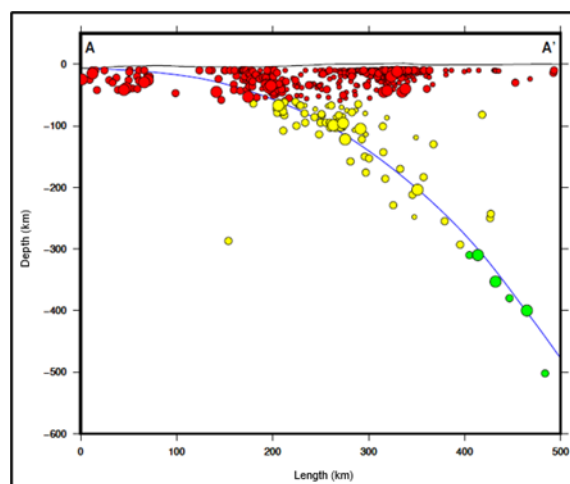
Seismisitas Wilayah Bali

Berdasarkan data seismistas BMKG (2006 – 2019) [15] dan International Seismological Center – ISC (1960 – 2014) [16], secara umum tingkat aktivitas kegempaan di wilayah regional Bali dalam kurun waktu 50 tahun terakhir tergolong cukup tinggi dengan magnitudo dan kedalaman yang bervariasi (Gambar 2). Gempa bumi dangkal sebagian besar terkonsentrasi di wilayah sekitar selatan busur kepulauan hingga zona subduksi dan struktur geologi Sesar Naik Busur Belakang Flores (*Flores Back Arc Thrust*). Selain itu, untuk klaster seismisitas sangat dangkal dengan episenter di daratan lebih banyak disebabkan akibat aktivitas sesar aktif dengan jalur berarah timur-barat laut dari Bali hingga Kepulauan Nusa Tenggara.



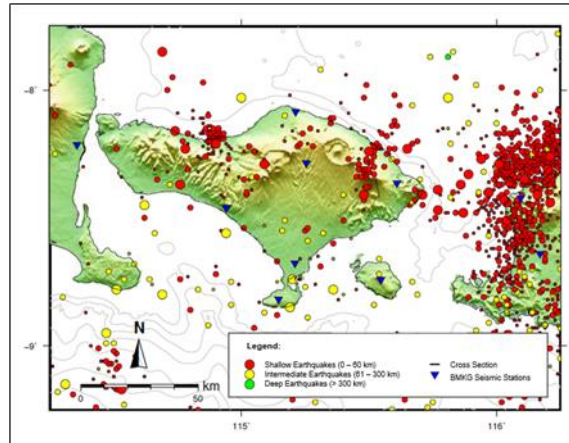
Gambar 2. Peta Seismisitas Regional Bali Periode 1960-2019

Pada peta *cross-section* (Gambar 3) dapat dilihat pola sebaran gempa bumi berdasarkan magnitudo dan kedalamannya, yang mana subduksi lempeng Indo-Australia menumam lempeng Eurasia hingga sekitar 200 km utara Pulau Bali. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya kejadian gempa menengah (kedalaman 60 – 300 km) di sekitar busur kepulauan dan gempa dalam (kedalaman > 300 km) yang terjadi di utara busur kepulauan. Sedangkan gempa-gempa dangkal yang berada di sekitar utara busur kepulauan menunjukkan kejadian gempa akibat Sesar Naik Busur Belakang Flores dan sesar lokal. Pada area rencana pembangunan Pusat Kebudayaan Bali, gempa bumi yang terjadi lebih banyak merupakan gempa kecil dengan magnitudo kurang dari 5.0 dengan kedalaman bervariasi dari dangkal hingga sedang (Gambar 4). Namun demikian, potensi kerusakan akibat gempa dapat terjadi di area ini karena imbas gempa signifikan yang terjadi di beberapa sumber gempa di wilayah Bali dan sekitarnya (Zona Subduksi di selatan Bali dan Sesar Naik Busur Belakang Flores di utara Bali). Wilayah terdekat Kab. Klungkung yang pernah terjadi rangkaian gempa signifikan adalah wilayah sekitar Karangasem, Gunung Agung, Seririt – Buleleng, dan Lombok.



Gambar 3. Peta *Cross-Section* Regional Bali periode 1960 – 2019.

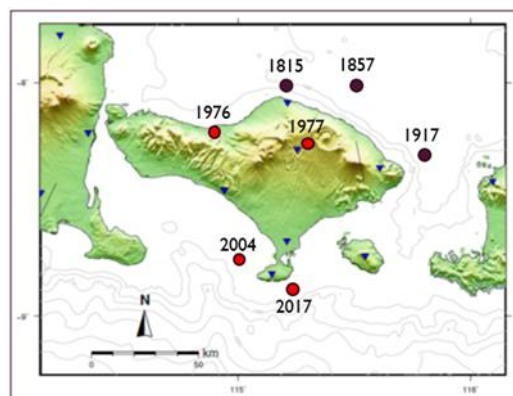
Selain data gempa 50 tahun terakhir, catatan gempa merusak yang terjadi sebelum periode tersebut juga perlu dijadikan pertimbangan dalam kajian seismisitas. Menurut Katalog Gempa bumi Signifikan dan Merusak 1821-2018 BMKG [17], tercatat kejadian gempa merusak pernah berdampak di wilayah Klungkung pada 21 Januari 1917 berpusat di tenggara Pulau Bali (titik episenter 8,00 LS – 115,90 BT) yang disertai tsunami mencapai 2 meter. Peta Kejadian gempa merusak di wilayah Bali dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Peta Seismistas di Wilayah Bali Periode 1960 – 2019

Peta Guncangan Gempa bumi (*Shake Map*).

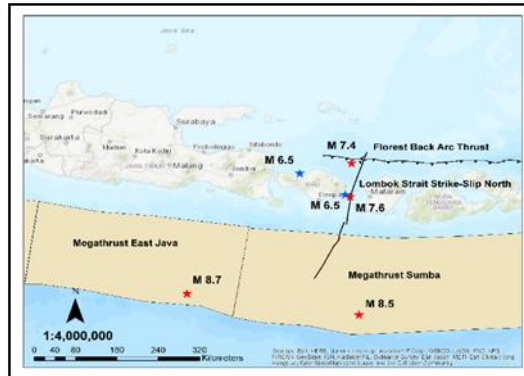
Berdasarkan kajian PUSGEN tahun 2017, setidaknya terdapat empat potensi sumber gempa bumi signifikan di sekitar wilayah Bali. Dua diantaranya bersumber dari aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia di selatan Bali dan Jawa Timur dengan potensi kekuatan maksimum sebesar M8.5 dan M8.7. Sedangkan potensi gempa bumi signifikan ketiga berasal dari utara akibat aktivitas *Flores Back Arc Thrust* dengan potensi kekuatan gempa maksimum sebesar M7.4. Potensi gempa bumi keempat yaitu bersumber dari Lombok *Strait Strike-Slip North* dengan potensi kekuatan gempa bumi maksimum sebesar M 7.6 (Lihat bintang merah pada Gambar 6).



Gambar 5. Peta Gempa Merusak di Wilayah Bali Periode 1821-2018

Selain ketiga sumber gempa bumi tersebut, selama sejarah seismologi modern setidaknya terdapat dua gempa bumi signifikan di wilayah Bali. Sejarah mencatat bahwa pada tahun 1976 wilayah Bali diguncang gempa signifikan yang dilaporkan menimbulkan kerusakan dan korban jiwa. Berdasarkan katalog <https://www.globalcmt.org/>, gempa tersebut merupakan gempa dangkal dengan kekuatan Mw 6.5 berlokasi di Seirit Bali utara. Berselang tiga tahun kemudian, tepatnya pada 17 Desember 1979 gempa bumi signifikan kembali terjadi dengan pusat gempa berlokasi di perairan selat Lombok dekat Karangasem. Berdasarkan katalog <https://www.globalcmt.org/>, gempa tersebut merupakan gempa dangkal dengan kekuatan Mw 6.5 (Gambar 5).

Berdasarkan pemodelan menunjukkan bahwa skenario gempa bumi Selat Lombok M7.6 memberikan dampak yang paling signifikan terhadap area Pusat Kebudayaan Bali. Gambar 7 menunjukkan tingkat guncangan yang ditimbulkan dalam kategori Sangat Kuat atau setara dengan intensitas gempa bumi VII MMI (Tiap-tiap orang keluar rumah. Kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan bangunan dan konstruksi yang baik. Sedangkan pada bangunan yang konstruksinya kurang baik terjadi retak-retak bahkan hancur, cerobong asap pecah. Terasa oleh orang yang naik kendaraan). Pada Tabel 3 menunjukkan data PGA, PGV dan Intensitas Gempa bumi di area Pusat Kebudayaan Bali berdasarkan enam skenario gempa bumi signifikan di wilayah Bali. Dari Tabel tersebut dapat dilihat bahwa area Pusat Kebudayaan Bali dapat mengalami tingkat guncangan hingga 353 gal atau setara 0.36g akibat gempa bumi Selat Lombok M7.6.



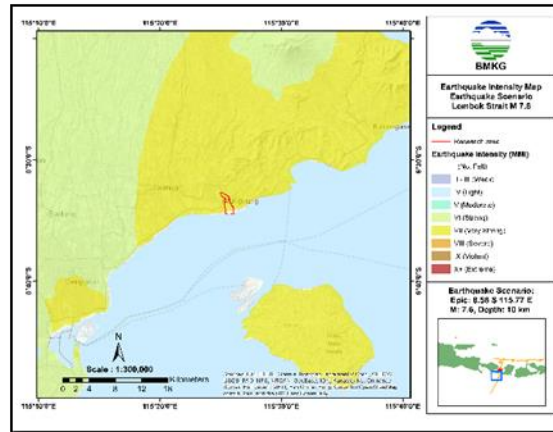
Gambar 6. Epicenter map of the significant earthquake scenarios in Bali region according to the PUSGEN studies. [3].

Sedangkan dampak dari kelima skenario gempa bumi lainnya ke area Pusat Kebudayaan Bali bervariasi dari IV MMI (Pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang, gerabah pecah, jendela/pintu berderik dan dinding berbunyi) hingga VI MMI (Getaran dirasakan oleh semua penduduk. Kebanyakan semua terkejut dan lari keluar, plester dinding jatuh dan cerobong asap pada pabrik rusak, kerusakan ringan) atau dalam kategori Sedang (*moderate*) hingga Kuat (*strong*).

Table 3. Ground shaking level in the development area of Bali Cultural Centre due to significant earthquake scenarios in Bali region.

No	Earthquake Parameters				PGA		PGV (cm/s)	MMI	Earthquake source
	Magnitude	Latitude	Longitude	Depth (km)	g	gal			
1	6.5	-8.14	114.89	28	0.08	78.45	4	IV-V	Seririt earthquake, 14/07/1976
2	6.5	-8.54	115.68	15	0.16	156.91	10	V-VI	Karangasem earthquake, 17/12/1979
3	7.4	-7.95	115.79	10	0.16	156.91	12	VI	Florest Back Arc Thrust
4	7.6	-8.58	115.77	10	0.36	353.04	34	VII	Lombok Strait Strike-slip North
5	8.5	-10.81	115.92	10	0.08	78.45	13	V-VI	Megathrust Sumba
6	8.7	-10.41	112.93	10	0.08	78.45	10	V	Megathrust East Java

Meskipun memiliki magnitudo yang lebih kecil dibandingkan dua gempa bumi megathrust (M8.5 dan M8.7), gempa bumi Selat Lombok M7.6 memberikan dampak yang lebih signifikan ke area Pusat Kebudayaan Bali. Hal ini disebabkan lokasi pusat gempa bumi Selat Lombok M7.6 cukup dekat dengan wilayah Desa Gunaksa.



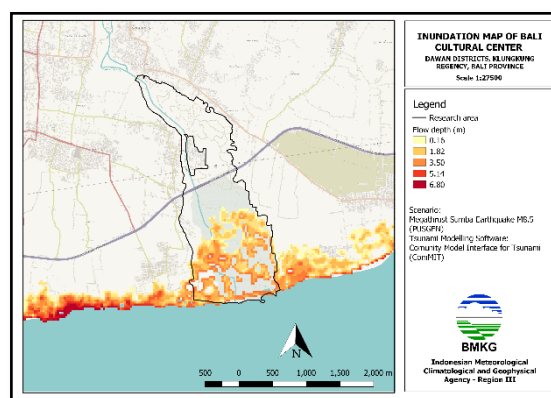
Gambar 7. Intensity map due to Lombok Strait earthquake M7.6.

Tsunami

Pada kajian potensi tsunami di area Pusat Kebudayaan Bali dilakukan pemodelan tsunami berdasarkan dua skenario gempa kuat di selatan Bali dan Jawa Timur akibat aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah lempeng Eurasia. Skenario gempa kuat tersebut berdasarkan kajian PUSGEN dimana potensi gempa bumi yang tersimpan pada segmen *Megathrust* Sumba dapat mencapai M8.5 dan segmen *Megathrust East Java* dapat mencapai M8.7 (lihat Gambar 6)^[13].

Gempa bumi *Megathrust* Sumba M 8.5.

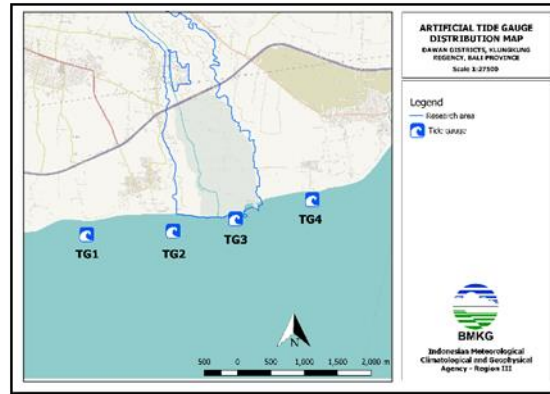
Dari hasil pemodelan tsunami akibat gempa bumi *Megathrust* Sumba M8.5 seperti tampak pada Gambar 8, area Pusat Kebudayaan Bali masuk dalam wilayah terdampak tsunami. Peta inundasi tersebut didapatkan dengan menggabungkan delapan skenario berbeda dengan variasi lokasi dan proporsi deformasi lantai samudra. Berdasarkan hasil pemodelan, ketinggian rendaman tsunami dari permukaan tanah (*flow depth*) dapat mencapai 6.8 meter terutama di daerah pesisir pantai di sebelah barat area Pusat Kebudayaan Bali. Sedangkan untuk area Pusat Kebudayaan Bali sendiri ketinggian rendaman tsunami dapat mencapai 4 meter.



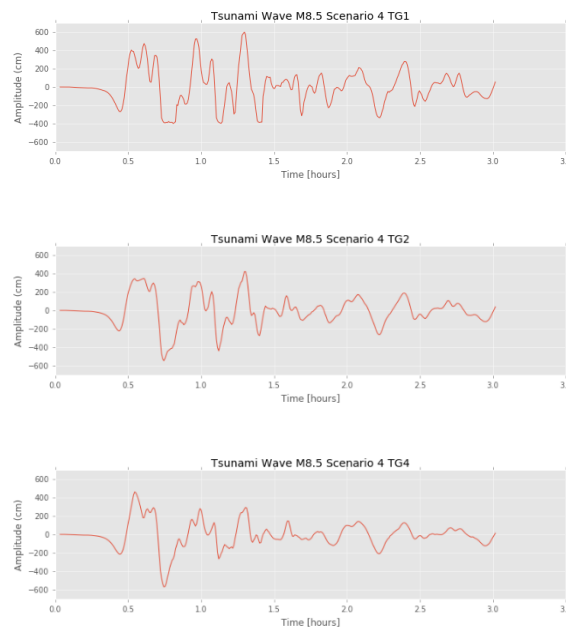
Gambar 8. Inundation map due to Sumba Megathrust Earthquake M8.5.

Dengan memasang *artificial tide gauge* di empat titik sepanjang pantai di area Pusat Kebudayaan Bali dan sekitarnya seperti tampak pada Gambar 9, dapat dilihat profil rekaman gelombang tsunami dari kedelapan

skenario tersebut. Dari rekaman *artificial tide gauge (mareogram)* hasil pemodelan tsunami menunjukkan bahwa tinggi gelombang tsunami ketika mencapai bibir pantai di area Pusat Kebudayaan Bali dan sekitarnya dapat mencapai 3-6 meter (Gambar 10).



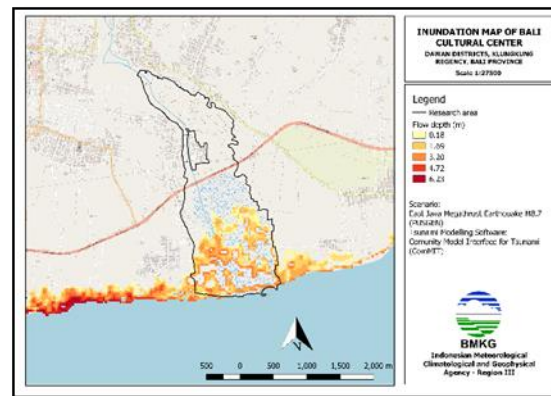
Gambar 9. *Artificial tide gauge distribution map.*



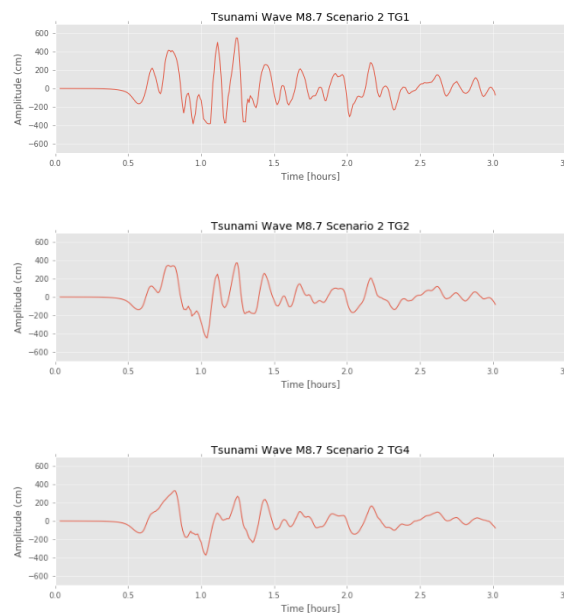
Gambar 10. *Artificial tsunami wave records at the coastal area based on scenario 4.*

Gempa bumi *Megathrust East Java M 8.7*.

Tidak jauh berbeda dengan gempa bumi *Megathrust Sumba M 8.5*, hasil pemodelan tsunami juga menunjukkan bahwa area Pusat Kebudayaan Bali termasuk ke dalam area terdampak tsunami akibat gempa bumi *Megathrust East Java M 8.7*. Pada Gambar 11, menunjukkan area inundasi dan estimasi ketinggian rendaman tsunami (*flow depth*) di area Pusat Kebudayaan Bali dan sekitarnya akibat gempa bumi *Megathrust East Java M 8.7*. Berbeda dengan sebelumnya, untuk peta inundasi area Pusat Kebudayaan Bali akibat gempa bumi *Megathrust East Java M 8.7* diperoleh dari gabungan empat skenario dengan variasi lokasi dan proporsi deformasi pada lantai samudra.



Gambar 11. Inundation map due to East Java Megathrust Earthquake M8.7.



Gambar 12. Artificial tsunami wave records at the coastal area based on scenario 2.

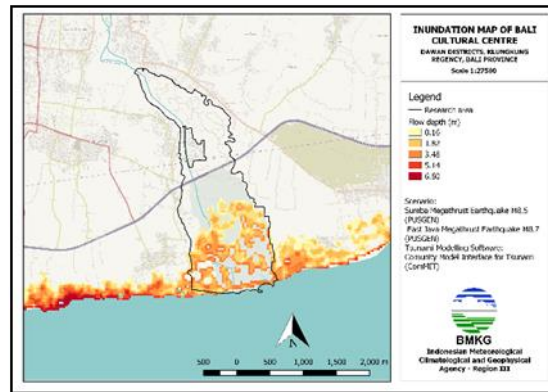
Jika dibandingkan, dampak tsunami akibat gempa bumi *Megathrust East Java M8.7* sedikit lebih rendah dari dampak tsunami akibat gempa bumi *Megathrust Sumba M 8.5* (lihat Gambar 8 dan Gambar 11). Rendaman tsunami dari permukaan tanah (*flow depth*) dapat mencapai 6.2 meter di pesisir pantai sebelah barat dari area Pusat Kebudayaan Bali. Sedangkan untuk area Pusat Kebudayaan Bali ketinggian rendaman dapat mencapai 3.7 meter. Tidak berbeda dengan rekaman sebelumnya, hasil rekaman *artificial tide guge* di empat titik sepanjang pesisir pantai area Pusat Kebudayaan Bali menunjukkan bahwa ketinggian tsunami saat mencapai bibir pantai berkisar antara 3-6 meter (lihat Gambar 12).

KoNTekS17

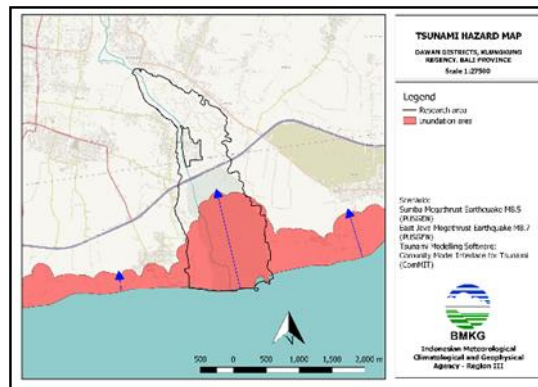
Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17

Area Rawan Tsunami Area Pusat Kebudayaan Bali dan Sekitarnya.

Dengan menggabungkan dua model tsunami akibat gempa bumi *megathrust* Sumba M 8.5 dan *Megathrust* East Java M 8.7 didapatkan peta inundasi tsunami area Pusat Kebudayaan Bali dengan skenario terburuk seperti tampak pada Gambar 13 Ketinggian rendaman tsunami (*flow depth*) maksimum mencapai 6.8 di pesisir pantai sebelah barat dari area Pusat Kebudayaan Bali. Untuk area Pusat Kebudayaan Bali rendaman tsunami (*flow depth*) dapat mencapai 4 meter. Hal ini sesuai dengan hasil analisis probabilistic pada pantai Pulau Bali berpeluang 10% terjadi tsunami dengan ketinggian lebih besar dari 0,5 m [3]



Gambar 13. Composite inundation map due to Sumba Megathrust earthquake M 8.5 and East Java Megathrust earthquake M 8.7



Gambar 14. Tsunami hazard map of Bali Cultural Centre area. Blue arrow from left to right 300meters, 1500 meters, dan 700 meters.

Berdasarkan model inundasi dapat dimodelkan peta area rawan tsunami area Pusat Kebudayaan Bali dan sekitarnya dengan menambah jarak 100 meter dari area inundasi ke arah daratan untuk memastikan batas yang memang benar aman dari terjangkit tsunami. Dari model peta rawan tsunami pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa jarak inundasi tsunami untuk area Pusat Kebudayaan Bali dapat mencapai hingga 1500 meter dibandingkan dengan sekitarnya yang hanya berkisar antara 300-700 meter dari bibir pantai ke arah daratan.

PERSAMAAN

$$MMI = 0.46MMA + 0.52MMV \quad (1)$$

$$MMI = (MMA + MMV) / 2 \quad (2)$$

dengan : MMI = Modified Mercally Intensity, MMA = Turunan nilai MMI dari nilai PGA, MMV = Nilai intensitas yang diturunkan dari nilai PGV



KESIMPULAN

Berdasarkan sejarah gempa bumi dari katalog BMKG Tahun 1960 – 2019, di area Pusat Kebudayaan Bali Kabupaten Klungkung tidak terdapat catatan gempa signifikan. Namun, perlu diwaspadai dampak gempa bumi yang terjadi di luar wilayah seperti wilayah terdekat Kabupaten Klungkung yang pernah terjadi gempa signifikan adalah wilayah sekitar Karangasem, Gunung Agung, Seririt – Buleleng, dan Lombok. Dari enam skenario gempa bumi yang disimulasikan, tingkat guncangan di area Pusat Kebudayaan Bali dilihat dari model PGA dapat mencapai 353 gol atau 0.36g, dari model PGV dapat mencapai kecepatan tanah 34 cm/s, dan Intensitas Gempa bumi hingga VII MMI yang menunjukkan kategori *Very Strong* (Sangat Kuat).

Hasil pemodelan tsunami menunjukkan ketinggian rendaman tsunami dari tanah (*flow depth*) di daerah dekat pantai area Pusat Kebudayaan Bali dapat mencapai 4 meter dengan ketinggian tsunami di bibir pantai dapat mencapai 3-6 meter. Sedangkan inundasi di wilayah Desa Gunaksa dapat mencapai jarak hingga 1500 m ke arah daratan terjauh dibanding daerah sekitarnya yang hanya mencapai 300-700 meter ke arah daratan. Hal tersebut dimungkinkan karena wilayah area Pusat Kebudayaan Bali merupakan daerah aliran sungai.

REKOMENDASI

Untuk mengetahui risiko bencana di areal rencana Pengembangan Pusat Kebudayaan Bali di Kabupaten Klungkung, perlu dilakukan penelitian detail lebih lanjut untuk mengetahui tingkat risiko bencana dari tingkat kerawanan bencana yang telah ditemukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Gubernur Provinsi Bali melalui Badan Riset Dan Inovasi Daerah Provinsi Bali untuk bekerja sama melakukan identifikasi bahaya di areal rencana Pengembangan Pusat Kebudayaan Bali di Kabupaten Klungkung. Terima kasih juga disampaikan kepada Tim dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika atas kerja sama dan dukungannya dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Kukuh S.U., Chatarina M., Setya N., 2018, Kajian Kesiapsiagaan Terhadap Bencana Tsunami Di Kecamatan Puring Kabupaten Kebumen Tahun 2016, Jurnal GeoEco Vol. 4, No. 1 (Januari 2018) Hal. 68-76 ISSN: 2460-0768, E-ISSN: 2597-6044
- ²N. Horspool, I. Pranantyo, J. Griffin, H. Latief, D. H. Natawidjaja, W. Kongko, A. Cipta, B. Bustaman, S. D. Anugrah, and H. K. Thio, 2013, A National Tsunami Hazard Assessment for Indonesia, Publisher: Australia Indonesia Facility for Disaster reduction
- ³N. Horspool, I. Pranantyo, J. Griffin, H. Latief, D. H. Natawidjaja, W. Kongko, A. Cipta, B. Bustaman, S. D. Anugrah, and H. K. Thio, 2014, A probabilistic tsunami hazard assessment for Indonesia, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 3105–3122, 2014 www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/3105/2014/ doi:10.5194/nhess-14-3105
- ⁴Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2020, Indek Risiko Bencana Indonesia (IRBI), Penerbit : Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta
- ⁵Badan Penanggulangan Bencana Daerah Provinsi Bali, 2020, Dokumen Kajian Risiko Bencana.
- ⁶Sutarja I.N., Ardana M.D.W., Rahman A.A., Iman F., Redana I.W., 2020, Laporan Penelitian Identifikasi Bahaya Di Areal Pengembangan Pusat Kebudayaan Bali Pada Kawasan Gunaksa Klungkung
- ⁷Ramadhan P., Sawitri B.U., Asep S., Slamet U.I., and Destia R., 2020, Mitigation Of Disaster Risk Reduction In Pangandaran Regency, Sosiohumaniora - Jurnal Ilmu-ilmu Sosial dan Humaniora, Vol. 22, No. 2, July 2020: 214 – 222, ISSN 1411 - 0903 : eISSN: 2443-2660.

- ⁸Katsuichiro G., Nobuhito M., Tomohiro Y., Prasetyo A., Ario M., and Daiki T., 2019, Cascading Geological Hazards and Risks of the 2018 Sulawesi Indonesia Earthquake and Sensitivity Analysis of Tsunami Inundation Simulations, *Front. Earth Sci.*, 04 October <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00261>
- ⁹Ulfa Nur Silvia, & Afra Kansa Maimuna. (2021). Analisis Tingkat Risiko Dan Kerentanan Bahaya Gempa Bumi Di Kota Surabaya Dalam Upaya Pemberian Informasi Mitigasi Bencana. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 7(3), 51-57. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v7i3.204>
- ¹⁰Sutarja, I. N., Pringgana, G., & Wikrama, I. M. A. S. (2020). The effects of earthquake and tsunami loadings on structural behavior of reinforced concrete building. *Journal of Applied Engineering Science*, in review, 1-10.
- ¹¹Wald, D.J., Worden, B.C., Quitoriano, V., and Pankow, K.L. 2006. *ShakeMap Manual: Technical Manual, User's Guide, and Software Guide*. Reston: USGS. <https://pubs.usgs.gov/tm/2005/12A01/>.
- ¹²Worden, Charles & Gerstenberger, M. & Rhoades, D. & Wald, D.. 2012. Probabilistic Relationships between Ground-Motion Parameters and Modified Mercalli Intensity in California. *The Bulletin of the Seismological Society of America*. 102. 204-221. DOI: 10.1785/0120110156.
- ¹³Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017. ISBN: 978-602-5489-01-3, 2017.
- ¹⁴Synolakis, C.E., E.N. Bernard, V.V. Titov, U. K anođlu, and F.I. Gonz alez. 2007. *Standards, criteria, and procedures for NOAA evaluation of tsunami numerical models*. NOAA Tech. Memo. OAR PMEL-135, NOAA/Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA, 55 pp.
- ¹⁵Berdasarkan data seismistas BMKG (2006 – 2019)
- ¹⁶International Seismological Center – ISC (1960 – 2014),
- ¹⁷Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG. 2019. *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821 – 2018 Per-Tahun*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.