



Dokumen Teknis

Peta Bahaya Tsunami Bali

Peta Bahaya Tsunami Multi-Skenario Bali, skala 1:100.000

Peta Bahaya Tsunami Multi-Skenario Bali Selatan, skala 1:25.000

dengan zonasi berdasarkan ketinggian gelombang di pantai (sejalan dengan tingkat peringatan INA-TEWS) dan peluang (probabilitas) area yang akan terdampak tsunami besar.

Disajikan oleh

Kelompok Kerja Bali untuk Pemetaan Bahaya Tsunami

disusun oleh

DLR / GTZ

Versi Perbaikan

September 2010



Dokumen Teknis

Peta Bahaya Tsunami Bali

Peta Bahaya Tsunami Multi-Skenario Bali, skala 1:100.000

Peta Bahaya Tsunami Multi-Skenario Bali Selatan, skala 1:25.000

dengan zonasi berdasarkan ketinggian gelombang di pantai (sejalan dengan tingkat peringatan INA-TEWS) dan peluang (probabilitas) area yang akan terdampak tsunami besar.

Disajikan oleh

Kelompok Kerja Bali untuk Pemetaan Bahaya Tsunami

disusun oleh

DLR / GTZ

Versi Perbaikan

September 2010

Daftar Isi

1. Ringkasan Eksekutif	1
2. Informasi Latar tentang Peta Bahaya Tsunami Bali Selatan	3
3. Informasi Latar tentang Proses Pemetaan.....	7
3.1. Kerjasama Indonesia-Jerman dalam kerangka kerja InaTEWS.....	7
3.2. Kelompok Kerja Indonesia-Jerman untuk Pemodelan Kerentanan dan Pengkajian Risiko	7
3.3. Pemetaan bahaya tsunami dalam kerangka kerja GITEWS	8
3.4. Proses pemetaan bahaya tsunami di Bali	8
4. Metodologi.....	11
5. Peta.....	17
6. Definisi.....	22
7. Singkatan.....	23

1. Ringkasan Eksekutif

Bali adalah “surga” bagi ribuan wisatawan yang datang berkunjung ke pulau ini setiap tahun. Selama dasawarsa terakhir, ekonomi Bali telah menjadi sangat bergantung pada industri pariwisata. Banyak pembangunan utama di Bali, khususnya yang berkaitan dengan pariwisata, berlokasi tepat di pesisir selatan yang menghadap Samudera India. Di bawah samudera itu, beberapa ratus kilometer di selatan Bali, terletak salah satu zona tumbukan tektonik utama di bumi, yang merupakan area sumber utama gempa bumi berpotensi tsunami. Karena itu, para ahli geologi dan tsunami menganggap Bali sebagai salah satu area berisiko tinggi bagi bahaya tsunami di Indonesia karena setiap tsunami besar yang menjangkau pulau itu akan berdampak parah pada pesisirnya yang berpenduduk padat.

Bali mengalami gempa bumi besar dan juga tsunami di masa lalu. Karena lokasi pulau yang dekat dengan zona subduksi ditambah dengan riwayat seismiknya, kalangan ilmiah memperkirakan Bali juga akan terdampak oleh tsunami di masa depan – walaupun meramalkan secara persis adalah mustahil. Karena kesiapan adalah kunci untuk menangani tsunami, pengembangan strategi kesiapan lokal menjadi kunci. Pengembangan strategi kesiapan memerlukan pemahaman yang baik akan bahaya. Guna memberikan rujukan penting bagi semua pemangku kepentingan yang terlibat dalam kegiatan kesiapan, sebuah **peta resmi bahaya tsunami** dibutuhkan.

Peta resmi bahaya tsunami diperlukan sebagai rujukan dasar dan alat perencanaan terpenting untuk mengembangkan strategi dan peta evakuasi, serta untuk menyiapkan sistem peringatan dini tsunami di Bali. Lebih jauh lagi, peta seperti itu relevan bagi perencanaan tataguna lahan di masa depan dan pengembangan langkah-langkah jangka menengah untuk menanggulangi dampak potensial dari tsunami. Penerbitan peta resmi bahaya tsunami bagi tingkat kabupaten dan provinsi adalah **tanggungjawab pemerintah daerah**.

Dokumen di tangan Anda ini adalah **dokumen teknis** yang menguraikan proses dan konsep teknis yang mendasari sehubungan dengan pengkajian bahaya dan proses pemetaan. Peta-peta telah dikembangkan di dalam kerangka kerja pembentukan Sistem Peringatan Dini Tsunami Indonesia (InaTEWS).

Tujuan dokumen ini adalah menyediakan bagi para pembuat keputusan di Bali informasi latar tentang proses pemetaan bahaya tsunami. Informasi ini sepatutnya mendukung pembahasan lebih jauh dan membantu memulai proses pengesahan peta. Peta-peta yang digambarkan di sini adalah:

- Serangkaian **Peta Bahaya Tsunami Multi-Skenario Bali**, skala 1:100.000 yang mencakup pesisir Samudera India di Bali, kecuali bagi skenario dengan $M > 9$
- **Peta Bahaya Tsunami Multi-Skenario Bali Selatan**, skala 1:25.000 yang terinci

Peta-peta menunjukkan dua zona berdasarkan ketinggian gelombang (sejalan dengan dua tingkat peringatan InaTEWS), peluang area yang akan terdampak tsunami besar, serta taksiran waktu tiba.

Semua peta adalah hasil upaya lintas lembaga yang meliputi badan-badan pemerintah Bali, lembaga-lembaga ilmiah Indonesia, dan para mitra dari Proyek GITEWS (Kerjasama Indonesia-Jerman untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami). Lembaga-lembaga yang terlibat menyepakati pendekatan dan metodologi pemetaan. Peta dihasilkan oleh DLR (Pusat Antariksa Jerman). DLR dan GTZ (Kerjasama Teknis Jerman) menyusun draf dokumen teknis. Kelompok Kerja Bali untuk Pemetaan Bahaya Tsunami meninjaunya di bulan Maret 2009. Dokumen diperbarui untuk memasukkan hasil-hasil dari simulasi genangan terinci di bulan Juli 2009.

2. Informasi Latar tentang Peta Bahaya Tsunami Bali Selatan

Bali terletak sangat dekat dengan zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Zona subduksi yang terkait mewakili **area sumber utama bagi tsunami** yang dapat memengaruhi khususnya bagian selatan pulau ini. Diperkirakan bahwa gelombang tsunami dari area ini hanya memerlukan 30 hingga 60 menit untuk mencapai pantai. Catatan riwayat tsunami yang berkaitan dengan zona subduksi ini adalah Tsunami Sumba (1977) dan Banyuwangi (1994) yang disebabkan oleh gempa bumi dengan episenter di zona subduksi.



Gambar 1: Area sumber tsunami di sekitar Bali

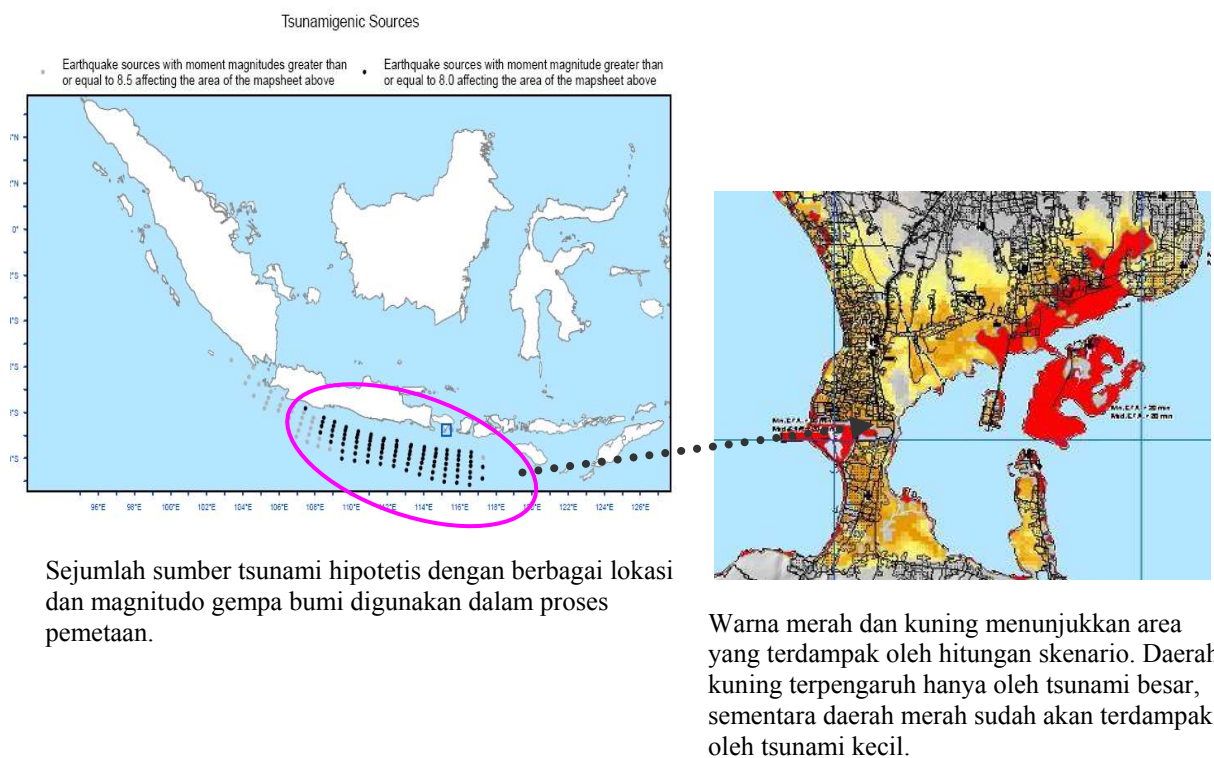
Tepat di pesisir utara Bali, terdapat patahan belakang (back arc fault) adalah area sumber lainnya bagi **tsunami lokal**. Tsunami Flores (1992) disebabkan oleh gempa bumi di patahan belakang (yakni, Gempa Patahan Belakang).

Selain zona subduksi di Palung Sunda dan Sesar Sungkup, dua sumber lainnya bahaya tsunami telah diketahui: longsor bawah laut dan aktivitas gunung berapi. Longsor bawah laut sering kali dikaitkan dengan gempa bumi. Jika terjadi selama suatu gempa bumi, longsor jenis ini dapat meningkatkan energi tsunami sehingga menambah dampak angkat gerakan tektonik di zona subduksi (yang juga disebabkan oleh gempa bumi).

Setiap tsunami itu unik! Bali mungkin menderita dampak tsunami yang lebih kecil, namun kasus terburuk dapat terjadi. Riset atas peristiwa tsunami di masa lalu memberikan rujukan penting tentang peristiwa yang mungkin di masa datang. Untuk memahami seperti apakah dampak tsunami di masa datang, orang dapat melihat ke belakang ke masa lalu dan belajar dari **pengalaman sejarah** dan/atau dapat menggunakan matematika dan menghitung area yang berpotensi tergenang menggunakan alat **pemodelan genangan** yang diprogramkan ke komputer.

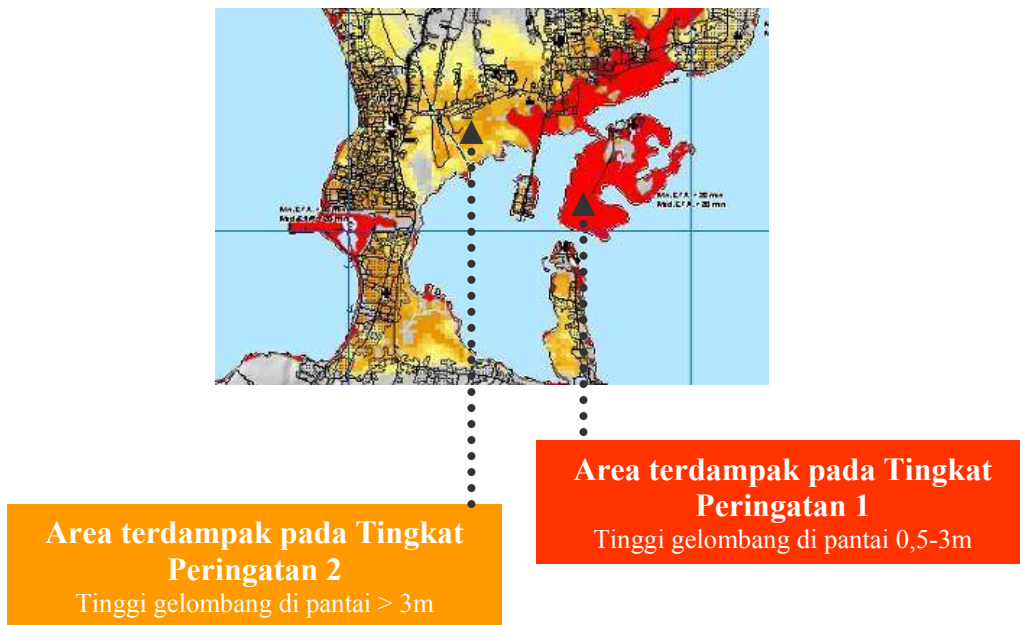
Peta bahaya tsunami memberikan gambaran secara umum **area yang terdampak tsunami** di suatu kawasan. Dalam beberapa kasus, peta hanya menunjukkan area genangan tsunami tertentu, yang dipandang sebagai **skenario yang paling mungkin**. Peta lain menunjukkan area terdampak menurut jumlah peristiwa tsunami (hipotetis). Ini disebut dengan **pendekatan multi-skenario**, sebab menggabungkan area tergenang dengan beberapa tsunami (skenario) di satu peta.

Peta bahaya tsunami yang disajikan adalah peta multi-skenario. Peta ini menggambarkan dampak pada pesisir selatan Bali dari sejumlah besar tsunami hipotetis yang disebabkan oleh berbagai magnitudo gempa bumi dan berasal dari berbagai lokasi di dalam zona subduksi. Perhatikan bahwa bahaya tsunami yang berkaitan dengan longsor bawah laut dan kegiatan gunung berapi tidak dimasukkan ke dalam peta. Ini karena sangat terbatasnya informasi yang ada tentang peluang, kejadian, dan dampak yang mungkin dari kedua jenis tsunami itu.



Gambar 2: Pendekatan multi-skenario

Peta bahaya tsunami multi-skenario memberikan zonasi: peta mengelompokkan semua skenario yang dihitung ke dalam dua zona. Zona merah mewakili area yang terdampak oleh tsunami dengan tinggi gelombang di pesisir antara 0,5 dan 3 m. Zona kuning hanya terdampak oleh tsunami besar dengan tinggi gelombang pesisir hasil hitungan lebih dari 3 m. Kedua zona berpadanan langsung dengan tingkat peringatan InaTEWS sebagaimana ditunjukkan di bawah:

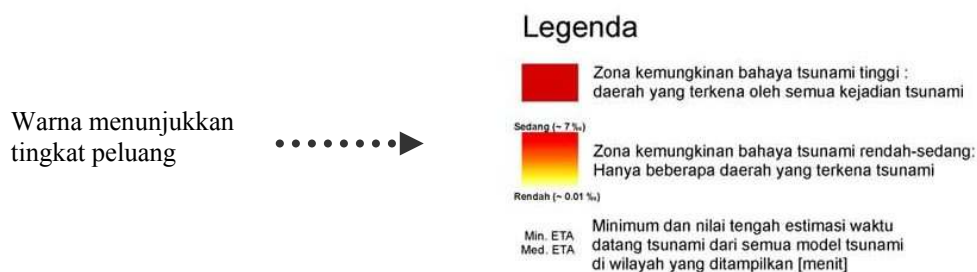


Gambar 3: Zonasi menurut tinggi gelombang dan tingkat peringatan

Saat mengkaji bahaya tsunami, membicarakan **peluang** menjadi penting. Tsunami adalah contoh umum bencana “**frekuensi rendah dampak tinggi**”, yakni, sangat jarang terjadi, namun, jika terjadi, sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kerusakan hebat. Secara rata-rata, setiap dua tahun sebuah tsunami yang menghancurkan terjadi di Indonesia. Namun, pada suatu titik tertentu di pantai, selang ulangan kejadian bagi tsunami yang menghancurkan dapat bervariasi antara 30 dan 50, bahkan 200 dan 300 tahun. Di Indonesia, sebagian besar tsunami dihasilkan oleh gempa bumi bawah laut. Tsunami yang dipicu oleh kegiatan gunung berapi jauh lebih jarang. Tsunami kecil terjadi jauh lebih sering daripada yang besar (dan terparah).

Peta bahaya multi-skenario memberikan informasi tentang peluang tsunami.

Warna merah menunjukkan daerah yang akan terdampak oleh semua tsunami dengan tinggi gelombang antara 0,5 dan 3 meter). Rentang warna dari kuning gelap hingga abu-abu menunjukkan peluang suatu daerah terdampak oleh tsunami besar.



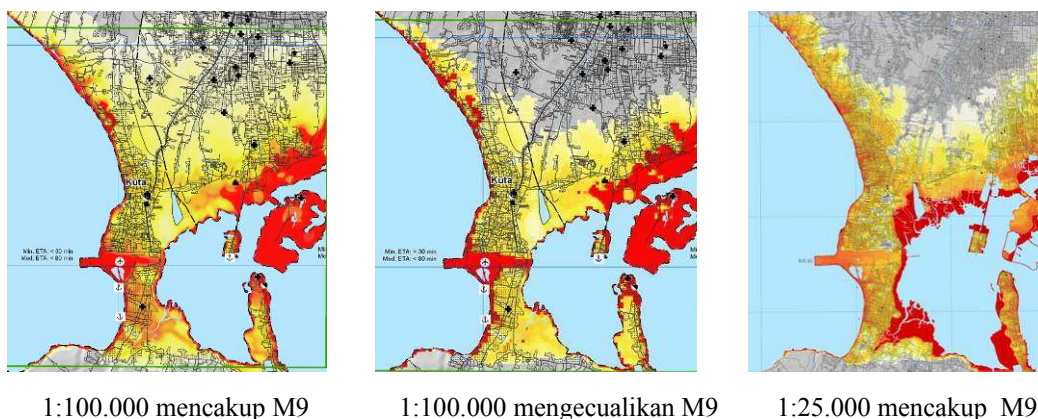
Gambar 4: Peluang yang divisualkan di peta

Masalah peluang mengantar langsung kepada pembicaraan tentang **risiko berterima**. Karena jarang terjadi tsunami, informasi yang tersedia tentang potensi dampak, kejadian, dan tinggi puncak air sangat tidak pasti. Boleh kita asumsikan bahwa tidak ada tindakan wajar yang dapat memasukkan semua risiko yang mungkin sehingga risiko hingga derajat tertentu harus diterima karena alasan ekonomi. Pembicaraan tentang risiko berterima mensyaratkan keputusan yang kadang sulit karena melibatkan pilihan, pengorbanan dan risiko.

Dalam hal Bali, satu pertanyaan yang terkait dengan peluang dan risiko berterima berhubungan langsung dengan keputusan apakah gempa bumi bermagnitudo 9 SR harus dipertimbangkan dalam peta multi-skenario atau tidak. Dalam kenyataan, para ilmuwan menyatakan bahwa gempa bumi bermagnitudo 9 di selatan Bali dianggap sangat tidak mungkin, namun, di sisi lain, mereka berpendapat bahwa data ilmiah yang ada tidak cukup untuk mengecualikan peluang itu sama sekali.

Peta dengan skala besar (1:100,000) yang meliputi skenario magnitud 9 (lihat gambar 5, peta kiri) menunjukkan daerah genangan ekstrem yang relatif kecil kemungkinannya untuk terjadi, dan sulit dikelola dalam konteks perencanaan evakuasi. Ketika menggunakan data topografi dan batimetri yang lebih detil (hanya tersedia untuk area tertentu di Bali selatan!) untuk pemodelan dalam skala 1:25,000 (lihat gambar 5, peta kanan), daerah genangan ini berkurang secara signifikan, sehingga menghasilkan gambaran daerah yang lebih terpercaya dan mudah dikelola. Karenanya, untuk kepentingan perencanaan di Bali selatan, harus digunakan peta 1:25,000.

Untuk daerah yang tidak tercakup dalam pemodelan yang lebih mendetil ini, disarankan untuk menggunakan peta bahaya tsunami dengan skala luas (1:100,000) yang tidak memasukkan skenario magnitud 9, sebab daerah genangan dalam peta ini (lihat gambar 5, peta tengah) lebih cocok dengan hasil yang lebih terpercaya dari pemodelan yang lebih mendetil (1:25,000).



Gambar 5: Perbandingan hasil dari pemetaan skala luas dan terinci.

3. Informasi Latar tentang Proses Pemetaan

3.1. Kerjasama Indonesia-Jerman dalam kerangka kerja InaTEWS

Pemerintah Jerman mendukung implementasi sistem peringatan dini tsunami di Samudera India –khususnya di Indonesia– melalui proyek GITEWS (German-Indonesian Cooperation for a Tsunami Early Warning System). BMBF atau Kementerian Pendidikan dan Riset Jerman membiayai proyek ini. GITEWS adalah bagian dari kerjasama bilateral antara pemerintah Indonesia dan Jerman. Kerjasama ini didasarkan pada Deklarasi Bersama antara BMBF dan Kementerian Negara Riset dan Teknologi (RISTEK). Konsep peringatan – yang dikembangkan menurut panduan Pusat Riset Geosains Potsdam (GFZ) dan melalui kerjasama dengan mitra nasional dan internasional – akan sangat mengurangi waktu peringatan melalui pemindahan data waktu nyata, skenario limpasan yang ditentukan sebelumnya di daerah pesisir dan laporan peringatan langsung. InaTEWS diresmikan di bulan November 2008. Tahap operasi dua tahun dengan dukungan Jerman berlangsung sesudahnya.

Di samping komponen teknis sistem peringatan dini, pengkajian bahaya, kerentanan dan risiko, serta produksi peta bagi daerah percontohan dan peningkatan kapasitas disepakati sebagai bidang lain kerjasama ini. Mitra kerja Jerman untuk pengkajian bahaya, kerentanan, dan risiko adalah German Aerospace Centre (DLR). Kerjasama dikoordinasikan dan dikembangkan di dalam kerangka kerja Kelompok Kerja Indonesia-Jerman untuk Pemodelan Kerentanan dan Pengkajian Risiko (lihat 3.2).

Di dalam kerangka kerja peningkatan kapasitas lokal bagi peringatan dini tsunami, German Technical Cooperation – International Services (GTZ IS) mendukung Pemerintah Daerah Bali sejak akhir tahun 2006 dalam pengembangan prosedur dan mekanisme bagi peringatan dini tsunami, dalam proses klarifikasi peran seputar penerimaan dan penyebaran peringatan, serta perencanaan kesiapan secara keseluruhan. Kerjasama ini didasarkan pada perjanjian kerjasama dengan Pemerintah Provinsi (PEMPROV) Bali dan Pemerintah Kabupaten (PEMKAB) Badung.

3.2. Kelompok Kerja Indonesia-Jerman untuk Pemodelan Kerentanan dan Pengkajian Risiko

Pengkajian risiko dan kerentanan adalah komponen penting Sistem Peringatan Dini Tsunami sehingga menyumbang sangat besar bagi pengurangan risiko bencana. Pengetahuan tentang unsur yang terpapar dan kerentanannya, mekanisme penanganan dan adaptasinya adalah prasyarat bagi pengembangan struktur peringatan berbasis masyarakat, perencanaan evakuasi lokal dan perencanaan pemulihan. Di masa lalu, kuantifikasi kerentanan didasarkan utamanya pada pengkajian kerusakan ekonomi. Menurut tiga pilar pembangunan berkelanjutan, strategi yang diterapkan di dalam

kelompok kerja menggunakan indikator-indikator kerentanan bagi dimensi ekonomi, fisik, serta sosial.

Pendekatan telah dikembangkan di dalam kerangka kerja **Kelompok Kerja Indonesia-Jerman untuk Pemodelan Kerentanan dan Pengkajian Risiko**, yang dikoordinasikan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan German Aerospace Centre (DLR). Para kontributor adalah organisasi Indonesia, Jerman, dan internasional, seperti LAPAN, BAKOSURTANAL, BPPT, AWI, and UNU-EHS. Tugas utamanya adalah pengkajian kerentanan dan risiko pantai terhadap ancaman tsunami. Sasarannya adalah mengembangkan indikator untuk mengukur kerentanan daerah pesisir Sumatera, Jawa, dan Bali yang terpajan terhadap bahaya tsunami pada skala kasar, dan pada skala yang lebih terinci bagi tiga daerah percontohan Padang, Cilacap, dan Kuta. Tugas besarnya adalah melakukan pengkajian bahaya, pengkajian kerentanan fisik dan sosial-ekonomi serta panduan bagi pengambil keputusan tentang cara memantau dan melakukan pengkajian risiko kontinu demi strategi peringatan dini dan penanggulangan bencana yang efektif.






3.3. Pemetaan bahaya tsunami dalam kerangka kerja GITEWS

Di dalam kerangka kerja proyek GITEWS, peta bahaya disediakan dengan skala 1:100.000 yang mencakup seluruh pesisir barat dan selatan Sumatera serta pesisir selatan Jawa dan Bali. Selain itu, peta bahaya yang terinci dihasilkan untuk tiga daerah percontohan Padang, Cilacap, dan Kuta dengan skala 1:25.000. Selama tiga lokakarya yang diadakan di Indonesia dengan peserta dari pemerintah pusat dan daerah serta kalangan kelompok ilmiah dari berbagai lembaga, tataletak dan isi peta bahaya dan risiko dibahas dan disepakati.

3.4. Proses pemetaan bahaya tsunami di Bali

Bali perlu mengembangkan kerangka kerja yang jelas bagi kesiapan tsunami untuk memastikan bahwa kegiatan yang dijalankan oleh berbagai pihak menuju ke strategi keseluruhan yang sama dan tidak saling bertentangan. Menyediakan peta resmi bahaya tsunami adalah suatu tugas prioritas dalam mencapai sasaran itu.

Beberapa peta yang terkait dengan bahaya, risiko, dan perencanaan evakuasi tsunami tersedia untuk Bali di tahun 2008. Namun, tidak satu pun dapat dianggap sebagai peta resmi (lihat Gambar 6).

Map	Institution	Type	Zoning
	BAPPEDA	Tsunami zoning map with reference to Aceh tsunami (max. 33 m run-up)	Zoning according topography: Tsunami Potential medium (elevation 30-40m) Tsunami Potential high (elevation 0-30m)
	BPPT (2006)	Tsunami "Run Up Map" for scenario M 8.9 (developed for Tsunami Drill 2006)	Zoning according flow depth: Flow depth 0-0.1 m Flow depth 0.1-1 m Flow depth 1-2 m Flow depth 2-3 m Flow depth 3-5 m Flow depth 5-8 m Flow depth 8-15 m
	Badan Geologi CVGHM (2007)	Tsunami Hazard Prone Map based on worst case scenario M 9, 300x50km rupture south of Bali, depth 10 km, reverse fault	Zoning based on elevation and inundation Tsunami Prone Area: high <i>Elev. <10m / inund. max. 4.5 km</i> Tsunami Prone Area: moderate <i>Elev. 10-17m / inund. ~7.8 km</i> Tsunami Prone Area: low <i>Elev. 17-25m / inund. ~8.3 km</i>
	DLR: multiscenario (Draft 2008)	Hazard Map showing affected areas by several hundreds of different scenarios with EQ-magnitudes between 7.5 and 9	2 Zones related to BMG warning levels: Impacted area if wave height at coast 0.5-3 m (Warning Level 1) Impacted area if wave height at coast >3 m (Warning Level 2)
	DKP (2005)	Evacuation Map based on inundation prediction: the map was built by using 'same level approximation', topographic data based on Global SRTM and the inundation height was modeled by the 1977 Sumba Tsunami (tsunami wave height in the coastline as the result of the model was 5.2 meter)	Zoning according inundation prediction: Inundation height 1m Inundation height 2m Inundation height 3m Inundation height 4m Inundation height 5m

Gambar 6: Berbagai pendekatan bagi pemetaan bahaya tsunami di Bali (Agustus 2008)

Untuk merevisi semua pendekatan pemetaan yang ada dan mengolah pengetahuan saat ini tentang sumber dan dampak tsunami di Bali, sebuah **Lokakarya Konsultasi bagi Pemetaan Bahaya Tsunami di Bali** diselenggarakan oleh PEMPROV Bali dengan bantuan dari GTZ IS. Selama lokakarya yang diadakan pada tanggal 7 dan 8 Juli 2008 di Denpasar itu, peserta dari kalangan ilmiah nasional (BAKOSURTANAL, BPPT, BMKG, CGS, CVGHM, DKP, LAPAN, LIPI), dan internasional (AWI, DHI, DLR, GKSS), lembaga daerah (BAPPEDA, KESBANGLINAMS, PU, TNI) dan para pemangku kepentingan lainnya (IDEP, PMI, SAR, SEACORM) berkumpul untuk mencapai pemahaman yang lebih baik tentang bahaya tsunami dan dampak

potensialnya bagi Bali dalam rangka mendukung pengambil keputusan setempat dan pemangku kepentingan lainnya agar lebih siap menghadapi peristiwa tsunami di masa depan.

Selama lokakarya, kelompok ilmiah menyarankan untuk mengembangkan **peta multi-skenario** yang mencakup semua skenario yang telah digunakan oleh berbagai lembaga. Saran ini didasarkan pada fakta bahwa pengetahuan ilmiah pada saat ini tidak memungkinkan untuk mengetahui skenario tertentu sebagai yang paling mungkin. Pendekatan multi-skenario menggabungkan dampak sejumlah besar skenario tsunami yang terhitung (dihasilkan oleh pemodelan numerik) ke dalam satu peta.

Disepakati bahwa German Aerospace Centre (DLR) memadukan skenario GITEWS yang sudah dihitung dan skenario yang ada dari lembaga mitra Indonesia menjadi **Peta Bahaya Tsunami Multi-skenario Bali Selatan** (skala 1:100.000). Versi terbaru disajikan selama Konferensi Internasional Peringatan Tsunami di Bali di bulan November 2008. Peta kedua yang mengecualikan skenario gempa M9 SR yang kurang mungkin diserahkan di bulan Februari 2009.

Di bulan Juli 2009, hasil-hasil dari pemodelan genangan yang terinci dengan data yang diperbaiki di daerah prioritas membawa ke pengembangan peta terinci berskala 1:25.000 bagi daerah selatan Bali. Peta tambahan yang mencakup seluruh pesisir Samudera India di Bali turut disajikan.

Kelompok Kerja Bali dengan wakil-wakil dari KESBANGLINMAS, BAPPEDA dan PU dibentuk untuk mengarahkan dan mendampingi proses pemetaan. Makalah ini menyajikan peta konsolidasi dan laporan teknis kepada pihak penguasa Bali untuk bahan pertimbangan lebih lanjut dan pengakuan resmi.

4. Metodologi

Pendekatan yang digunakan untuk pengembangan peta bahaya tsunami adalah paduan analisis peluang dan hasil pemodelan tsunami multi-skenario. Sepanjang Palung Sunda, sejumlah besar skenario tsunami yang realistis dengan lokasi sumber tsunami dan magnitudo gempa bumi telah dihitung. Semua skenario bersama-sama mencakup seluruh pesisir Samudera India di Sumatera, Jawa, dan Bali. Skenario-skenario ini digunakan sebagai data masukan bagi peta bahaya. Pendekatan ini didasarkan pada “teknik pohon peristiwa” dengan langkah berbeda-beda dan mempertimbangkan berbagai tingkat peringatan yang diterbitkan dari Pusat Peringatan Tsunami. Tingkat peringatan ditetapkan oleh InaTEWS (BMKG 2008) dan didefinisikan sebagai berikut:

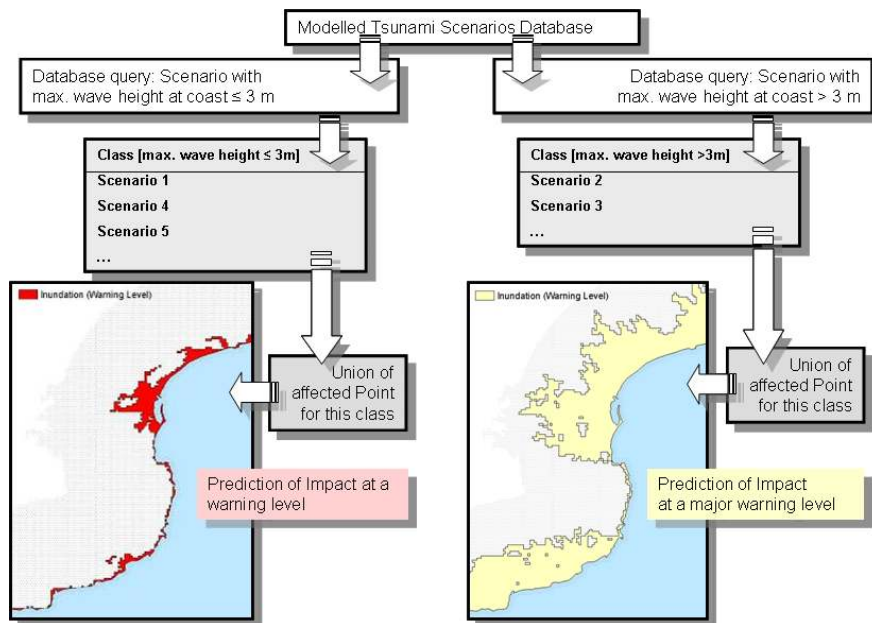
Kategori Tsunami	Tingkat Peringatan	Rentang Tinggi Gelombang (WH)
Tidak ada	Tidak ada	$0,0 = WH < 0,1$
Tsunami Kecil	Waspada	$0,1 = WH < 0,5$
Tsunami	Peringatan	$0,5 = WH < 3,0$
Tsunami Besar	Awas	$WH \geq 3,0$

Gambar 7: Tingkat peringatan dalam InaTEWS (BMKG 2008).

“Tingkat Waspada” menyebabkan hanya sedikit area genangan di pantai atau malah tidak sama sekali. Karena itu, di dalam pendekatan pemetaan bahaya ini, “Tingkat Nasihat” dan “Tingkat Peringatan” dikombinasikan. Pendekatan pemetaan bagi peta peluang bahaya tsunami yang lengkap mengikuti enam langkah berikut:

- 1. Menentukan skenario tsunami yang memengaruhi area yang menjadi perhatian:** Sebagai langkah pertama, semua skenario yang memengaruhi area yang menjadi perhatian dipilih dari basis data Skenario Tsunami. Ini diwujudkan oleh kueri data spasial dan memilih semua skenario yang setidaknya menggenangi satu titik di daratan pada area yang diperhatikan (misalnya, salah satu lembar peta). Skenario terpilih menjadi landasan bagi pengkajian lebih jauh.
- 2. Klasifikasi skenario bergantung pada tingkat peringatan:** Sebagai langkah kedua, semua skenario yang tersedia dikelompokkan menjadi dua kelas tingkat peringatan. Karena itu, sebuah kueri basis data “Manakah skenario yang menghasilkan tinggi gelombang di pantai lebih dari 3 meter” dilakukan. Dengan menetapkan garis besar genangan terkonsolidasi dari setiap kelas, Anda dapat memperoleh peta pertama yang menunjukkan area genangan maksimum bagi tingkat peringatan itu (lihat Gambar 8). Untuk produk akhir peta bahaya, hanya zona yang dihasilkan oleh kelas “tinggi gelombang di pantai kurang dari 3 m”

ditayangkan (zona merah dalam Gambar 8). Zona lain digantikan dengan perhitungan peluang dampak tsunami kontinu, yang digambarkan di dalam langkah selanjutnya.

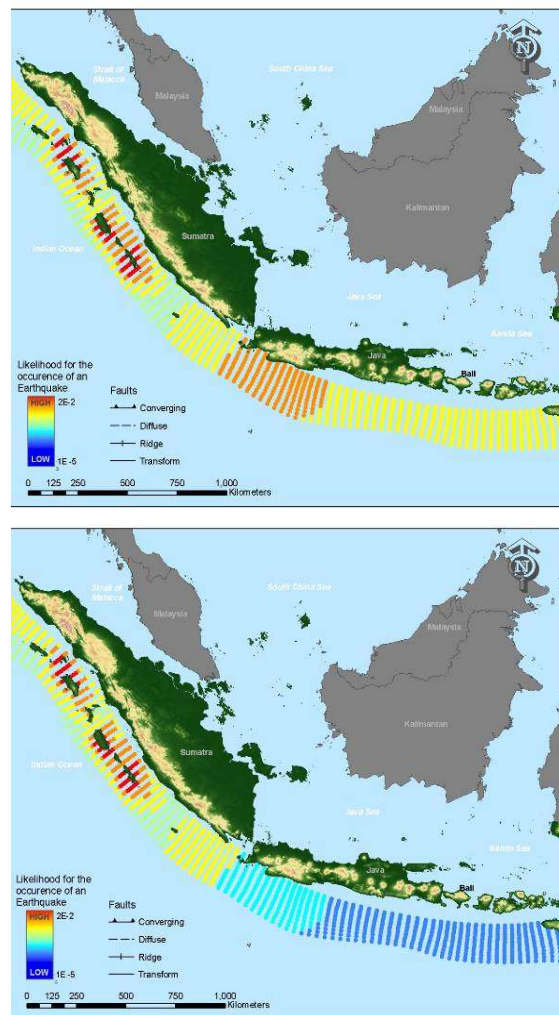


Gambar 8: Pengelompokan hasil pemodelan tsunami bergantung pada tingkat peringatan.

- 3. Penaksiran sebaran spasial peluang gempa bumi dengan magnitudo tertentu di sepanjang Palung Sunda:** Karena fakta bahwa gempa bumi bawah laut dengan magnitudo tinggi terjadi lebih jarang daripada gempa bumi dengan magnitudo rendah, skenario dengan magnitudo gempa bumi tinggi (Magnitudo momentum: M_w) harus dipertimbangkan dengan peluang terjadi lebih rendah dalam analisis. Serupa dengan itu, sebagai kawasan di sepanjang Palung Sunda menunjukkan kegiatan seismik lebih tinggi daripada kawasan lainnya dan sebagian titik disifatkan oleh kondisi geologis khusus—seperti kuatnya sambungan lempeng-lempeng di zona subduksi—yang memberikan peluang kejadian lebih tinggi bagi gempa bumi dengan magnitudo tinggi. Ini berarti bahwa area pada daratan akan tergenangi oleh peristiwa tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi dengan magnitudo tinggi pada sebuah kawasan dengan kegiatan seismik rendah adalah berkemungkinan lebih rendah daripada oleh peristiwa dengan magnitudo rendah pada suatu gempa bumi area “titik panas”. Karena itu, pengkajian peluang kejadian gempa bumi harus dilakukan.

Analisis ini dibagi menjadi dua langkah perhitungan. Pertama, kawasan Palung Sunda dizonasikan menjadi tiga kawasan lebih kecil yang menunjukkan berbagai kegiatan seismik (ini sering kali dipublikasikan, misalnya, Latief, Puspito & Imamura 2000, dan dapat juga ditentukan oleh analisis statistik data riwayat gempa bumi). Pada zona ini, peluang bagi berulangnya setiap tahun dari setiap M_w yang digunakan ditaksir menggunakan data riwayat gempa bumi (NEIC). Untuk memperbaiki pengkajian ini, penyelidikan per topik seperti model deterministik

dipertimbangkan dengan pembobotan peluang kejadian antara 1 (untuk titik panas yang ditentukan dengan peluang tinggi bagi kejadian gempa bumi besar) dan 0,1 (untuk titik yang ditentukan kurang-lebih “tidak aktif”). Gambar 9 menunjukkan sebuah contoh hasil peluang kejadian gempa bumi berbobot bagi M_w tertentu. Maka, setiap sumber tsunamigenik yang digunakan memiliki peluang kejadian masing-masing (harap perhatikan: peluang bahwa sebuah gempa bumi juga menghasilkan tsunami besar dicakup oleh pendekatan model tsunami numerik).

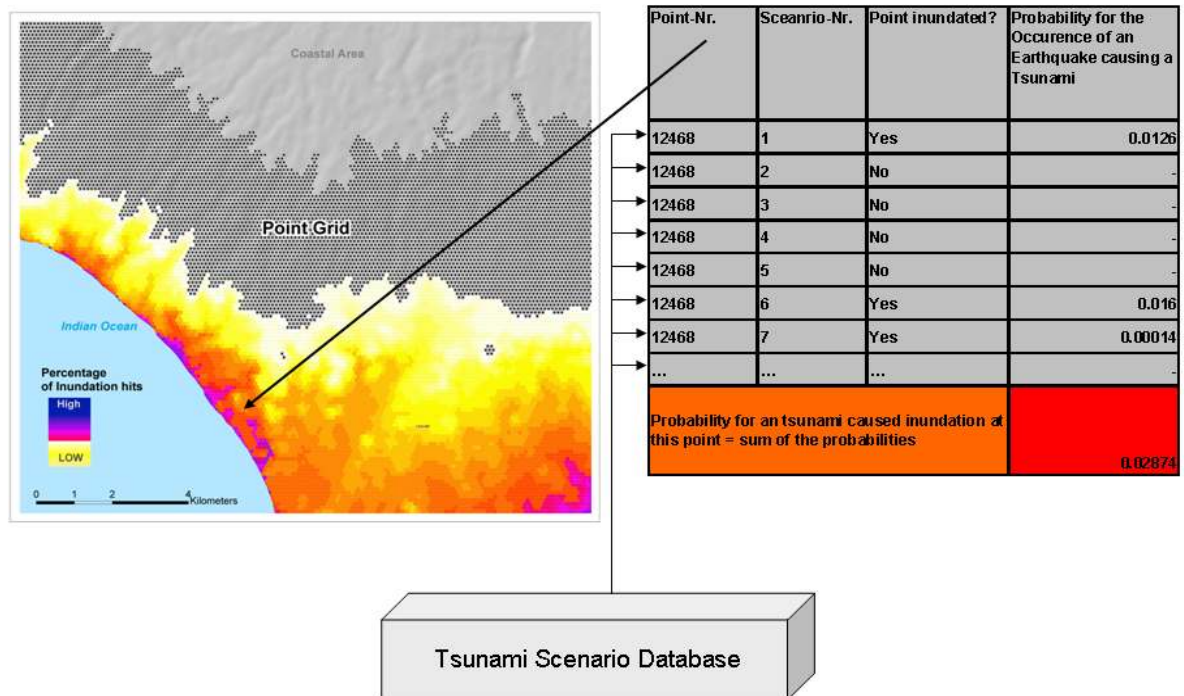


Gambar 9: Pengkajian kecenderungan yang dibedakan secara spasial bagi terjadinya gempa bumi dengan magnitudo tertentu di sepanjang Palung Sunda (atas: M_w 8.0, bawah: M_w 9.0).

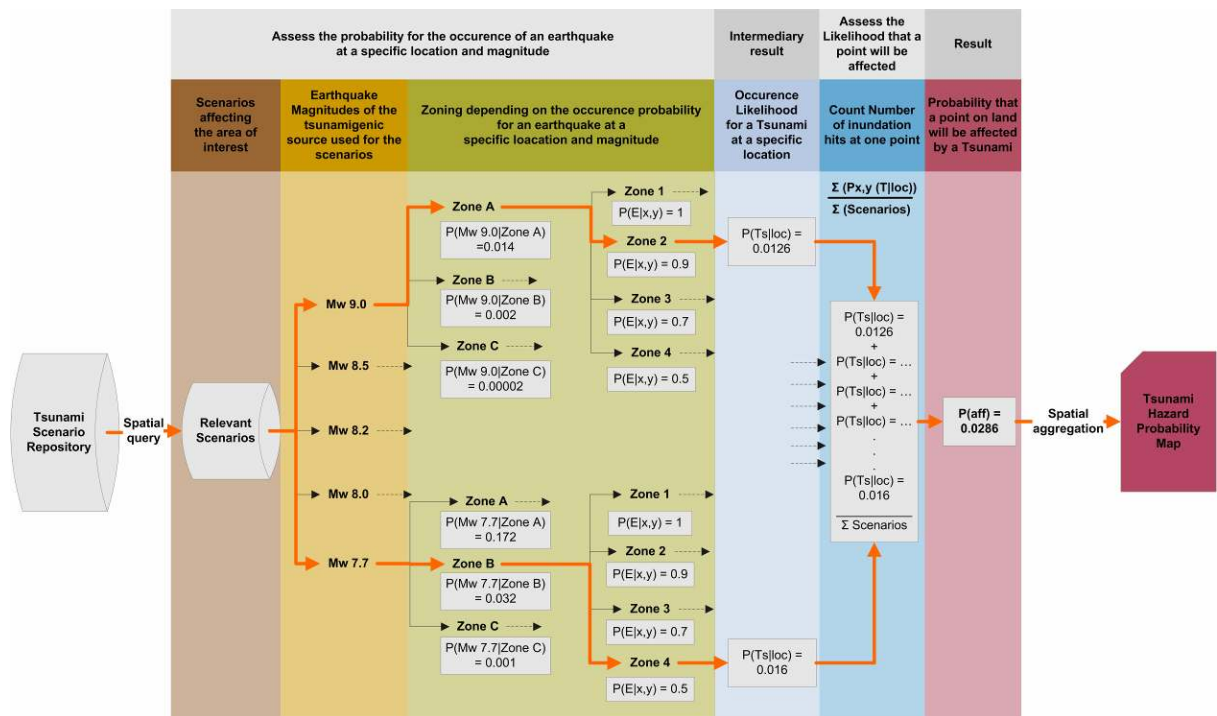
- 4. Menentukan peluang genangan tersebar spasial:** Dalam langkah selanjutnya, dibuat diferensiasi spasial peluang bahwa suatu daerah pesisir akan digenangi (kemungkinan genangan spasial). Hasil skenario-skenario tsunami yang dimodelkan mencakup dampak pada daratan, yakni area di daratan yang akan digenangi dari suatu tsunami dengan lokasi dan magnitudo tertentu. Area dampak tunggal dari berbagai skenario dapat, tentu saja, saling tumpang tindih (karena lokasi sumber tsunami tidak terlalu jauh satu sama lain, atau lokasinya sama dan

skenario berbeda hanya dalam magnitudo gempa bumi bawah lautnya). Karena itu, setiap titik pada daratan dapat digenangi beberapa kali oleh skenario yang berbeda-beda. Sebagai contoh umum, wajar jika suatu titik dekat pantai akan lebih sering digenangi daripada titik yang jauh dari daerah itu. Untuk perhitungan kemungkinan genangan, daerah pesisir bersangkutan disajikan sebagai petak titik dengan satu petak membentang hingga 100 meter. Jadi, untuk setiap titik pada petak (setiap 100 meter ke arah daratan di sepanjang pantai), skenario yang menghantam titik ini dipilih. Untuk skenario terpilih, peluang kejadian sumber tsunaminya (ditaksir dalam langkah 3) dirangkum dan dibagi dengan jumlah skenario yang digunakan. Maka, peluang kejadian mewakili peluang bahwa titik ini akan terkena oleh tsunami dalam satu tahun. Gambar 10 menunjukkan kueri skenario yang relevan dan total peluang pada satu titik di pantai. Guna penayangan di peta bahaya, titik-titik diskret pada daratan diinterpolasikan.

Gambar 11 merangkum seluruh arus kerja yang ditunjukkan guna mendapatkan peta peluang dampak tsunami kontinu dengan teknik pohon peristiwa.



Gambar 10: Contoh perhitungan peluang genangan bagi satu titik di daratan.



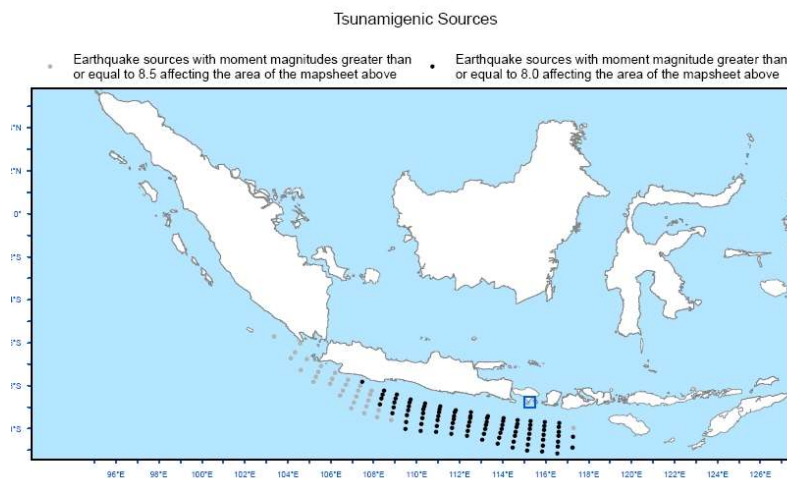
Gambar 11: Rangkuman arus kerja bagi pengolahan peta peluang bahaya. Dengan menggunakan pendekatan ini, kuantifikasi peluang bahaya yang menerus diperoleh. Untuk penayangna peta bahaya, kami hanya menunjukkan peluang bagi zona peringatan utama (peluang sedang hingga rendah). Area yang akan terdampak oleh situasi tingkat peringatan ditampilkan di peta bahaya sebagai zona merah yang merangkum peluang tsunami terkuantifikasikan hingga peluang tsunami tinggi. Zona diperoleh sebagaimana dijelaskan dalam Langkah 1.

5. **Menggabungkan peluang kontinu dengan zona “tingkat peringatan”:** Sebagai langkah terakhir, peluang dampak tsunami kontinu dihipitkan dengan zona “tingkat peringatan” yang diturunkan dari langkah 2 dalam peta bahaya.
6. **Memasukkan parameter tambahan ke dalam peta:** Pelengkap bagi informasi tentang area genangan, peta bahaya berisi lebih banyak parameter yang menunjukkan sifat bahaya potensi tsunami di daerah pesisir. Setiap skenario yang dimodelkan terdiri atas *Taksiran Waktu Tiba* (ETA) bagi gelombang bencana tsunami pertama untuk menghantam pantai. ETA dapat sangat bervariasi untuk berbagai skenario, bergantung pada jarak antara pantai dan sumber tsunamigenik dan magnitudo gempa bumi. Untuk menurunkan nilai valid bagi ETA dari semua skenario yang ada, dua nilai ditunjukkan di dalam peta bahaya. *ETA Min* mewakili ETA terendah yang dapat ditemukan di semua skenario yang ada. Inilah kasus terburuk bagi titik yang ditayangkan di peta. Namun, ini juga menjadi peristiwa yang sangat jarang, sehingga *ETA Med* ditambahkan ke titik di dalam peta. Nilai ini adalah Median (50%-nilai) ETA minimum semua skenario relevan bagi kawasan bersangkutan. Nilai-nilai ini dapat diambil sebagai taksiran bagi waktu untuk bereaksi yang tersisa setelah peristiwa gempa bumi terjadi (lihat Gambar 12).



Gambar 12: Contoh bagi nilai ETA yang tampil di peta bahaya.

Lebih jauh, sumber tsunamigenik bagi kawasan yang dibahas ditunjukkan dalam tayangan kecil pada peta bahaya. Tayangan itu menunjukkan sumber tsunamigenik mana yang menyebabkan tsunami berbahaya bagi kawasan dalam peta. Sumber dibagi menjadi sumber dengan magnitudo tinggi (yang tersebar luas di sepanjang Palung Sunda) dan sumber dengan magnitudo rendah (yang lebih dekat secara umum dengan daerah yang dibahas). Gambar ini dapat dipakai untuk mengkaji apakah gempa bumi akan mungkin mempengaruhi area tersebut dengan tsunami (lihat Gambar 13).

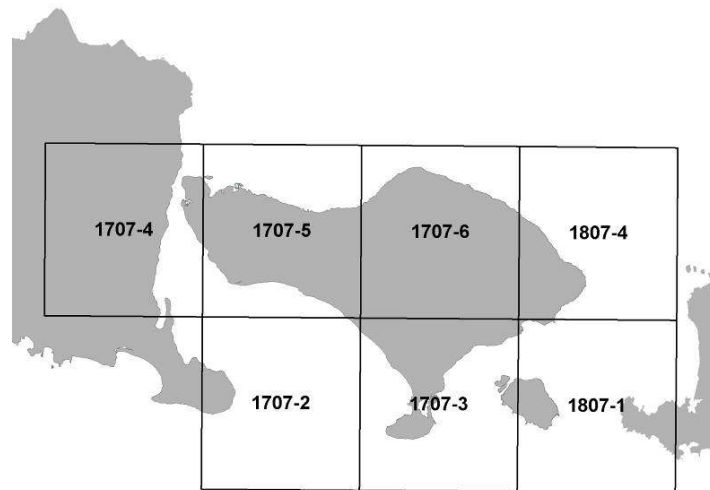


Gambar 13: Contoh sumber tsunamigenik yang tampil di peta.

5. Peta

Peta Bahaya Tsunami Skala Luas untuk sepanjang Samudera India di pesisir Bali tersedia untuk skala 1:1000.000

Basis data untuk pendekatan ini terdiri atas hasil pemodelan tsunami yang disediakan oleh mitra GITEWS, yakni AWI (Lembaga Alfred Wegener), pada lokasi-lokasi episenter (“petak sumber”) bagi skenario tsunami yang disediakan oleh GFZ (Pusat Riset Geosains Jerman, 2008). Area model mencakup pantai selatan Sumatera, Jawa, dan Bali. Untuk pendekatan ini, data dasar berlandaskan cakupan global data GEBCO untuk batimetri dan cakupan global data SRTM untuk topografi. Hasil pemodelan tsunami yang didasarkan pada kedua kumpulan data memberikan tingkat rincian yang dapat digunakan untuk memetakan skala 1:100.000 atau lebih rendah.

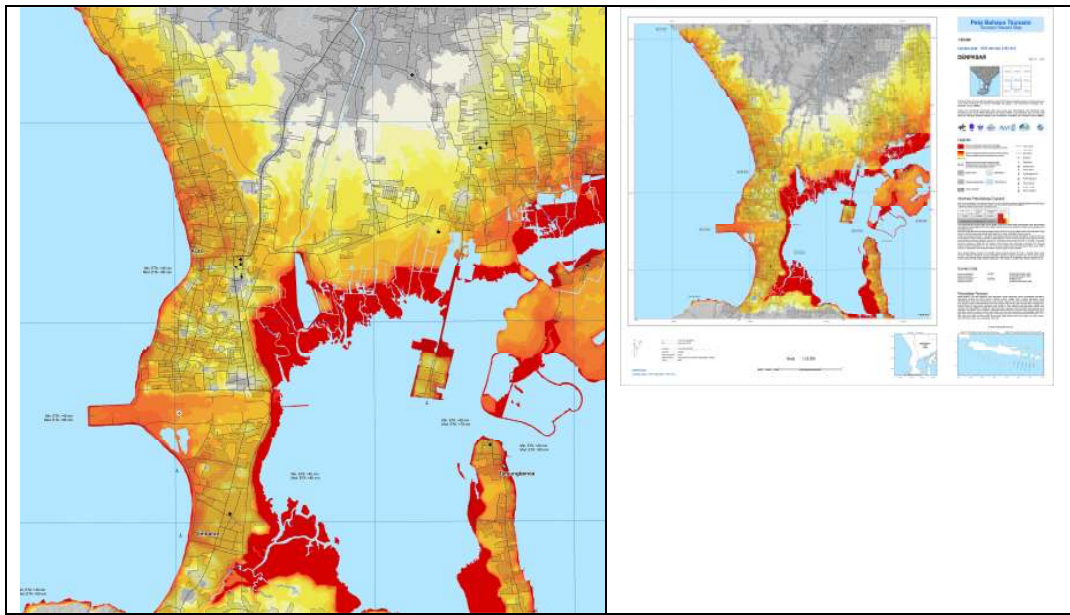


Gambar 14: Peta bahaya tsunami yang tersedia dengan skala 1:100.000 untuk Bali. Nomor dan lokasi lembar peta dan nomor peta didasarkan pada sistem rujukan BAKOSURTANAL

Untuk daerah di sekitar Kabupaten Badung di wilayah selatan Bali, **Peta Bahaya Tsunami terinci** berskala 1:25.000 telah dikembangkan.

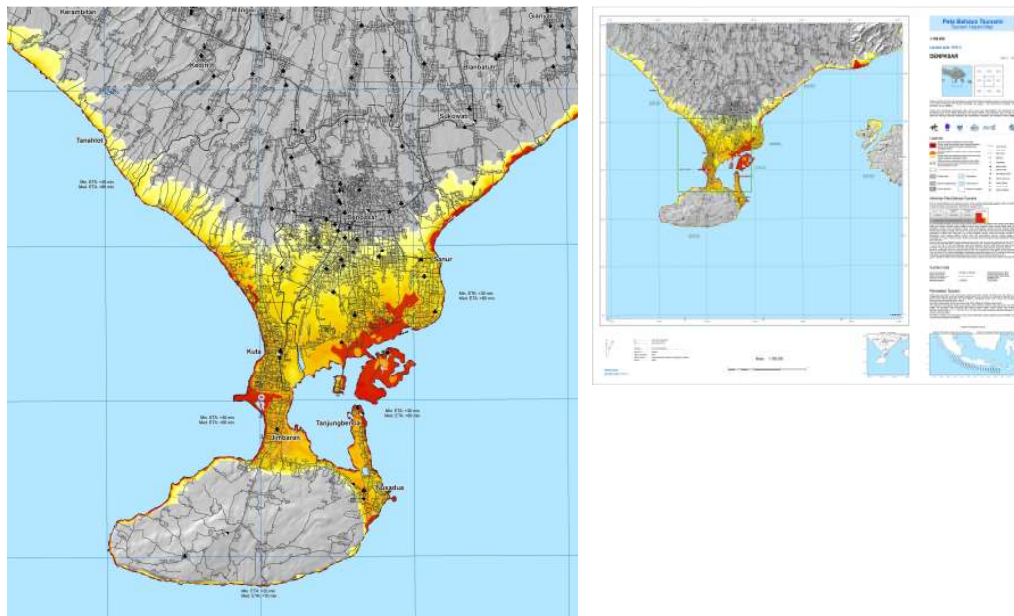
Konsep metodologis yang menghasilkan peta bahaya sama dengan yang untuk rangkaian peta bahaya 1: 100.000. Untuk pemodelan genangan yang terinci, model MIKE21 FM dari DHI-Wasy GmbH digunakan dan pemodelan puncak air dilakukan oleh GKSS dan DHI-Wasy. Deformasi dasar awal dan tinggi muka laut serta elevasi ketinggian air menurut waktu di perbatasan terbuka disediakan oleh AWI dan GFZ dalam kerangka GITEWS. Resolusi spasial yang digunakan dalam pemodelan adalah antara beberapa ratus hingga puluh meter memungkinkan penyajian pada skala peta 1:25.000. Jumlah skenario genangan tsunami yang digunakan adalah 137 dengan magnitudo momentum 8,0, 8,5 dan 9,0. Batimetri didasarkan pada data GEBCO, data C-Map dan pengukuran gema yang dilakukan oleh BPPT dan DHI-Wasy. Topografi didasarkan pada data model, jalan dan bangunan permukaan digital yang disediakan oleh DLR, dan pengukuran GPS diferensial yang dilakukan oleh DHI-Wasy.

Peta Bahaya Tsunami Terinci Skala 1:25.000 Bali Selatan

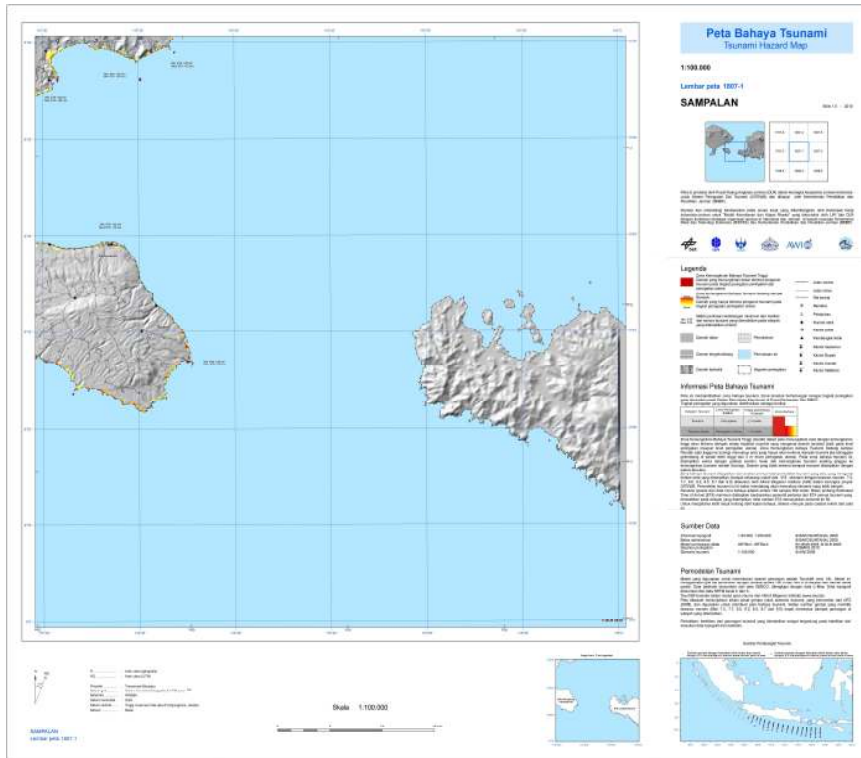


Gambar 15: Peta bahaya berskala 1:25.000 yang berdasarkan data topografi dan batimetri terinci
(Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)

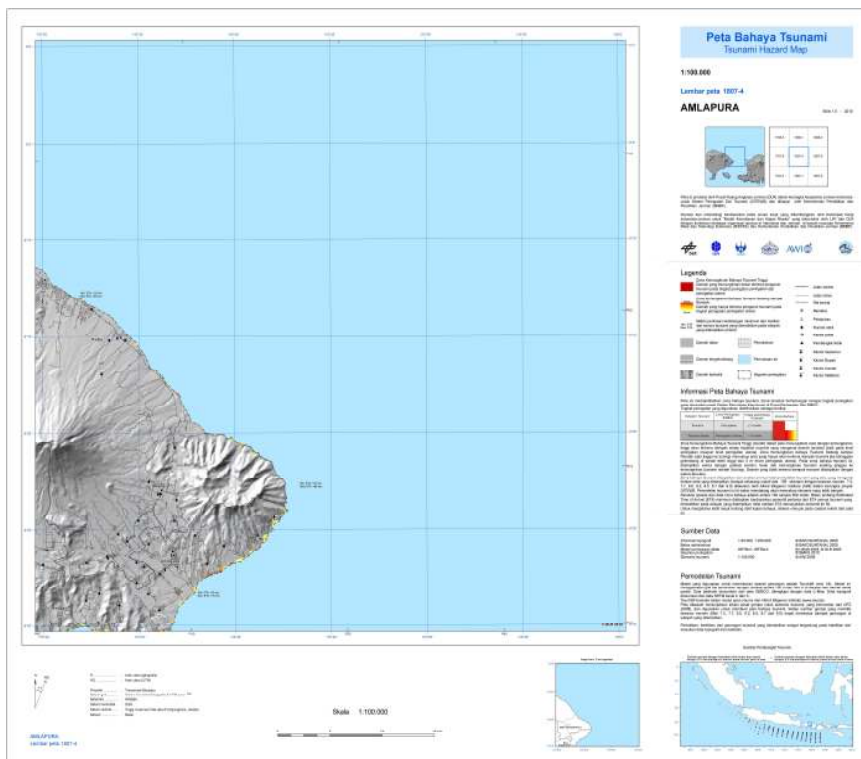
Peta Bahaya Tsunami pada skala 1:100.000



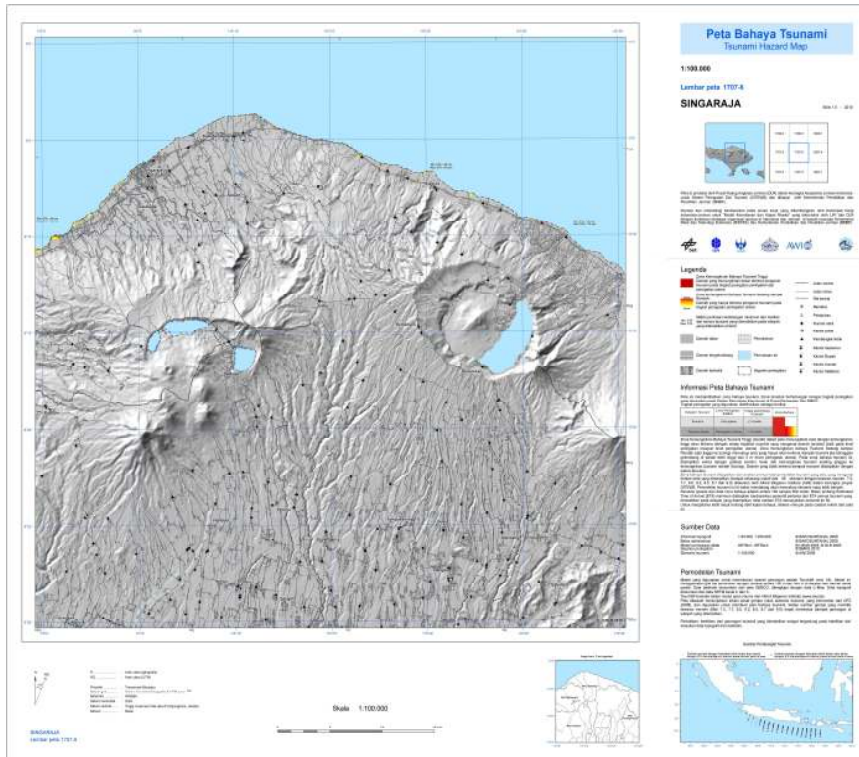
Gambar 16: Peta Bahaya Tsunami 1707-3
Kotak hijau menunjukkan lokasi terinci peta bahaya 1:25.000 (lihat Gambar 15)
(Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)



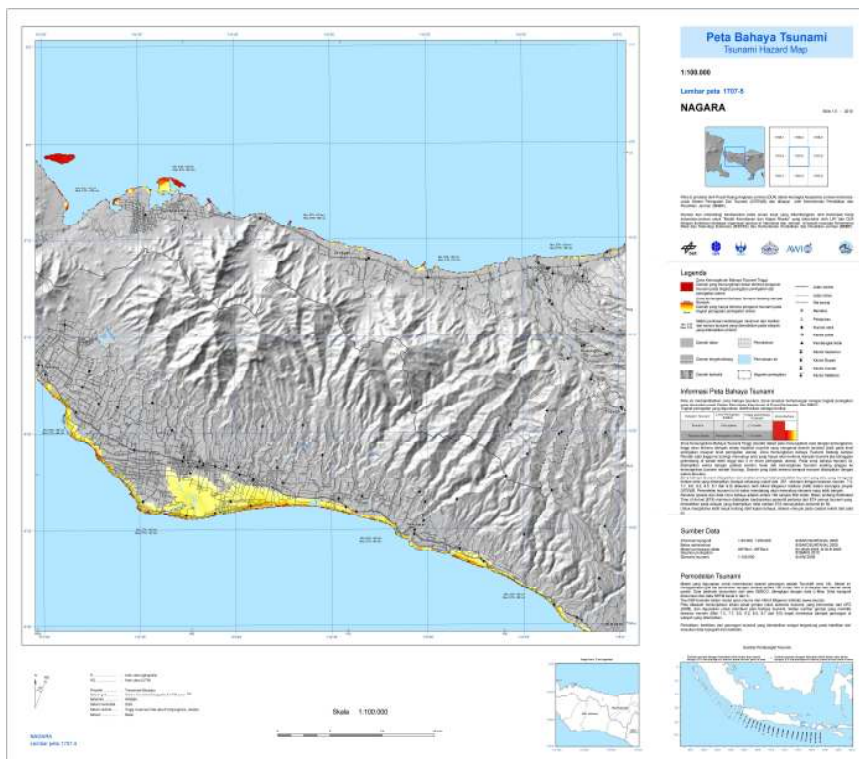
Gambar 17: Peta Bahaya Tsunami 1807-1
 (Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)



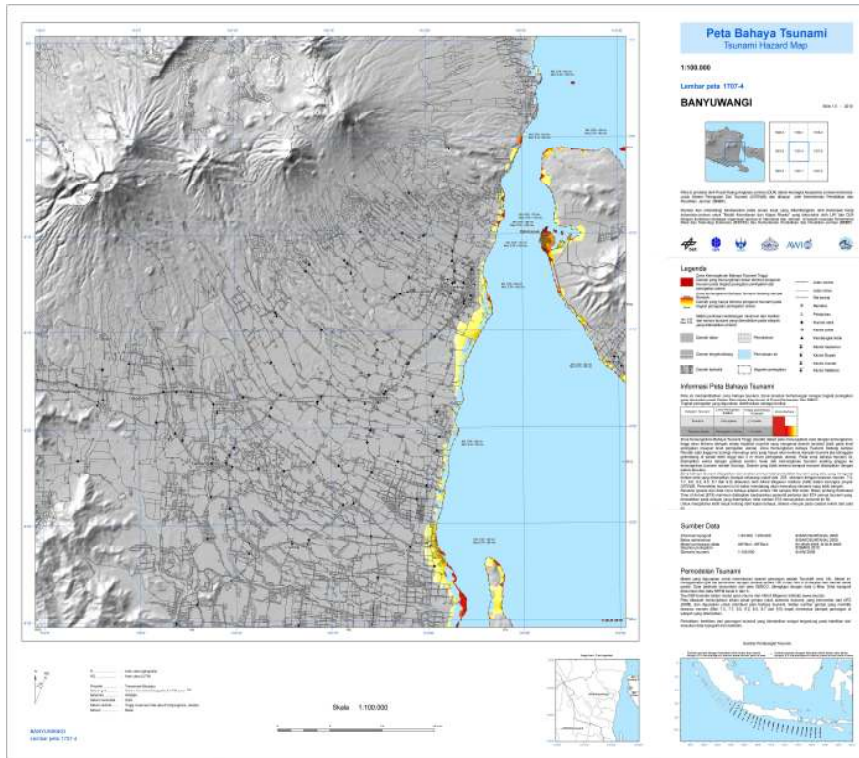
Gambar 18: Peta Bahaya Tsunami 1807-4
 (Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)



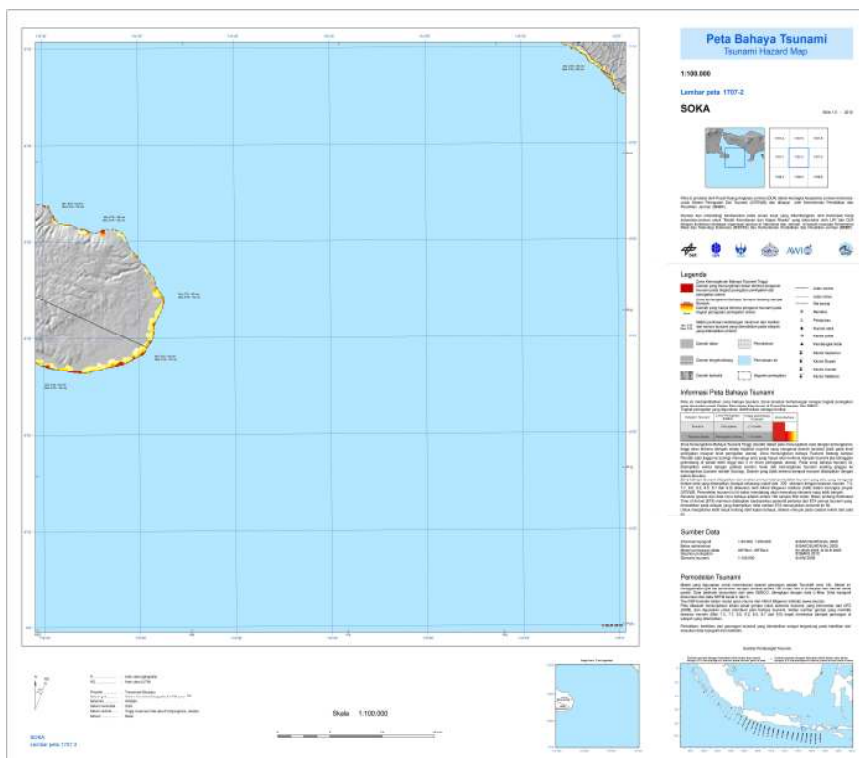
**Gambar 19: Peta Bahaya Tsunami 1707-6
(Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)**



**Gambar 20: Peta Bahaya Tsunami 1707-5
(Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)**



Gambar 21: Peta Bahaya Tsunami 1707-4
(Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)



Gambar 22: Peta Bahaya Tsunami 1707-2
(Hanya tsunami dari area sumber zona subduksi!)

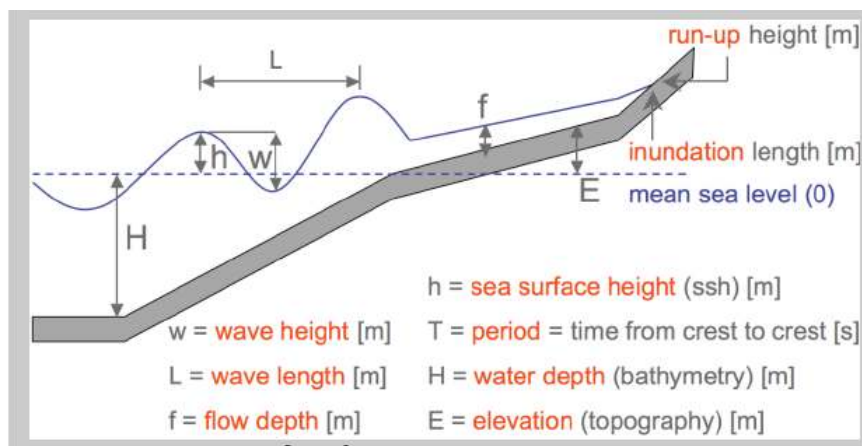
6. Definisi

Di bagian ini, kami mengenalkan sebagian istilah dan definisi yang sering digunakan, termasuk di antaranya di dalam dokumen ini. Istilah-istilah digunakan selaras dengan UNESCO-IOC Tsunami Glossary. Gambar di bawah merangkum sebagian istilah.

Sumber tsunamigenik: Sumber penyebab tsunami. Dalam konteks ini, suatu lokasi gempa bumi bawah laut dengan magnitudo tertentu.

Area genangan tsunami (tsunami inundation area): Area yang digenangi oleh air akibat tsunami.

Taksiran Waktu Tiba (Estimated Time of Arrival): Waktu kedatangan tsunami pada suatu lokasi tertentu, sebagaimana yang ditaksir dari pemodelan kecepatan dan bias gelombang tsunami selagi berjalan dari sumbernya. EAT ditaksir dengan presisi tinggi jika batimetri dan sumber juga diketahui (kurang dari beberapa menit). Gelombang terbesar tidak mesti yang pertama, namun biasanya salah satu dari lima gelombang pertama.



Kedalaman air (batimetri): Kedalaman air yang diukur dari permukaan laut rata-rata ke arah bawah (dalam meter)

Elevasi (topografi): Ketinggian daratan di atas permukaan laut rata-rata (dalam meter).

Kedalaman aliran (flow depth): Kedalaman air di atas permukaan tanah saat terjadi genangan, dan merupakan nilai yang bebas waktu dalam ukuran meter.

Tinggi gelombang (wave height): Tinggi gelombang antara puncak dan lembahnya dalam meter.

Jarak genangan (inundation distance): Jarak dari pesisir yang digenangi air dalam ukuran meter. Dianggap genangan jika kedalaman sedikitnya 10 cm.

Tinggi puncak air (run-up height): Ketinggian di atas permukaan laut pada garis genangan dalam ukuran meter.

7. Singkatan

AWI	= Alfred Wegener Institute
BAKORSURTANAL	= Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (National Coordinating Body for Survey and Mapping)
BAPPEDA	= Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Local Planning Board)
BMBF	= German Ministry of Education and Research
BMKG	= Badan Metereologi dan Geofisika (National Agency for Meteorology, Klimatology, and Geophysics)
CGS	= Centre for Geological Survey
CVGHM	= Centre Volcanology and Geological Hazard Mitigation
DHI	= DHI-WASY GmbH
DKP	= Departemen Kelautan dan Perikanan (Department for Marine and Fisheries)
DLR	= German Aerospace Center
ETA	= Estimated Time of Arrival
GFZ	= German Research Centre for Geosciences
GKSS	= Research Center Geesthacht
GITEWS	= German-Indonesian Tsunami Early Warning System
GTZ	= German Technical Cooperation
GEBCO	= General Bathymetric Chart of the Oceans
KESBANGPOLLINMAS	= Kesatuan Bangsa, Politik, dan Perlindungan Masyarakat (Civil Defence)
InaTEWS	= Indonesian Tsunami Early Warning System
LAPAN	= Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (National Aeronautics and Space Institute)
LIPI	= Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Indonesian Institute of Sciences)

PMI	= Palang Merah Indonesia (Indonesian Red Cross)
PU	= Pekerjaan Umum (Public Works)
RISTEK	= Kementrian Negara Riset dan Teknologi (State Minister of Research and Technology)
SAR	= Search and Rescue
SEACORM	= Southeast Asia Center for Ocean Research and Monitoring
SRTM	= Shuttle Radar Topographic Mission
SR	= Skala Richter (Richter Scale)
TNI	= Tentara Nasional Indonesia
UNU-EHS	= United Nations University –Environment and Human Security

