

# Peta-Peta Bahaya Tsunami untuk Lombok

## Dokumentasi Teknis

Mei 2013

**Peta-Peta Bahaya Tsunami untuk Lombok  
Dokumentasi Teknis**

Peta-peta Bahaya Tsunami Multi-skenario untuk Lombok, 1:100.000

Peta-peta Bahaya Tsunami Multi-skenario untuk Kota Mataram dan Pulau Gili, 1:15.000

Publikasi bersama oleh GIZ IS dan DLR dalam kerangka kerja proyek PROTECTS

Mei 2013

Penulis:	Matthias Mueck (DLR)
Revisi:	Harald Spahn (GIZ IS)
Versi Bahasa Indonesia:	Dewi Reny Anggraeni (GIZ IS) Gede Sudiartha (GIZ IS)

**Ucapan Terima Kasih**

Penulis menyampaikan terimakasih kepada para mitra yang terlibat dalam pertemuan kerjasama tentang kajian bahaya dan risiko tsunami di area kerja PROTECTS di NTB.

## Daftar Isi

Daftar Isi .....	1
1. Pengantar .....	2
2. Beberapa informasi dasar tentang bahaya tsunami di Lombok .....	4
3. Proses Pemetaan Bahaya Tsunami di Lombok .....	8
4. Peta bahaya tersedia untuk Lombok.....	9
4.1. DISTAMBEN.....	9
4.2. PROTECTS (DLR).....	11
5. Pemetaan Bahaya Tsunami dalam Kerangka Kerja PROTECTS .....	14
5.1. Interpretasi Peta .....	14
5.2. Metodologi.....	16
6. Definisi .....	23
7. Daftar Singkatan .....	24

## 1. Pengantar

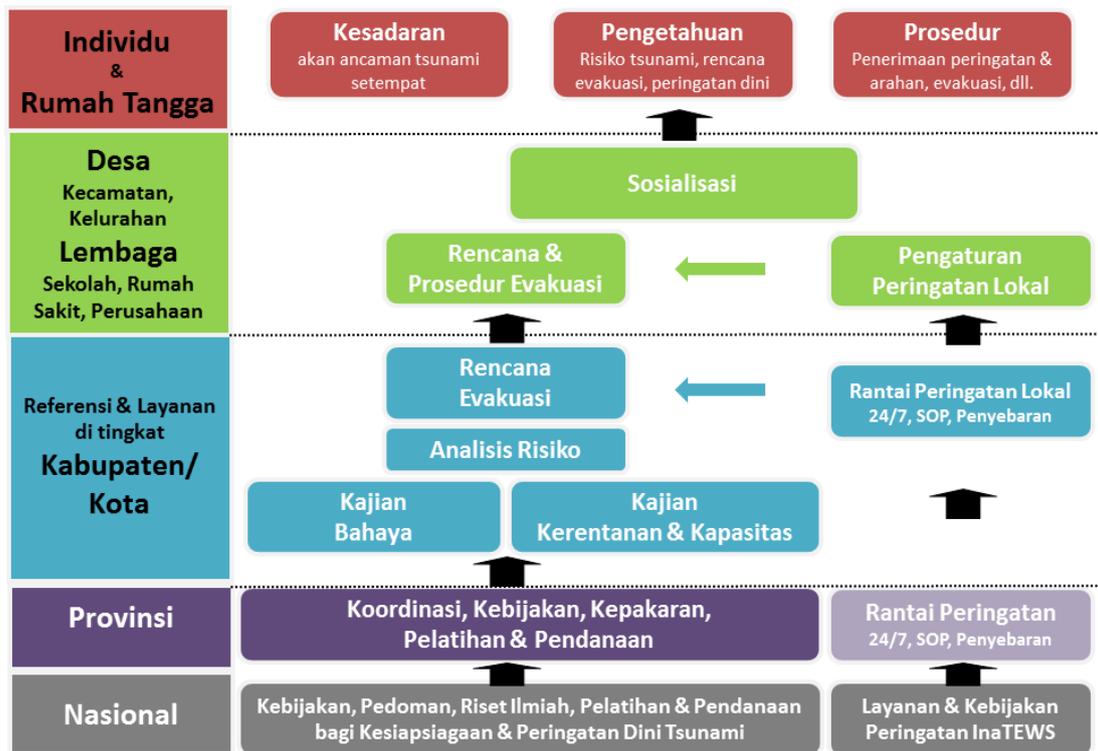
Selama beberapa dekade terakhir perekonomian Lombok menjadi sangat tergantung pada industri pariwisata. Banyak perkembangan besar di Lombok, khususnya yang berkaitan dengan pariwisata dan juga penyebaran kawasan perkotaan di ibukota Mataram, berada tepat pada garis pantai yang menghadap Samudera Hindia di selatan (misalnya Kuta) dan Laut Bali di utara (misalnya Kepulauan Gili, Senggigi).

Beberapa ratus kilometer di sebelah selatan Lombok terdapat salah satu zona pertemuan lempeng tektonik besar bumi, yang menjadi sumber utama gempa bumi berpotensi tsunami, menghadap bagian selatan dari pulau ini. Lombok juga rentan terhadap tsunami dari Patahan busur belakang (*back arc*), yang menghadap bagian utara Pulau Lombok. Jenis patahan yang terbentuk pada *back arc* disebut sesar naik dan memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan gempa bumi dan tsunami di daerah pesisir Lombok. Tsunami yang lebih besar di sekitar pulau mungkin akan berdampak besar pada sepanjang garis pantai yang berpenduduk padat. Oleh karena itu ahli geologi dan para ilmuwan tsunami menganggap Lombok sebagai salah satu daerah berisiko tinggi untuk bahaya tsunami di Indonesia.

Lombok pernah mengalami gempa bumi besar dan tsunami di masa lalu. Karena lokasinya yang dekat dengan zona subduksi dan sejarah gempabuminya, komunitas sains menganggap bahwa Lombok juga akan terdampak oleh tsunami di masa depan - meskipun prediksi yang tepat tidak mungkin dibuat. Mengingat kesiapsiagaan adalah kunci untuk menghadapi tsunami, pengembangan strategi kesiapsiagaan lokal sangatlah penting.

Dalam proyek PROTECTS, pendekatan langkah demi langkah menuju kesiapsiagaan tsunami di berbagai tingkat (Gambar 1) dikembangkan dan diimplementasikan. Pendekatan ini didasarkan pada asumsi bahwa kemungkinan untuk selamat dari tsunami lokal sangat tergantung pada kapasitas masyarakat yang terdampak dalam menilai situasi dengan cepat dan mengambil keputusan dan tindakan yang tepat berdasarkan pada pengetahuan yang sifatnya dasar namun solid tentang risiko tsunami lokal dan rencana kesiapsiagaan.

Memahami bahaya tsunami dan mengkaji dampak yang mungkin terjadi pada masyarakat lokal di daerah rawan tsunami merupakan prasyarat bagi para pengambil keputusan daerah dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengantisipasi kejadian tsunami di masa mendatang dan mempersiapkan diri. Pengetahuan tentang bahaya tsunami lokal diperlukan untuk mengkaji risiko, mengingat risiko menggambarkan hubungan antara kerentanan masyarakat, aset mereka, serta bahayanya sendiri.



**Gambar 1:** Pendekatan berjenjang untuk memperkuat kesiapsiagaan tsunami (GIZ IS, 2013)

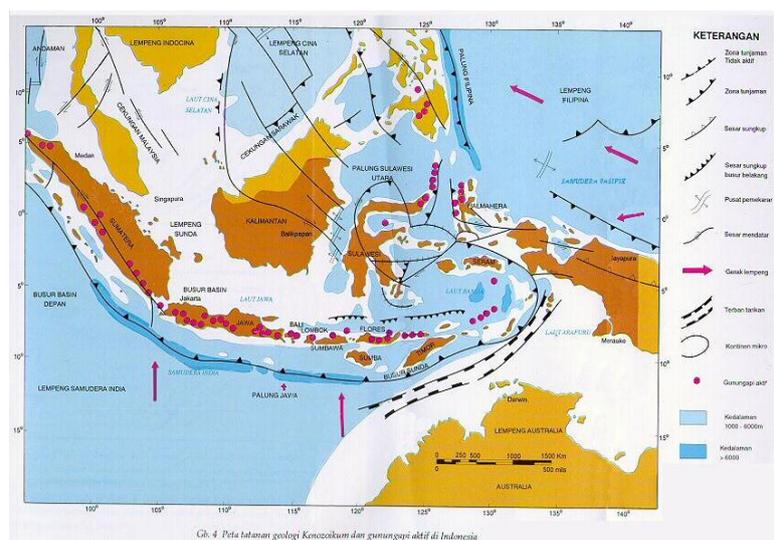
Tujuan dari dokumen ini adalah untuk menyediakan informasi dasar tentang proses pemetaan bahaya tsunami untuk wilayah pesisir pulau bagi para pengambil kebijakan di Lombok. Dokumen ini (1) memberikan beberapa informasi dasar tentang kondisi geologi dan bahaya tsunami terkait, (2) memberikan gambaran singkat tentang proses kerja kelompok ahli yang berasal dari berbagai institusi untuk menetapkan peta bahaya tsunami Lombok, (3) menunjukkan produk pemetaan bahaya yang saat ini tersedia untuk Lombok, (4) menyediakan informasi dasar cara membaca dan menafsirkan produk pemetaan dengan benar, dan (5) menjelaskan secara rinci dasar metodologis dari produk-produk peta yang dikembangkan dalam proyek PROTECTS.

Perlu diperhatikan bahwa terdapat pendekatan-pendekatan yang berbeda untuk menghasilkan peta bahaya tsunami, sehingga peta-peta yang dihasilkan bisa berbeda secara signifikan satu sama lain. Konsep dan makna zonasi di peta-peta ini mungkin sama sekali berbeda, oleh karena itu diperlukan interpretasi yang cermat terhadap peta-peta ini. Pada tahap ini juga perlu ditegaskan bahwa, lepas dari bagaimana cara membuatnya, peta-peta ini hanya dapat memberikan perkiraan atas apa yang bisa terjadi, dan tidak dapat memprediksi apa yang akan benar-benar terjadi. Terlebih hasil pemodelan didasarkan pada banyak ketidakpastian seperti kualitas data, pendekatan metodologis, dan kurangnya validasi di lapangan. Oleh karena itu, tidak dianjurkan untuk menyebarkan peta-peta tersebut kepada masyarakat pada umumnya. Peta-peta ini dapat digunakan secara sebagai

referensi bagi para perencana dan badan penanggulangan bencana. Meski demikian, peta-peta ini merupakan orientasi dan referensi terbaik yang saat ini tersedia untuk mengidentifikasi zona bahaya tsunami dan wilayah yang aman untuk proses perencanaan evakuasi dan terlebih lagi sebagai alat perencanaan yang penting, misalnya untuk perencanaan perkotaan dan penggunaan lahan.

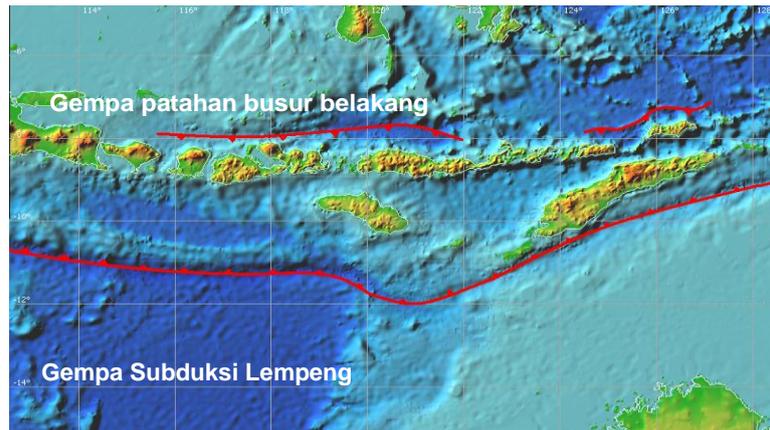
## 2. Beberapa informasi dasar tentang bahaya tsunami di Lombok

Berdasarkan peta geologi Indonesia (Gambar 2), wilayah Lombok terletak sangat dekat dengan zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia (selatan) dan Lempeng Eurasia (utara). Zona subduksi tersebut merupakan daerah sumber utama untuk tsunami yang mungkin melanda bagian selatan pulau. Tak jauh di lepas pantai utara Lombok, Patahan busur belakang merupakan area sumber tsunami lokal lain.



**Gambar 2:** Proses geologi dan aktifitas vulkanik di Indonesia (Katili, 1994)

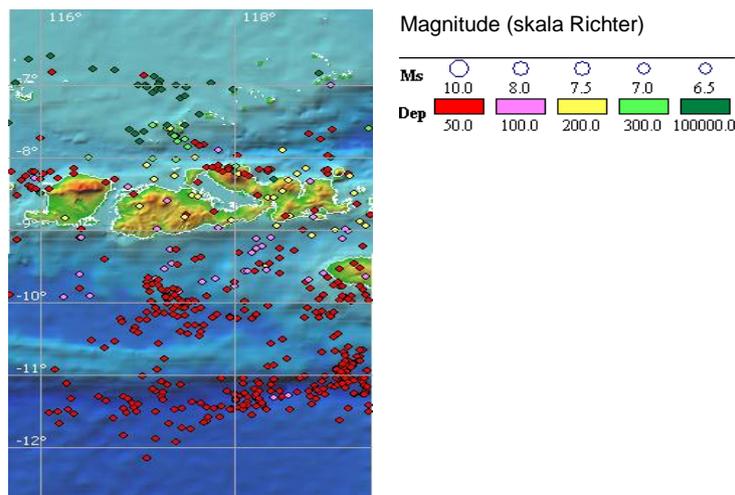
Gempabumi dangkal pada busur utara pulau disebabkan oleh aktifitas Patahan Busur Belakang Bali yang merupakan struktur geologi dari sesar naik yang meluas ke laut Flores dan Pulau Flores (Gambar 3).



**Figure 3:** Setting tektonik di wilayah Lombok region

Zona sesar naik terbagi ke dalam dua segmen: zona sesar naik Flores di barat dan zona sesar naik Wetar di timur. Namun, di jalur sepanjang 500 km ini, terjadi jejak-jejak patahan yang relatif pendek (20-30 km panjang), yang menunjukkan berbagai kondisi tektonik dan probabilitas gempabumi (Brink, U. et al, 2009; Sengara, W., 2002 ). Karena kondisi yang kompleks ini, hanya dua pernyataan umum tentang bahaya gempabumi lokal yang dapat dibuat untuk daerah ini: (1) Ada frekuensi tinggi gempabumi besar dan dangkal (*Database Tsunami Internasional*) dan (2) batas bawah periode kembalinya seismisitas di Laut Flores Bali diperkirakan 40 tahun untuk gempabumi 7,8 SR dan 160 tahun untuk gempabumi 8,4 SR (GFDRR, 2011). Sebuah sumber ilmiah sebelumnya menyatakan bahwa tidak ada gempabumi yang jelas terkait dengan Patahan busur belakang yang telah ditemukan berkedalaman lebih dari 25 km (McCaffrey dan Nabelek, 1987). Namun ini tidak dapat diverifikasi karena analisis *Database Tsunami Internasional* menunjukkan hasil yang berbeda.

Gambar 4 menunjukkan penyebaran historis pusat gempa yang terletak di wilayah selatan dan utara NTB, masing-masing di Samudera Hindia dan Laut Flores. Kedalaman pusat gempa berkisar 0-99 km yang mencakup kedalaman gempabumi dangkal sampai sedang.



**Gambar 4:** Penyebaran gempa bumi besar di wilayah NTB hingga 2004  
(Sumber: *Database Tsunami Internasional*)

Karena frekuensi gempa bumi dangkal dan besar di daerah tersebut yang relatif tinggi, secara alami terdapat potensi risiko tsunami yang mempengaruhi daerah pesisir selatan dan utara Nusa Tenggara Barat. Catatan sejarah tsunami terkait dengan zona subduksi adalah tsunami Sumba (1977), yang disebabkan oleh gempa bumi dengan pusat di zona subduksi. Tsunami Flores (1992) disebabkan oleh gempa bumi di zona busur belakang (Gempa Patahan Belakang), tetapi tidak mempengaruhi Lombok.

Selain zona subduksi di Patahan Sunda dan Patahan busur belakang, dua sumber bahaya tsunami lainnya telah diidentifikasi: longsor bawah laut dan aktivitas gunung berapi. Longsor bawah laut sering dikaitkan dengan gempa bumi. Jika longsor terjadi selama gempa bumi, hal tersebut dapat meningkatkan energi tsunami dan karena itu menambah efek terangkat oleh gerakan tektonik pada zona subduksi atau busur belakang (juga disebabkan oleh gempa bumi).

Setiap tsunami berbeda. Lombok mungkin mengalami dampak tsunami yang lebih kecil tetapi kasus terburuk juga mungkin terjadi. Penelitian tentang sejarah kejadian tsunami memberikan referensi penting tentang kemungkinan kejadian di masa depan. Untuk memahami kemungkinan dampak tsunami di masa depan kita bisa melihat kembali ke masa lalu dan belajar dari pengalaman sejarah (sebagaimana disebutkan di atas) dan/atau dapat menggunakan matematika dan menghitung daerah yang berpotensi tergenang menggunakan alat pemodelan genangan yang terkomputerisasi.

Sebuah peta bahaya tsunami menggambarkan daerah yang terdampak tsunami di suatu wilayah tertentu.

Seperti telah disebutkan, ada pendekatan yang berbeda-beda untuk menggambarkan zona bahaya tsunami. Pendekatan sederhana hanya mengandalkan perkiraan ketinggian maksimum gelombang tsunami di pantai,

informasi topografi dan geomorfologi dan, jika tersedia, pengamatan peristiwa sejarah tsunami yang terjadi di daerah masing-masing. Karena dampak dari tsunami sangat dipengaruhi oleh bentuk garis pantai, ketinggian permukaan tanah dan topografi dasar laut, penting untuk mempelajari pola-pola ini dan memahami pengaruhnya pada perkiraan tinggi gelombang dan daerah genangan.

Informasi lebih lanjut tentang pendekatan pemetaan bahaya tsunami sederhana dan berteknologi rendah telah disusun menjadi dokumen “Panduan Pemetaan Bahaya Tsunami untuk Tingkat Kabupaten” dan dapat diunduh dari TsunamiKit ([www.gitews.org/tsunami-kit](http://www.gitews.org/tsunami-kit)).

Untuk estimasi lebih canggih dari dampak tsunami di darat, pengkajian bahaya sering dilakukan dengan menggunakan hasil pemodelan genangan numerik, berdasarkan kerangka kerja geologi tertentu. Analisis ini membutuhkan data topografi (data elevasi di darat) dan data batimetri (data elevasi di bawah air) beresolusi tinggi, dan informasi tentang sumber tsunami yang potensial di daerah tersebut. Hasil pemodelan genangan tsunami disajikan sebagai wilayah yang berpotensi terendam serta perkiraan kedalaman air, kekuatan arus, ketinggian gelombang, dan waktu kedatangan gelombang.

Pemodelan genangan numerik dapat dilakukan dengan menggunakan skenario tsunami tunggal, berdasarkan pada satu sumber gempa dan magnitudo tertentu yang ditetapkan. Biasanya skenario yang dipilih adalah kasus terburuk atau skenario yang paling masuk akal untuk suatu wilayah tertentu. Peta yang dihasilkan menunjukkan daerah yang tergenang dengan skenario tersebut. Pendekatan ini mungkin cocok untuk daerah di mana skenario terburuk atau skenario yang paling mungkin sudah diidentifikasi. Di daerah di mana skenario tersebut belum diketahui, mungkin akan lebih tepat untuk mengevaluasi dampak dari tsunami yang berasal dari area-area sumber dan magnitudo yang berbeda. Ini disebut pendekatan multi-skenario, karena menggabungkan daerah yang tergenang akibat dari sejumlah tsunami (hipotesis) (atau skenario) yang berbeda-beda dalam satu peta.

Berikut ini, proses pemetaan bahaya yang dilakukan di Lombok dan hasil-hasil peta yang tersedia dijelaskan secara rinci.

### **3. Proses Pemetaan Bahaya Tsunami di Lombok**

Peta bahaya tsunami merupakan prasyarat bagi setiap inisiatif untuk mengembangkan kesiapsiagaan tsunami di tingkat lokal. Oleh karena itu, sebagai salah satu langkah pertama dari program pengembangan kapasitas PROTECTS untuk kesiapsiagaan tsunami di Lombok, telah disepakati untuk merevisi semua hasil pemetaan bahaya tsunami dan pendekatan yang ada dan menggali pengetahuan terbaru tentang sumber tsunami dan dampaknya untuk Lombok.

Selama pertemuan kelompok kerja bahaya tsunami dan pengkajian risiko di Lombok, para peserta dari BPBD Kota Mataram, Kabupten Lombok Timur dan Utara, BMKG, DLR, SAR, Distamben, PMI, TNI, POLRI, dan BAPPEDA berkumpul untuk mencapai pemahaman yang lebih baik tentang bahaya tsunami dan kemungkinan dampaknya bagi Lombok. Pertemuan tersebut diadakan pada tanggal 25 November 2011 di Mataram, diselenggarakan oleh BPBD Provinsi Nusa Tenggara Barat dengan dukungan dari GIZ IS. Dalam pertemuan tersebut, pendekatan pemetaan (dari DLR) dan produk-produk peta (dari Distamben) yang tersedia tersedia dipresentasikan untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh tentang informasi dasar yang sesuai. Selama lokakarya kelompok kerja merekomendasikan untuk menggunakan pendekatan multi-skenario dari DLR (lihat Bab 4.2 dan 5) untuk memberikan referensi bagi proses perencanaan evakuasi selanjutnya.

Rekomendasi ini disusun dengan mempertimbangkan beberapa hal. Peta-peta DISTAMBEN dibuat berdasarkan konsep zonasi yang mengandalkan fitur-fitur topografi dan tidak mempertimbangkan perbedaan dampak dari geangan tsunami yang dihasilkan oleh sumber tsunami yang berbeda-beda. Sementara, hasil pemodelan DLR menyediakan berbagai gambaran dampak tsunami di Lombok. Di sisi lain, diakui bahwa karena resolusi skala dari peta DLR yang besar, maka akan lebih tepat untuk menggunakan pendekatan berbasis topografi dari DISTAMBEN pada teluk kecil, terutama di pantai utara, karena relatif kecilnya daerah genangan di sana dan fitur yang paling penting bagi strategi evakuasi lokal adalah elevasi dari daratan yang dekat dengan pantai. Keuntungan lain dari peta DLR adalah bahwa peta-peta ini melingkupi seluruh daerah pesisir Lombok sedangkan produk referensi dari DISTAMBEN (lihat Bab 4.1) hanya tersedia untuk area kecil tertentu di pesisir Lombok.

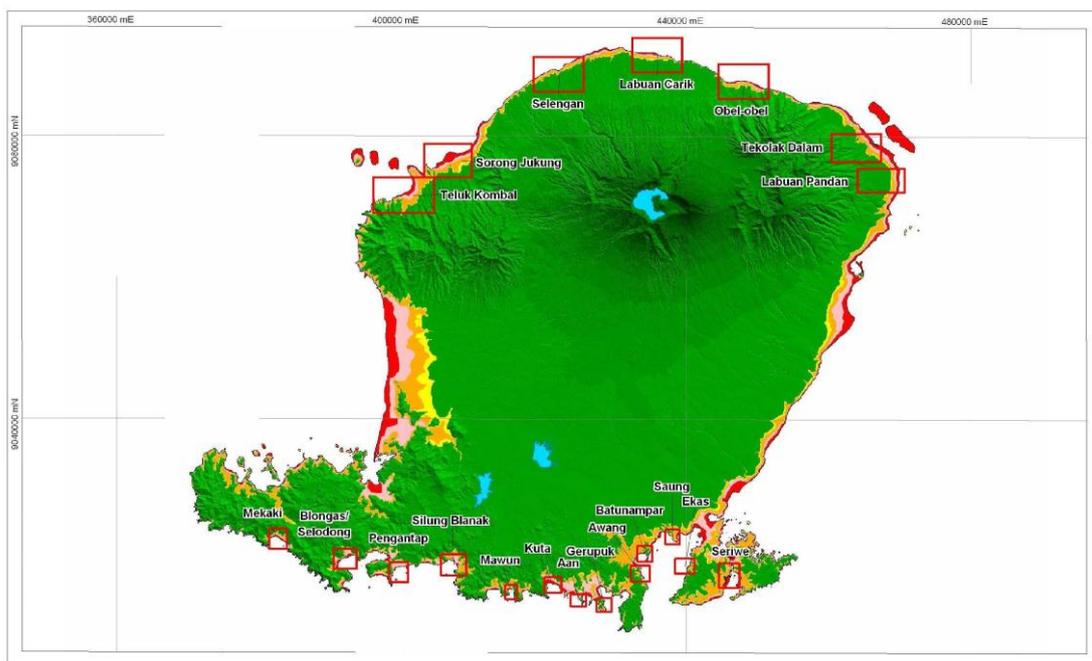
Berdasarkan rekomendasi ini, DLR mempresentasikan versi awal dari peta bahaya dalam pertemuan kelompok kerja pada tanggal 6 Maret 2012. Peta-peta dengan skala 1: 15 000 berdasarkan skenario-skenario tsunami yang telah dikalkulasi sebelumnya dari Patahan Sunda dan Patahan busur belakang dikembangkan untuk Kota Mataram dan Kepulauan Gili. Dalam pertemuan tersebut diputuskan untuk menyelesaikan peta detail (termasuk informasi lebih lanjut seperti waktu kedatangan tsunami, probabilitas bahaya, dll.) dan menyediakan hasil-hasil pemetaan kasar lebih lanjut (dengan skala 1: 100 000) untuk seluruh pesisir Lombok dalam beberapa bulan.

Peta-peta bahaya final, termasuk bentuk digital dan cetak dari produk dengan skala peta detail dan besar, telah diserahkan kepada BPBD Provinsi Nusa Tenggara Barat pada 6 Juli 2012.

Produk-produk peta yang ada untuk Lombok, termasuk produk final DLR serta produk referensi dari DISTAMBEN disajikan dalam bab berikut.

## 4. Peta bahaya yang tersedia untuk Lombok

### 4.1. DISTAMBEN

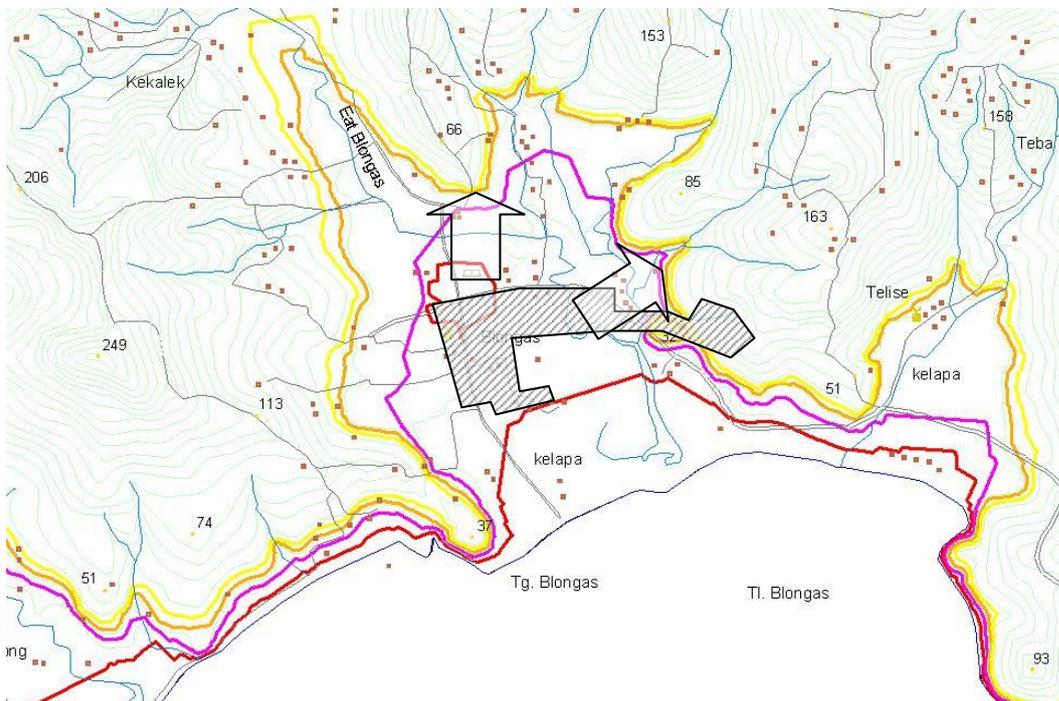


**Gambar 5:** Gambaran Lombok dengan area yang secara historis atau berpotensi terkena dampak tsunami  
(Sumber: Distamben 2011: Potensi Gempabumi dan Tsunami di Provinsi NTB)

Peta-peta telah dibuat untuk setiap area yang ditandai dalam Gambar 5. Peta-peta tersebut ditandai dengan kompilasi data yang tersedia secara bebas (misalnya dari BIG) dan informasi yang tersedia di tingkat lokal yang menunjukkan informasi topografi dasar, pemukiman penduduk dengan data kependudukan, informasi mengenai infrastruktur dan fasilitas umum serta daerah evakuasi yang direkomendasikan. Gambar 6 menjadi contohnya.

Peta tersebut pada dasarnya bergantung pada dua fitur topografi, yaitu jarak ke pantai dan data elevasi. Dalam semua peta, informasi ini selalu diatur dalam hubungannya dengan daerah pemukiman utama di dalam peta dan oleh karena itu memberikan estimasi sederhana namun bagus tentang situasi

bahaya lokal (misalnya, desa A terletak 1 km dari pantai dan 200m di atas permukaan laut). Selain itu, informasi tentang kondisi infrastruktur (jalan, akomodasi swasta, fasilitas umum) dan jumlah populasi memberikan data set yang baik tentang parameter kerentanan lokal. Kompilasi data juga menyediakan beberapa informasi yang bermanfaat tentang perencanaan evakuasi (misalnya bangunan bertingkat, rute evakuasi yang baik). Identifikasi infrastruktur komunikasi yang tersedia menjadi informasi yang berguna untuk membangun rantai peringatan lokal dan mekanisme respon. Rute dan tempat-tempat evakuasi yang direkomendasikan menjadi masukan berharga bagi strategi evakuasi lokal.



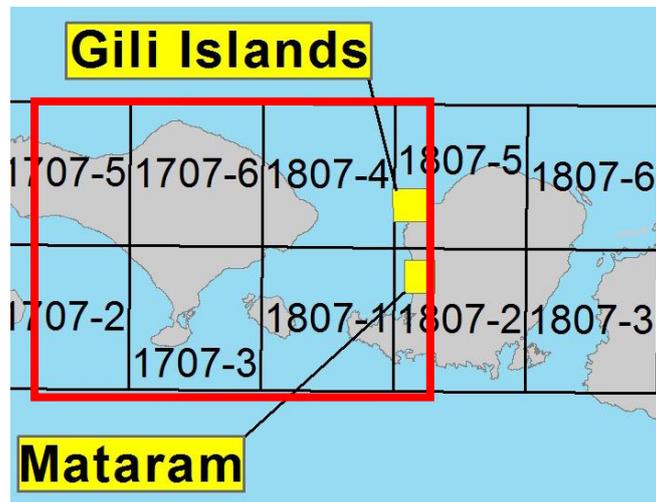
**Gambar 6:** Produk peta DISTAMBEN untuk Dusun Pengantap (Kab. Lombok Barat)

Singkatnya, produk peta DISTAMBEN dapat dilihat sebagai peta risiko dasar berdasarkan konsep zonasi bahaya yang sederhana dan tersedia untuk wilayah-wilayah pesisir tertentu dengan sebuah ancaman tsunami yang diasumsikan.

## 4.2. PROTECTS (DLR)

Skala Peta Bahaya Tsunami yang besar untuk seluruh garis pantai Samudera Hindia di Lombok tersedia pada skala 1:100.000 (Gambar 8).

*Database* untuk pendekatan ini terdiri dari hasil pemodelan tsunami yang disediakan oleh partner PROTECTS yaitu AWI (Alfred Wegener Institute) di lokasi pusat gempa ("*source grid*") untuk skenario-skenario tsunami di Patahan Sunda yang disediakan oleh GFZ (Pusat Penelitian Jerman untuk *Geosciences*), 2008 dan AIFDR 2010 (untuk lokasi pusat gempa di Patahan busur belakang). Area model meliputi pantai selatan Sumatera, Jawa, Bali, dan Lombok dan sebagian pantai utara Nusa Tenggara Barat. Untuk pendekatan ini data dasar didasarkan pada cakupan global data GEBCO untuk batimetri dan cakupan global data SRTM untuk topografi. Hasil pemodelan tsunami didasarkan pada set data global yang memberikan tingkat detail yang dapat digunakan hanya untuk skala peta 1:100.000 atau kurang.



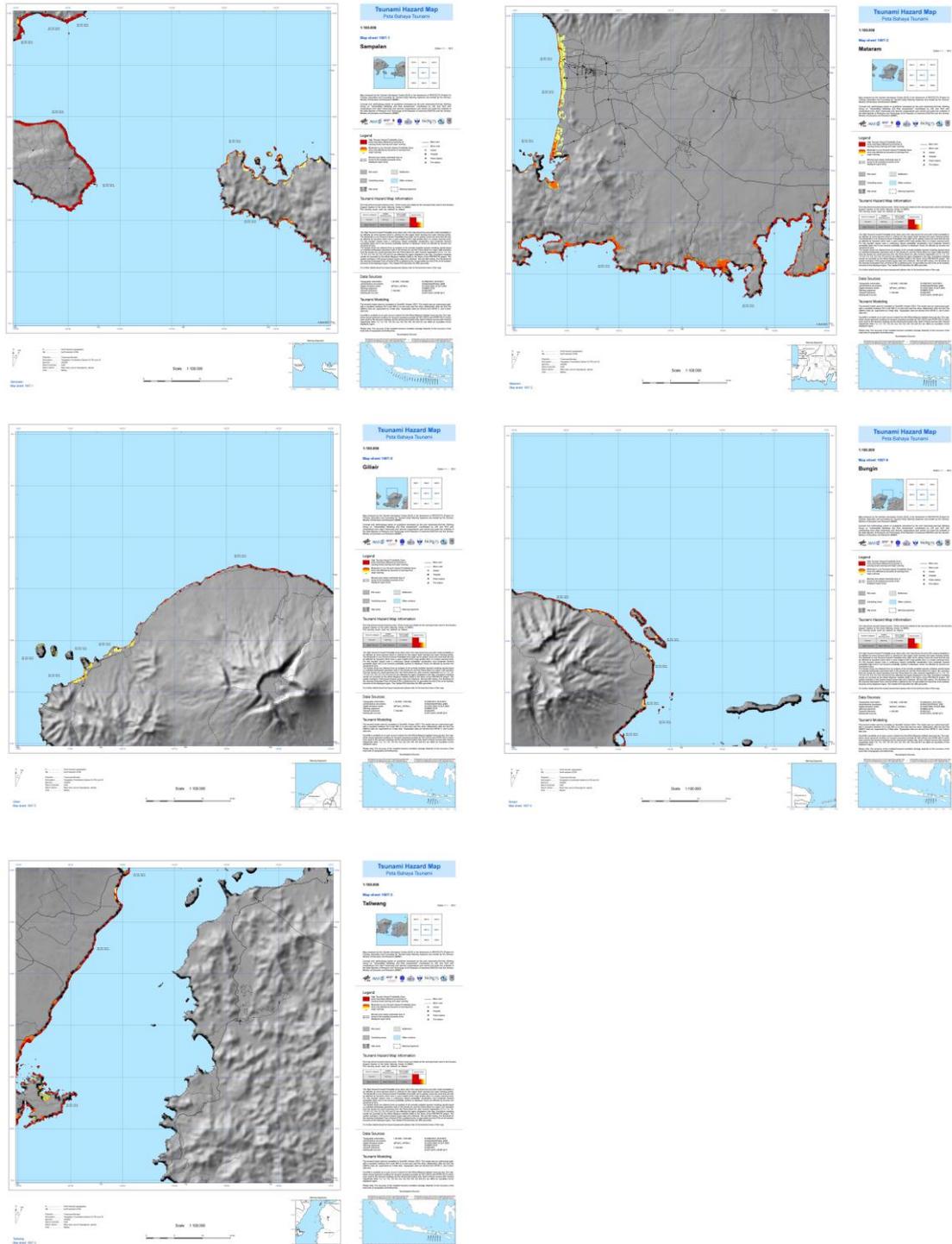
**Gambar 7:** . Peta-peta bahaya tsunami yang tersedia di skala 1:100 000 untuk Lombok

Jumlah dan lokasi lembar peta dan nomor peta didasarkan pada sistem referensi BIG (Badan Informasi Geospasial). Untuk area yang ditandai kuning tersedia peta detail dengan skala 1:15 000.

Untuk Kota Mataram dan Kepulauan Gili, telah dikembangkan Peta Bahaya Tsunami detail dengan skala 1:15 000 (Gambar 9/10).

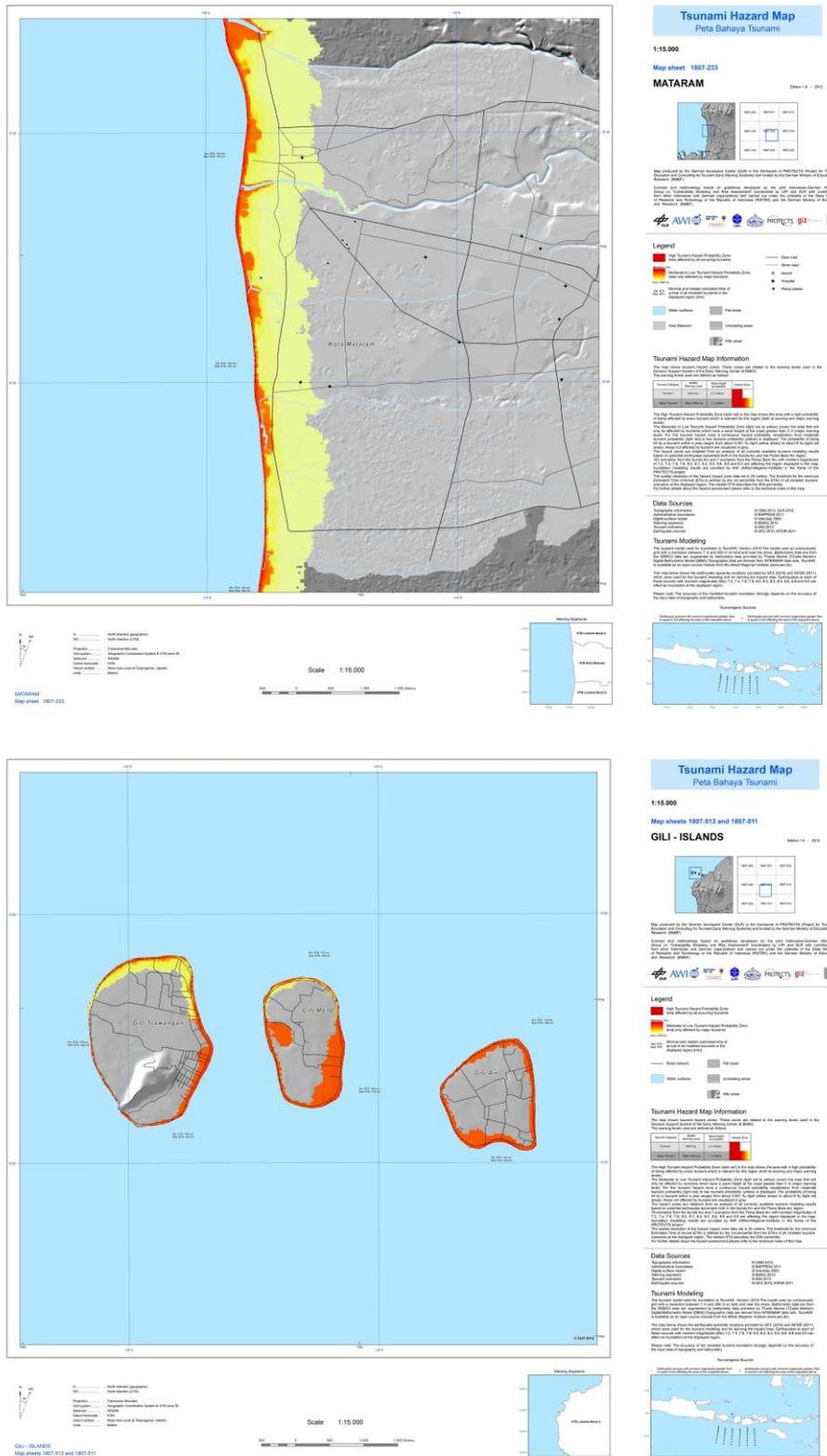
Konsep metodologis untuk menghasilkan peta bahaya detail (lihat Bab 5.2) sama seperti untuk seri peta bahaya 1:100 000. Untuk pemodelan genangan detail tersebut, digunakan TsunAWI versi Model 2010. Model ini menggunakan petak dengan resolusi antara 7 dan 200m di darat dan di dekat pantai. Data batimetri berasal dari kumpulan data GEBCO, ditambah dengan data batimetri yang disediakan oleh TCarta Marine (*Digital Bathymetric Model* (DBM) dari TCarta Marine). Data topografi berasal dari set data INTERMAP.

## Peta Bahaya Tsunami untuk Lombok dengan skala besar 1:100.000



**Gambar 8:** Peta Bahaya Tsunami yang tersedia pada skala 1:100.000 meliputi seluruh daerah pesisir Lombok

# Peta Bahaya Tsunami detail dengan Skala 1:15.000 untuk Kota Mataram dan Kepulauan Gili

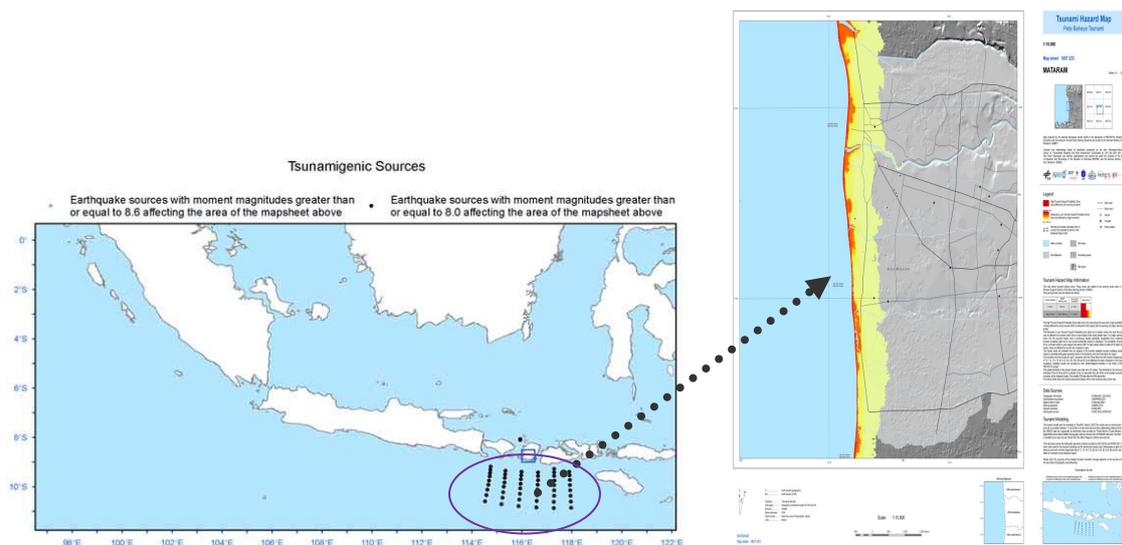


**Gambar 9/10:** Peta Bahaya Tsunami untuk Kota Mataram (atas) dan Kepulauan Gili (bawah) pada skala 1:15 000

## 5. Pemetaan Bahaya Tsunami dalam Kerangka Kerja PROTECTS

### 5.1. Interpretasi Peta

Peta-peta bahaya tsunami yang dipresentasikan (baik produk dengan skala besar dan detail) merupakan peta multi-skenario. Peta-peta tersebut memvisualisasikan dampak pada wilayah pesisir Lombok berdasarkan sejumlah besar tsunami yang mungkin terjadi dan disebabkan oleh besaran gempa yang berbeda-beda dan berasal dari lokasi yang berbeda-beda dalam zona subduksi (gambar 11). Penting untuk dicatat bahwa bahaya tsunami yang berkaitan dengan Patahan busur belakang hanya dipertimbangkan pada produk peta detail (sejauh data yang tersedia hingga Maret 2012), untuk produk skala besar bahaya tsunami hanya berkaitan dengan patahan Sunda. Longsor bawah laut dan kegiatan vulkanik tidak dipertimbangkan dalam peta. Hal ini disebabkan karena informasi yang sangat terbatas mengenai probabilitas, kejadian, dan dampak yang mungkin timbul dari tsunami jenis ini.

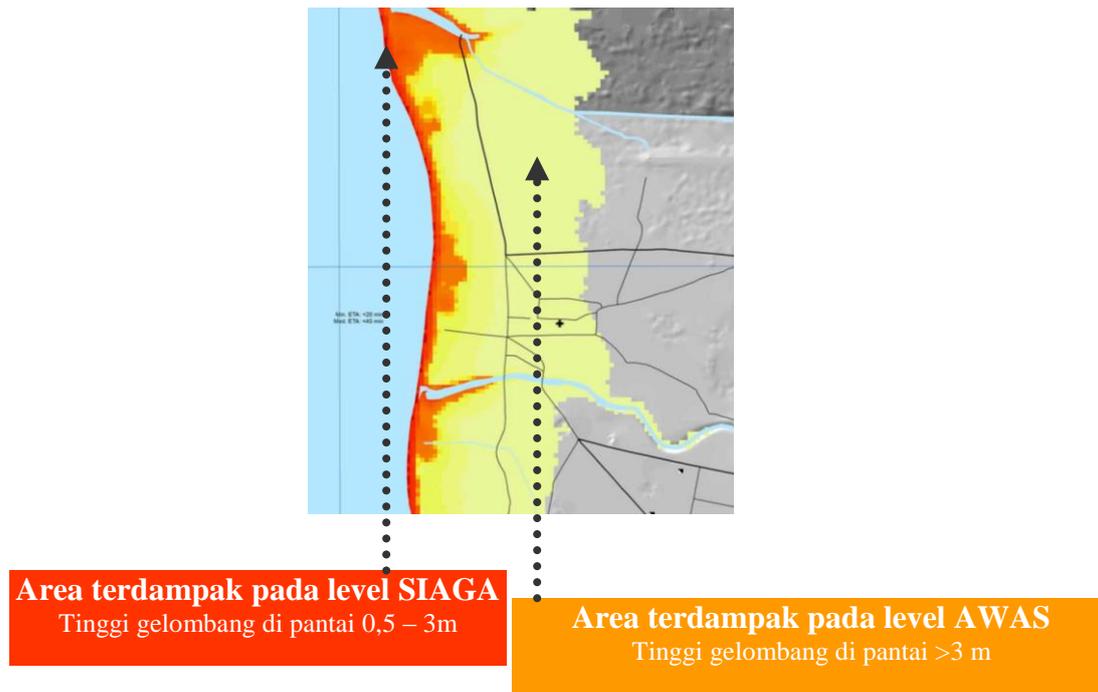


Sejumlah sumber tsunami hipotetis dengan lokasi dan magnitudo gempa yang berbeda digunakan dalam proses pemetaan (di sini sebagai contoh bagi Kota Mataram)

Warna merah dan kuning menunjukkan daerah yang terdampak dari skenario yang diperhitungkan. Area kuning hanya terdampak oleh tsunami yang lebih besar, sedangkan zona merah terdampak bahkan oleh tsunami yang lebih kecil

**Gambar 11:** Pendekatan Multi-skenario DLR

Peta bahaya tsunami multi-skenario memberikan zonasi: Peta bahaya multi-skenario mengelompokkan semua skenario yang terkumpul menjadi dua zona. Zona merah menunjukkan area yang terkena dampak tsunami dengan ketinggian gelombang di pantai antara 0,5 dan 3 m. Zona oranye/kuning hanya dipengaruhi oleh tsunami besar dengan ketinggian gelombang di pantai > 3 m. Kedua zona berkaitan dengan tingkat peringatan InaTEWS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 di bawah ini.



**Gambar 12:** Zonasi berdasarkan ketinggian gelombang dan tingkat peringatan InaTEWS

Ketika mengkaji bahaya tsunami, penting untuk membicarakan tentang probabilitas. Tsunami adalah contoh bencana khusus "frekuensi rendah - dampak tinggi". Artinya, tsunami tidak sering terjadi, namun jika terjadi, tsunami sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kerusakan besar. Rata-rata setiap dua tahun tsunami yang merusak terjadi di Indonesia. Namun, di lokasi pantai tertentu, interval pengulangan kejadian tsunami yang merusak dapat bervariasi 30-50 bahkan 200-300 tahun. Di Indonesia, sebagian besar tsunami disebabkan oleh gempa bumi bawah laut. Tsunami yang dipicu oleh aktivitas gunung berapi jarang terjadi. Tsunami yang lebih kecil terjadi lebih sering daripada tsunami besar (dan kasus terburuk).

Peta-peta bahaya multi-skenario memberikan informasi tentang probabilitas kejadian tsunami (Gambar 13). Warna merah menunjukkan area yang akan terdampak oleh semua kejadian tsunami yang terjadi. Kisaran warna oranye hingga kuning muda menunjukkan probabilitas suatu daerah akan terdampak

oleh tsunami besar (dengan tinggi gelombang di pantai > 3m). Daerah abu-abu tidak akan terdampak oleh tsunami (berdasarkan hasil pemodelan). Selanjutnya perkiraan waktu kedatangan (ETA) minimum dan median dari semua tsunami yang dimodelkan dicantumkan di wilayah yang ditampilkan.



**Gambar 13:** Probabilitas tsunami dan ETA yang divisualisasikan dalam peta

## 5.2. Metodologi

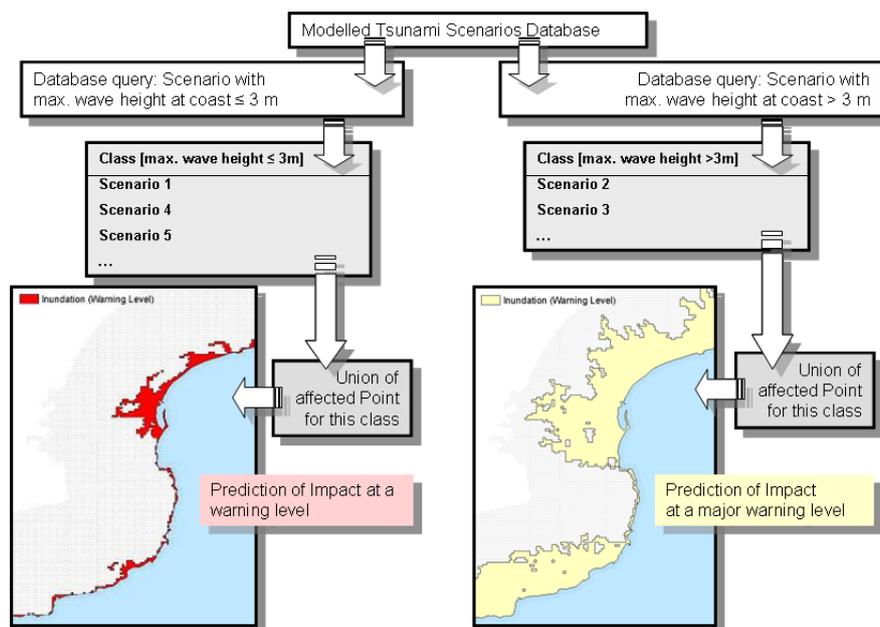
Pendekatan yang digunakan untuk pembuatan peta bahaya tsunami adalah kombinasi analisis probabilistik dan hasil pemodelan tsunami multi-skenario. Sepanjang Patahan Sunda (dan sebagian kecil di sepanjang Patahan busur belakang), telah dihitung sejumlah besar skenario tsunami yang realistis dengan lokasi sumber tsunami dan besarnya gempabumi yang berbeda-beda. Semua skenario bersama-sama mencakup seluruh pesisir Samudera India di Sumatera, Jawa, Bali, dan Lombok. Skenario-skenario ini digunakan sebagai data masukan bagi peta bahaya. Pendekatan ini didasarkan pada “teknik pohon kejadian” dengan langkah berbeda-beda dan mempertimbangkan berbagai tingkat peringatan yang diterbitkan dari Pusat Peringatan Tsunami. Tingkat peringatan telah ditetapkan oleh InaTEWS (BMKG 2012) dan didefinisikan sebagai berikut (Gambar 14):

Tingkat	Perkiraan Tinggi Gelombang Tsunami
AWAS	Tinggi gelombang $\geq 3$ meter
SIAGA	Tinggi gelombang antara 0,5 sampai 3 meter
WASPADA	Tinggi gelombang $< 0,5$ meter

**Gambar 14:** Tingkat peringatan dalam InaTEWS (BMKG 2012)

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

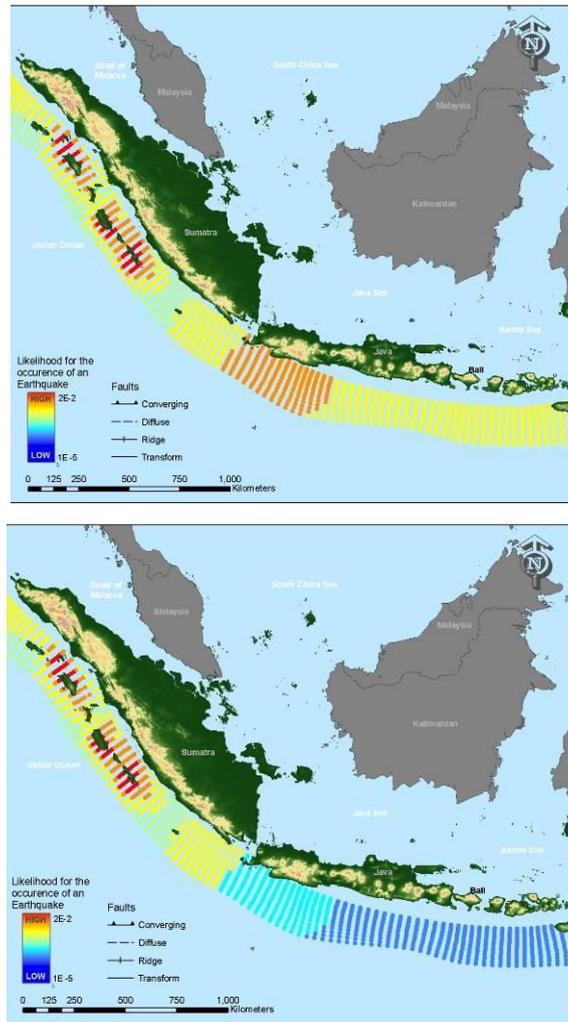
- 1. Menentukan skenario tsunami yang mempengaruhi area yang menjadi perhatian:** Sebagai langkah pertama, semua skenario yang mempengaruhi area yang bersangkutan dipilih dari *Database* Skenario Tsunami. Ini diwujudkan oleh kueri data spasial dan memilih semua skenario yang setidaknya menggenangi satu titik di daratan pada area yang bersangkutan (misalnya, sebuah lembar peta). Skenario-skenario yang dipilih menjadi dasar bagi pengkajian lebih mendalam.
- 2. Klasifikasi skenario bergantung pada tingkat peringatannya:** Sebagai langkah kedua, semua skenario yang ada dikelompokkan menjadi dua kelas tingkat peringatan. Karena itu, sebuah pertanyaan (kueri) *database* “Skenario mana yang menghasilkan tinggi gelombang di pantai lebih dari 3 meter” dijalankan. Dengan menetapkan gambaran genangan terkonsolidasi dari setiap kelas, Anda mendapatkan peta pertama yang menunjukkan area genangan maksimum untuk tingkat-tingkat peringatan (lihat Gambar 15). Untuk produk akhir peta bahaya, hanya ditampilkan zona yang dihasilkan oleh kelas “tinggi gelombang di pantai kurang dari atau sama dengan 3 m” (zona merah dalam Gambar 15). Zona lain digantikan dengan perhitungan probabilitas dampak tsunami kontinu, yang dijelaskan pada langkah selanjutnya.



**Gambar 15:** Pengelompokan hasil-hasil pemodelan tsunami yang bergantung pada tingkat peringatan

- 3. Estimasi probabilitas yang didistribusikan spasial untuk gempabumi dengan magnitudo tertentu di sepanjang Patahan Sunda:** Karena gempabumi dasar laut dengan magnitudo tinggi terjadi lebih jarang daripada gempabumi dengan magnitudo rendah, skenario dengan magnitudo gempabumi tinggi (Magnitudo momentum:  $M_w$ ) harus dipertimbangkan dengan probabilitas terjadi lebih rendah dalam analisis ini. Sama dengan hal itu, beberapa kawasan di sepanjang Patahan Sunda menunjukkan kegiatan seismik lebih tinggi daripada kawasan lainnya dan beberapa titik dicirikan oleh kondisi-kondisi geologis khusus —seperti sambungan lempeng-lempeng kuat di zona subduksi— yang memberikan probabilitas kejadian lebih tinggi bagi gempabumi dengan magnitudo tinggi. Ini berarti bahwa sebuah area di daratan akan digenangi oleh tsunami yang disebabkan oleh gempabumi dengan magnitudo tinggi pada sebuah kawasan dengan kegiatan seismik rendah, kemungkinannya lebih rendah daripada sebuah kejadian dengan magnitudo rendah di area gempabumi “hot spot”. Oleh karena itu, pengkajian probabilitas kejadian gempabumi harus dilakukan.

Analisis ini dibagi menjadi dua langkah perhitungan. Pertama, kawasan Patahan Sunda dizonasikan ke dalam tiga kawasan yang lebih kecil yang menunjukkan berbagai aktifitas seismik (ini sering kali dipublikasikan, misalnya, Latief, Puspito & Imamura 2000, dan dapat juga ditentukan oleh analisis statistik dari data gempabumi historis). Pada zona ini, probabilitas berulangnya setiap  $M_w$  secara tahunan diperkirakan menggunakan data gempabumi historis (NEIC). Untuk memperbaiki pengkajian ini, investigasi topikal seperti model deterministik dipertimbangkan dengan pembobotan probabilitas kejadian antara 1 (untuk *hot spot* yang ditentukan dengan probabilitas tinggi bagi kejadian gempabumi besar) dan 0,1 (untuk titik yang ditentukan sebagai kurang lebih “tidak aktif”). Gambar 16 menunjukkan satu contoh untuk hasil probabilitas kejadian gempabumi yang diberi bobot untuk  $M_w$  tertentu. Maka, setiap sumber tsunamigenik yang digunakan memiliki probabilitas kejadian masing-masing (harap perhatikan: probabilitas bahwa sebuah gempabumi juga menghasilkan tsunami besar dicakup dengan pendekatan model tsunami numerik).

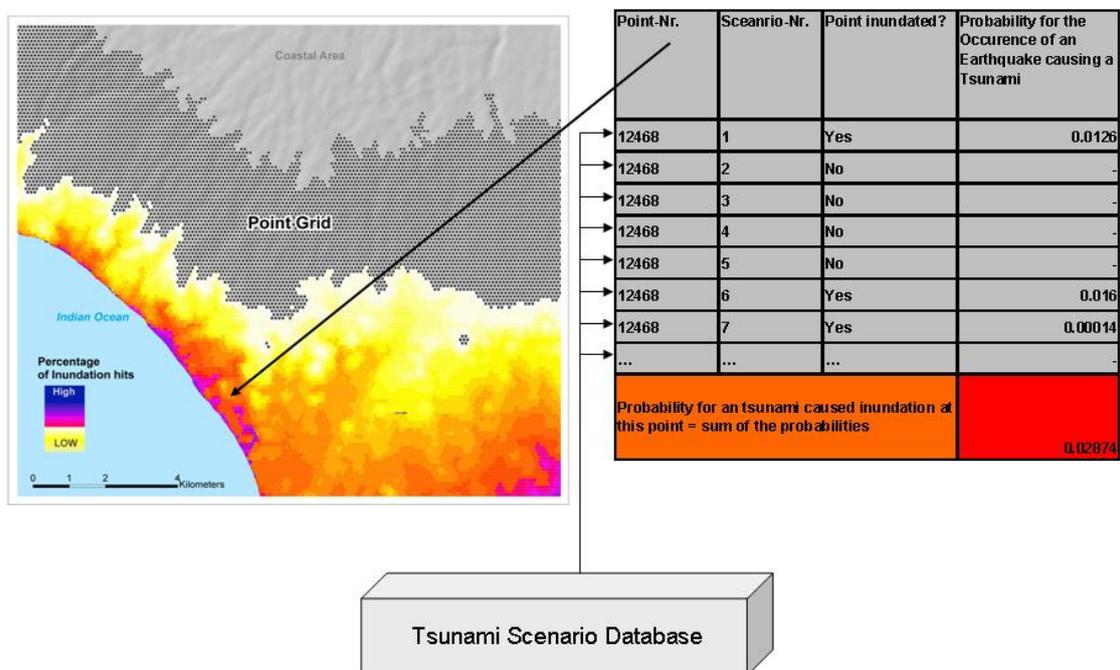


**Gambar 16:** Pengkajian kecenderungan bagi terjadinya gempa bumi dengan magnitudo tertentu yang dibedakan secara spasial di sepanjang Patahan Sunda (atas: Mw 8.0, bawah: Mw 9.0)

- 4. Menentukan probabilitas genangan yang didistribusikan secara spasial:** Dalam langkah selanjutnya, dihitung lebih rinci diferensiasi spasial tentang probabilitas bahwa suatu daerah pesisir akan tergenang (kemungkinan genangan spasial). Hasil skenario-skenario tsunami yang dimodelkan mencakup dampak pada daratan, yakni area di daratan yang akan digenangi akibat suatu tsunami dengan lokasi dan magnitudo tertentu. Tentu saja, area dampak tunggal dari berbagai skenario dapat saling tumpang tindih (karena lokasi sumber tsunami tidak terlalu jauh satu sama lain, atau lokasinya sama dan skenarionya 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, suatu titik pada daratan dekat pantai akan digenangi lebih sering daripada titik yang jauh dari pantai. Untuk perhitungan probabilitas genangan, daerah pesisir bersangkutan disajikan sebagai petak titik dengan satu petak panjangnya hingga 100 meter. Jadi,

untuk setiap titik pada petak (setiap 100 meter ke arah daratan di sepanjang pantai), skenario yang menghantam titik ini akan dipilih. Untuk skenario terpilih, probabilitas kejadian dari sumber tsunaminya (ditaksir dalam langkah 3) dirangkum dan dibagi dengan jumlah skenario yang digunakan. Jadi, probabilitas kejadian mewakili probabilitas bahwa titik ini akan terkena oleh tsunami dalam satu tahun. Gambar 17 menunjukkan kueri (pertanyaan) dari skenario-skenario yang relevan dan probabilitas total pada satu titik di daratan. Untuk tampilan di peta bahaya, titik-titik diskrit di daratan diinterpolasikan.

Gambar 18 merangkum seluruh arus kerja yang ditunjukkan untuk mendapatkan peta probabilitas dampak tsunami yang terjadi dengan teknik pohon kejadian.



**Gambar 17:** Contoh penghitungan probabilitas genangan untuk satu titik di daratan

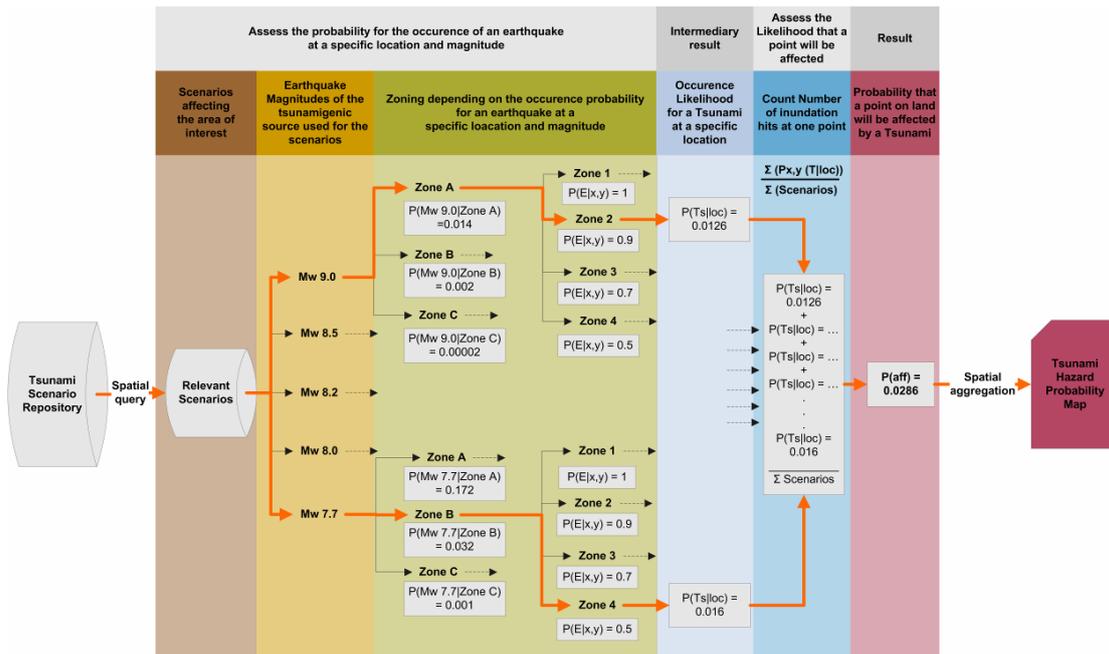


Figure 18: Gambaran alur kerja untuk mengolah peta-peta probabilitas bahaya

Menggunakan pendekatan ini, diperoleh kuantifikasi probabilitas bahaya secara kontinu. Untuk tampilan peta bahaya, hanya ditunjukkan probabilitas untuk zona peringatan Awasi (probabilitas sedang hingga rendah). Area yang akan terdampak oleh situasi tingkat peringatan (Siaga) ditampilkan pada peta bahaya sebagai zona merah yang merangkum probabilitas tsunami yang dikuantifikasi hingga probabilitas tsunami tinggi. Zona diperoleh seperti dijelaskan pada langkah 1.

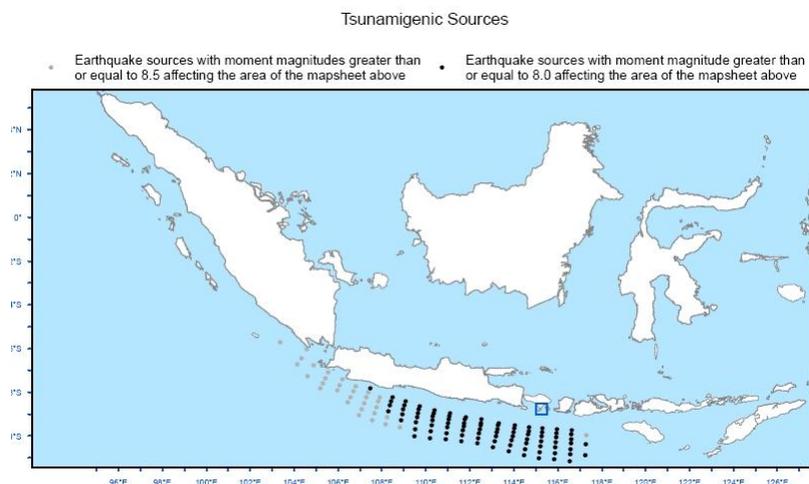
5. **Menggabungkan probabilitas kontinu dengan zona peringatan “Siaga”:** Sebagai langkah terakhir, probabilitas dampak tsunami kontinu dilampirkan dengan zona "tingkat peringatan Siaga" dari langkah 2 dalam peta bahaya.
6. **Memasukkan parameter tambahan ke dalam peta:** Sebagai pelengkap bagi informasi tentang area genangan, peta bahaya berisi lebih banyak parameter yang menunjukkan sifat bahaya potensi tsunami di daerah pesisir. Setiap skenario yang dimodelkan terdiri atas *Perkiraan Waktu Kedatangan (Estimated Time of Arrival, ETA)* bagi gelombang tsunami pertama yang merusak yang menghantam pantai. ETA dapat sangat bervariasi untuk berbagai skenario, bergantung pada jarak antara pantai dan sumber tsunamigenik dan magnitudo gempa bumi. Untuk mendapatkan nilai valid ETA dari semua skenario yang ada, dua nilai ditunjukkan dalam peta bahaya. ETA Min. (minimum) 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. (median) ditambahkan ke titik di dalam peta. Nilai ini adalah Median (50%-nilai) ETA minimum dari semua skenario yang relevan bagi area bersangkutan. Nilai-nilai ini dapat diambil sebagai perkiraan waktu yang tersedia untuk bereaksi setelah terjadi gempa bumi (lihat Gambar 19).



**Gambar 19:** Contoh nilai ETA yang ditampilkan dalam peta-peta bahaya

Selanjutnya, sumber tsunamigenik yang relevan bagi kawasan yang dibahas ditampilkan pada peta bahaya dalam bentuk bulatan/titik. Bulatan-bulatan 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 Patahan Sunda) dan sumber dengan magnitudo rendah (yang biasanya lebih dekat ke daerah yang bersangkutan). Gambar ini dapat dipakai untuk mengkaji apakah gempa bumi akan menghasilkan tsunami di area tersebut (lihat Gambar 20).



**Gambar 20:** Contoh sumber-sumber tsunamigenik yang terlihat pada peta

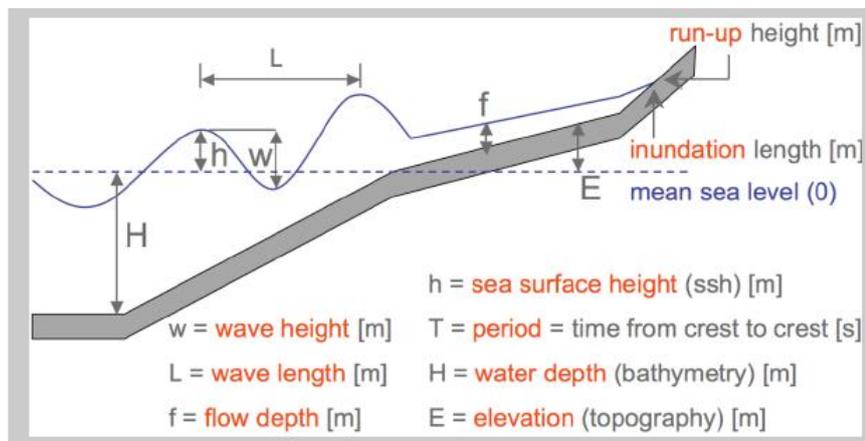
## 6. Definisi-Definisi

Pada bagian ini kami memperkenalkan beberapa istilah umum dan definisi yang digunakan di seluruh dokumen ini. Istilah-istilah ini digunakan sesuai dengan Glosarium Tsunami UNESCO-IOC. Berikut ini diringkas secara singkat beberapa istilah yang penting.

**Sumber tsunamigenik:** Sumber yang menyebabkan Tsunami. Dalam konteks ini, ini mengacu pada lokasi dari gempa bumi bawah laut dengan magnitudo yang tertentu.

**Daerah genangan Tsunami:** Area yang digenangi air akibat tsunami.

**Perkiraan Waktu Kedatangan / Waktu Kedatangan Tsunami (ETA):** Waktu kedatangan tsunami di lokasi yang tertentu, seperti diperkirakan dari pemodelan berdasarkan kecepatan dan refraksi gelombang tsunami saat gelombang bergerak dari sumber. ETA diperkirakan dengan presisi yang sangat bagus jika batimetri dan sumber diketahui dengan baik (kurang dari beberapa menit). Gelombang yang terbesar belum tentu gelombang yang pertama, namun biasanya salah satu dari lima gelombang pertama.



**Kedalaman air (batimetri):** Kedalaman air yang diukur dari rata-rata permukaan laut ke bawah [m].

**Elevasi (topografi):** Ketinggian daratan di atas rata-rata permukaan laut [m].

**Ketinggian gelombang:** Ketinggian gelombang dari puncak ke palung dalam Meter [m].

## 7. Daftar Singkatan

AIFDR	=	Australia–Indonesia Facility for Disaster Reduction
AWI	=	Alfred Wegener Institute
BAPPEDA	=	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Local Planning Board)
BIG	=	Badan Informasi Geospasial
BMKG	=	Badan Metereologi dan Geofisika
BPBD	=	Badan Penanggulangan Bencana Daerah
DISTAMBEN	=	Dinas Pertambangan dan Energi
DLR	=	German Aerospace Center
ETA	=	Estimated Time of Arrival
GFZ	=	German Research Centre for Geosciences
GITEWS	=	German-Indonesian Tsunami Early Warning System
GIZ-IS	=	German International Cooperation – International Services
GEBCO	=	General Bathymetric Chart of the Oceans
InaTEWS	=	Indonesian Tsunami Early Warning System
NEIC	=	National Earthquake Information Center
PMI	=	Palang Merah Indonesia (Indonesian Red Cross)
POLRI	=	Kepolisian Negara Republik Indonesia
PROTECTS	=	Project for Training, Education and Consulting for Tsunami Early Warning Systems
SAR	=	Search and Rescue
SRTM	=	Shuttle Radar Topographic Mission
TNI	=	Tentara Nasional Indonesia
WH	=	Wave Height



GIZ-International Services  
Menara BCA 46th Floor  
Jl. M H Thamrin No.1  
Jakarta 10310 –Indonesia

Tel.: +62 21 2358 7571  
Fax: +62 21 2358 7570

[www.giz.de](http://www.giz.de)  
[www.gitews.org/tsunami-kit](http://www.gitews.org/tsunami-kit)



**Project for Training, Education and Consulting for  
Tsunami Early Warning System (PROTECTS)**  
Capacity Development in Local Communities

