



## Dokumentasi Teknis

### **Peta Bahaya Tsunami untuk Kabupaten Cilacap**

**Peta Bahaya Tsunami Multi-skenario untuk Kabupaten Cilacap, Sekala 1:100.000**

**Peta Bahaya Tsunami Multi-skenario untuk Kota Cilacap, Sekala 1:30.000**

dengan zonasi berdasarkan ketinggian gelombang di pantai (sesuai dengan tingkat peringatan InaTEWS) beserta kemungkinan daerah yang terkena tsunami.

Disampaikan oleh  
Kelompok Kerja Cilacap untuk Pemetaan Bahaya Tsunami

disusun oleh  
DLR / GTZ

Juni 2010

## Daftar isi

1. Ringkasan Eksekutif	3
2. Latar Belakang Peta Bahaya Tsunami untuk Kabupaten Cilacap	5
3. Latar Belakang Proses Pemetaan	9
3.1. Kerjasama Jerman-Indonesia dalam Kerangka InaTEWS	9
3.2. Kelompok Kerja Indonesia-Jerman untuk Pemodelan Kerentanan dan Kajian Resiko	10
3.3. Pemetaan Bahaya Tsunami dalam Rangka GITEWS	11
3.4. Proses Pemetaan Bahaya Tsunami di Cilacap	11
4. Metodologi	15
5. Peta	22
6. Definisi	25
8. Singkatan	27
9. Bibliografi	30

## 1. Ringkasan Eksekutif

Kabupaten Cilacap merupakan salah satu daerah berisiko tinggi terhadap bahaya tsunami di Indonesia karena jika tsunami besar terjadi di wilayah Cilacap dan sekitarnya akan membawa dampak yang parah pada daerah sepanjang pantai yang dihuni penduduk dengan kepadatan yang tinggi. Banyak wilayah utama pembangunan Cilacap, terutama industri pertambangan minyak terletak langsung menghadap garis pantai Samudra Hindia. Di bawah dasar laut Samudra Hindia tersebut, beberapa ratus kilometer sebelah selatan Cilacap, terletak salah satu zona utama tumbukan lempeng tektonik bumi, yang merupakan sumber utama gempa bumi pencetus tsunami. Dengan demikian, para ahli geologi dan ilmuwan tsunami menggolongkan Cilacap sebagai daerah berisiko tinggi tsunami.

Cilacap telah mengalami gempa bumi besar dan tsunami di masa lalu. Karena dekatnya jarak ke zona subduksi dan sejarah gempa, kalangan ilmuwan memperkirakan tsunami bisa terjadi lagi di masa yang akan datang dan mempengaruhi Cilacap, meskipun prediksi yang tepat belum mungkin ditetapkan. Langkah-langkah persiapan adalah kunci untuk menanggulangi bahaya tsunami, dan pengembangan strategi kesiapsiagaan lokal sangat penting dilakukan. Hal ini memerlukan pemahaman yang baik tentang bahaya tersebut. Sebuah peta resmi bahaya tsunami menyediakan referensi penting bagi pengembangan strategi kesiapsiagaan kepada semua pemangku kepentingan.

Keberadaan peta resmi bahaya tsunami diperlukan sebagai acuan dasar dan alat perencanaan yang paling penting untuk mengembangkan strategi evakuasi dan peta untuk kabupaten Cilacap. Peta bahaya juga sangat diperlukan untuk perencanaan penggunaan lahan dan pengembangan langkah-langkah jangka menengah untuk mengurangi kemungkinan dampak tsunami. Publikasi dari peta bahaya tsunami resmi di tingkat kabupaten menjadi tanggung jawab pemerintah daerah.

Tulisan ini merupakan dokumen teknis yang menjelaskan proses dan konsep-konsep teknis yang mendasari pengkajian bahaya dan proses pemetaannya. Peta tersebut telah disusun dalam rangka pemantapan System Peringatan Dini Tsunami di Indonesia (InaTEWS).

Tujuan dari dokumen ini adalah untuk memberikan informasi latar belakang proses

pemetaan bahaya tsunami kepada para pengambil keputusan di Cilacap. Dengan informasi ini diharapkan akan dapat mendukung diskusi lebih lanjut dan membantu untuk memulai proses pengesahan peta. Adapun peta yang akan dijelaskan di sini adalah:

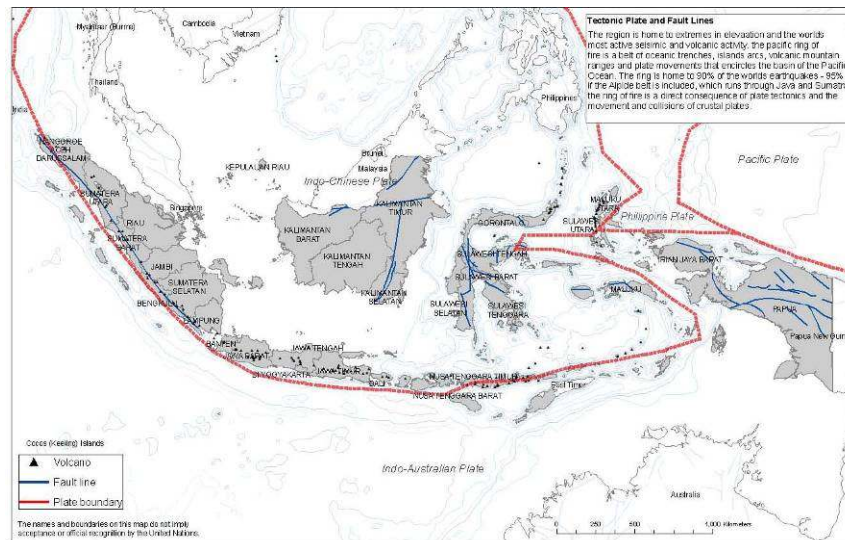
- Peta Bahaya Tsunami multi-skenario untuk Kabupaten Cilacap, skala 1:100.000
- Peta detil Bahaya Tsunami multi-skenario untuk Kota Cilacap, skala 1:30.000

Peta tersebut menggambarkan dua zona berdasarkan ketinggian gelombang di pantai (sesuai dengan dua tingkat peringatan InaTEWS), kemungkinan wilayah yang terkena tsunami, dan waktu perkiraan kedatangan tsunami.

Peta tersebut adalah produk dari proyek antar instansi termasuk lembaga pemerintah Cilacap, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan mitra dari GITEWS (Kerjasama Jerman- Indonesia untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami). Lembaga-lembaga yang terlibat tersebut telah menyetujui sebuah pendekatan pemetaan dan metodologinya. Peta-peta tersebut dihasilkan oleh DLR (Pusat Ruang Angkasa Jerman). DLR dan Lembaga Kerjasama Teknis Jerman (GTZ) telah menyusun sebuah dokumen teknis. Kelompok Kerja Cilacap untuk Pemetaan Bahaya Tsunami telah melakukan peninjauan dokumen di Agustus 2010. Dokumen tersebut telah diperbaharui untuk menggabungkan hasil dari simulasi rinci genangan di September 2010.

## **2. Latar Belakang Peta Bahaya Tsunami untuk Kabupaten Cilacap**

Kejadian Tsunami sangat sering terjadi di pantai selatan Jawa - di mana Cilacap terletak di daerah tersebut - karena wilayah tersebut merupakan wilayah perbatasan antara lempeng Australia dan lempeng Sunda yang memiliki aktivitas gempa yang tinggi. Zona subduksi tersebut merupakan daerah sumber tsunami utama yang mungkin dapat mempengaruhi Cilacap. Diperkirakan gelombang tsunami dari daerah ini memerlukan hanya 50 hingga 100 menit untuk mencapai pantai.



**Gambar 1: Daerah Sumber Tsunami**

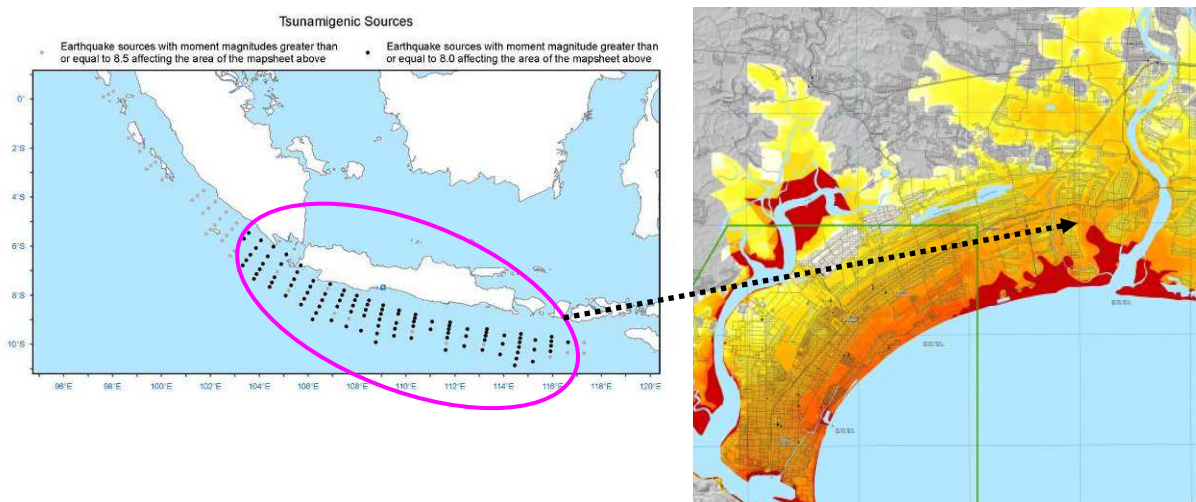
Salah satu peristiwa tsunami terbesar terkini di masa lalu adalah peristiwa tsunami yang dikenal dengan sebutan tsunami Pangandaran, terjadi setelah gempa pada tanggal 17 Juli 2006 dengan besaran momen sebesar 7.7. Gempa bumi tersebut terjadi sebagai akibat dari dorongan-patahan di perbatasan antara dua lempeng tektonik dan menghasilkan gelombang tsunami yang menyertainya setinggi 3-5 meter (Cousins et al., 2006) yang melanda pantai selatan Pulau Jawa, Indonesia.

Selain akibat dari dorongan-patahan di Palung Sunda, tanah longsor bawah laut juga ditengarai dapat menyebabkan bahaya tsunami di Selatan Jawa. Tanah longsor ini sering berkaitan dengan gempa bumi dan kemudian berpotensi meningkatkan energi tsunami. Diduga bahwa gelombang run-up ekstrim setinggi 20m di Permisan selama tsunami Jawa Tengah 2006 itu disebabkan oleh tanah longsor bawah laut (Brune et al, 2010).

Setiap tsunami selalu berbeda! Cilacap mungkin menderita dampak tsunami yang lebih kecil pada saat itu, tapi kasus terburuk mungkin saja terjadi. Penelitian tentang peristiwa sejarah tsunami memberikan informasi penting tentang kejadian yang mungkin terjadi di kemudian hari. Untuk memahami apa yang mungkin terjadi sebagai dampak tsunami di masa depan kita bisa melihat ke belakang ke masa lalu dan belajar dari pengalaman historis (USGS, 2006) dan / atau dapat menggunakan matematika untuk menghitung daerah yang berpotensi tergenang melalui pemodelan-komputerisasi genangan.

Peta bahaya tsunami umumnya menggambarkan daerah yang terkena tsunami di suatu wilayah. Terdapat berbagai jenis peta bahaya yang berbeda. Dalam beberapa kasus, ada peta yang hanya menampilkan peta wilayah tergenang tsunami yang dianggap sebagai skenario yang paling mungkin. Pada kasus yang lain, ada juga peta yang menunjukkan wilayah yang terkena dampak yang dihasilkan dari sejumlah (hipotetik) peristiwa tsunami. Ini disebut sebagai pendekatan multi-skenario karena menggabungkan daerah tergenang dari berbagai tsunami (atau skenario) dalam satu peta.

Peta bahaya tsunami yang disajikan di sini adalah peta multi-skenario berdasarkan model tsunami. Peta ini menggambarkan dampak yang mungkin terjadi di pantai Cilacap dari sejumlah potensi besar tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi dari berbagai besaran yang berasal dari berbagai lokasi dalam zona subduksi. Penting untuk dicatat bahwa peta ini tidak memperhitungkan bahaya tsunami terkait dengan tanah longsor bawah laut dan aktivitas gunung berapi sebagai informasi mengenai probabilitas, kejadian dan dampak yang mungkin timbul dari jenis tsunami yang sangat langka.

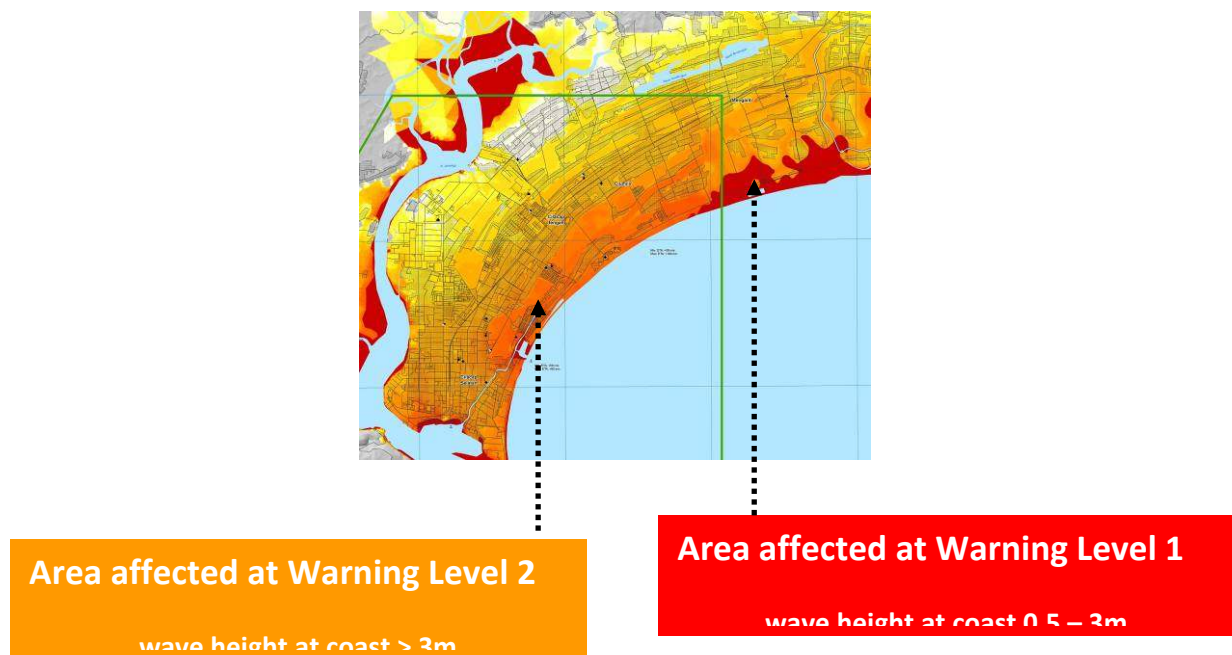


Sejumlah sumber tsunami hipotetis dengan lokasi dan besaran gempa yang berbeda yang digunakan dalam proses

Warna merah dan kuning menunjukkan daerah yang terkena oleh perhitungan skenario. Daerah kuning hanya dipengaruhi oleh tsunami lebih besar, sedangkan zona merah dapat dipengaruhi oleh tsunami yang lebih kecil.

**Gambar 2: Pendekatan Multi-skenario**

Di dalam peta bahaya tsunami, terdapat istilah yang disebut dengan zonasi, dimana semua skenario dikelompokkan menjadi dua zona. Zona merah merupakan area yang mungkin terkena dampak tsunami dengan ketinggian gelombang di pantai antara 0,5 m sampai 3 m. Zona jingga dan zona kuning merupakan daerah yang mungkin hanya akan terkena dampak tsunami besar dengan ketinggian gelombang di pantai lebih dari 3 m. Zona ini ditampilkan dengan gradasi warna menyambung (continuous color gradient) yang mewakili kemungkinan yang semakin menurun (dari jingga ke kuning) dari lokasi yang mungkin akan terendam. Kedua zona tersebut secara langsung terkait dengan tingkat peringatan InaTEWS, seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



**Gambar 3: Zonasi berdasarkan ketinggian gelombang dan tingkat peringatan**

Pada saat melakukan pengkajian bahaya tsunami sangat penting untuk mempertimbangkan tentang kemungkinan. Tsunami dapat dikatakan sebagai contoh yang khas dari bencana "frekuensi rendah, dampak tinggi". Dengan kata lain, tsunami tidak terjadi terlalu sering, tetapi kalau itu terjadi, dampaknya sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kerusakan yang besar. Rata-rata setiap dua tahun tsunami yang menghancurkan terjadi di Indonesia.

Namun, di lokasi pantai tertentu, selang waktu terulangnya tsunami yang menghancurkan dapat bervariasi antara 30 sampai 50 tahun atau bahkan 200 sampai 300 tahun. Tsunami di Indonesia sebagian besar disebabkan oleh gempa di laut. Tsunami yang dipicu oleh aktivitas gunung berapi merupakan peristiwa yang sangat jarang terjadi. Tsunami kecil lebih sering terjadi daripada tsunami besar (dan tsunami terburuk).

Peta Bahaya multi-skenario memberikan informasi tentang kemungkinan tsunami. Warna merah menunjukkan area yang mungkin terkena dampak tsunami dengan ketinggian gelombang antara 0,5 m sampai 3 m. Rentang warna dari jingga ke kuning terang menunjukkan area yang memiliki kemungkinan kecil terkena tsunami.



**Gambar 4: Visualisasi kemungkinan di atas peta**

Permasalahan tentang kemungkinan mengarah langsung ke pembahasan tentang risiko yang dapat diterima. Karena tsunami jarang terjadi, informasi tentang dampak yang mungkin terjadi, kejadian dan ketinggian gelombang run-up tidak dapat dipastikan. Harus diasumsikan bahwa tidak ada tindakan yang dapat memperhitungkan semua risiko yang mungkin, dan bahwa beberapa tingkat risiko harus diterima karena alasan ekonomi. Penentuan risiko yang dapat diterima memerlukan keputusan yang sangat sulit karena melibatkan pilihan, *'trade-off'* dan ketidakpastian.

### 3. Latar Belakang Proses Pemetaan

#### 3.1. Kerjasama Jerman-Indonesia dalam Kerangka InaTEWS

Pemerintah Jerman mendukung pelaksanaan sistem peringatan dini tsunami di Samudra Hindia - khususnya di Indonesia - melalui proyek GITEWS (Kerjasama Jerman-Indonesia untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami). Proyek ini didanai oleh Departemen Pendidikan dan



Penelitian Jerman (BMBF) dan GITEWS merupakan bagian dari kerjasama bilateral antara pemerintah Indonesia dan Jerman, berdasarkan kesepakatan bersama antara BMBF dan Kementerian Negara Riset dan Teknologi (Menristek). Konsep peringatan yang dikembangkan di bawah arahan Pusat Penelitian Geosains Potsdam (GFZ) dan kerjasama dengan mitra nasional dan internasional secara signifikan akan mengurangi tenggang waktu peringatan dengan menggunakan transfer data real-time, penentuan awal skenario banjir di wilayah pesisir, dan laporan peringatan langsung. Tahap operasional dua tahun dukungan Jerman untuk InaTEWS dimulai pada bulan November 2008.

Ruang lingkup kerjasama ini tidak hanya mencakup aspek teknis sistem peringatan dini, tetapi juga pengkajian tentang bahaya, kerentanan dan risiko, produksi peta untuk daerah proyek, dan peningkatan kapasitas. Mitra kerjasama Jerman untuk pengkajian bahaya, kerentanan dan risiko adalah Pusat Ruang Angkasa (DLR). Kerjasama tersebut sangat terkoordinasi dan dikembangkan dalam rangka Kelompok Kerja Indonesia-Jerman pada Pemodelan Kerentanan dan Penilaian Risiko (Lihat bagian 3.2.).

Dalam rangka pengembangan kapasitas lokal untuk peringatan dini tsunami, Kerjasama Teknis Jerman – Layanan Internasional (GTZ IS) telah mendukung pemerintah kabupaten sejak awal tahun 2007 dalam pengembangan prosedur dan mekanisme peringatan dini tsunami, klarifikasi peran dalam menerima dan mengeluarkan peringatan, dan dalam perencanaan kesiapsiagaan secara keseluruhan. Kerjasama ini didasarkan pada kesepakatan dengan pemerintah kabupaten.

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

Pengkajian risiko dan kerentanan merupakan komponen penting dari sistem peringatan dini tsunami yang efektif, dan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan risiko bencana. Pengetahuan tentang masyarakat yang terancam, kerentanan masyarakat, dan mekanisme mengatasi bahaya dan adaptasi, merupakan prasyarat bagi pengembangan struktur peringatan berbasis masyarakat, perencanaan evakuasi lokal dan perencanaan pemulihan (recovery planning). Di masa lalu, kerentanan itu diukur berdasarkan penilaian kerusakan ekonomi. Namun, berdasarkan tiga pilar pembangunan berkelanjutan, kelompok

kerja ini menerapkan indikator untuk fisik dan sosial, ekonomi dan dimensi kerentanan.

Sebuah pendekatan telah dikembangkan dalam rangka Kelompok Kerja Indonesia-Jerman pada Pemodelan Kerentanan dan Pengkajian Resiko yang dikoordinasikan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan Pusat Ruang Angkasa Jerman (DLR) dengan kontribusi dari Indonesia, Jerman dan organisasi internasional, seperti LAPAN, BAKOSURTANAL, BPPT, DKP, AWI, GKSS dan UNU-EHS. Tujuannya adalah untuk mengembangkan indikator-indikator dalam mengkaji kerentanan wilayah pesisir Sumatera, Jawa dan Bali yang rawan bahaya tsunami dalam skala yang luas, dan pada skala yang lebih rinci dari tiga wilayah pilot yaitu Padang, Cilacap dan Kuta Bali. Tugas utamanya adalah melakukan pengkajian bahaya, pengkajian kerentanan fisik dan sosial ekonomi, dan menghasilkan peta risiko dan kerentanan dan pedoman bagi para pengambil keputusan tentang cara memantau risiko dan melaksanakan pengkajian risiko secara terus menerus, untuk peringatan dini yang efektif dan strategi mitigasi bencana.

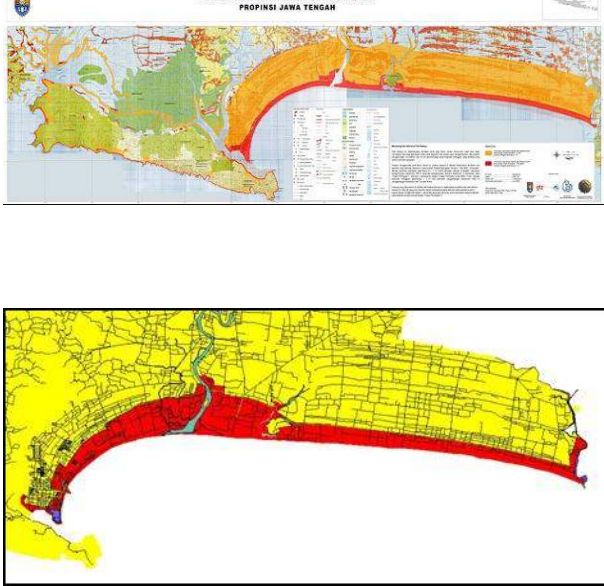
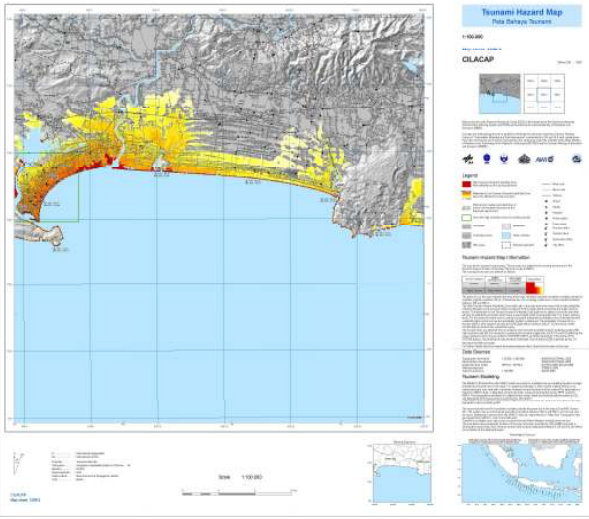
### **3.3. Pemetaan Bahaya Tsunami dalam Rangka GITEWS**

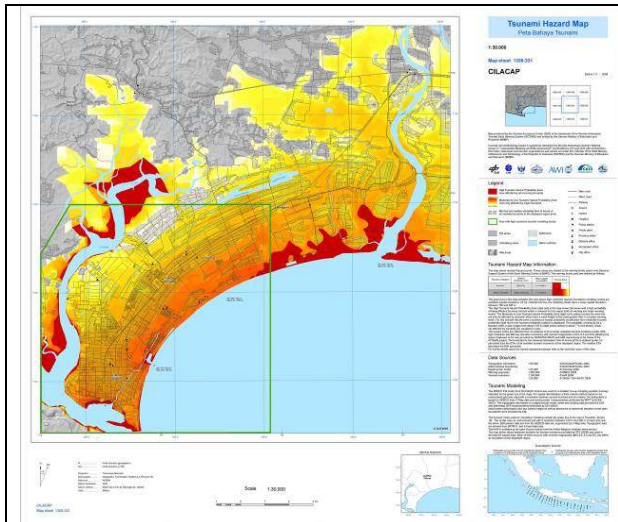
Di dalam kerangka proyek GITEWS, telah dihasilkan peta bahaya skala kecil (1:100.000), meliputi seluruh pantai barat dan selatan Sumatra serta pantai selatan Jawa dan Bali. Selain itu juga dihasilkan peta bahaya skala detil (1:25.000 - 1:30.000) untuk tiga wilayah pilot yaitu Padang, Cilacap dan Kuta. Selama tiga workshop yang telah dilakukan di Indonesia, yang diikuti para peserta dari pemerintah nasional dan lokal dan kelompok-kelompok penelitian dari berbagai lembaga, telah berhasil membahas dan menyetujui tata letak dan isi dari peta bahaya dan risiko.

### **3.4. Proses Pemetaan Bahaya Tsunami di Cilacap**

Informasi Bahaya tsunami untuk Cilacap diarahkan untuk perencanaan kebutuhan khusus dalam manajemen bencana karena merupakan prasyarat dalam evakuasi dan perencanaan tata ruang. Banyak lembaga nasional dan internasional telah melakukan pengkajian bahaya untuk Cilacap dalam tahun terakhir. Hasil dari usaha ini adalah berbagai produk pemetaan berdasarkan pendekatan yang berbeda dan meliputi area yang berbeda (lihat Tabel 1).

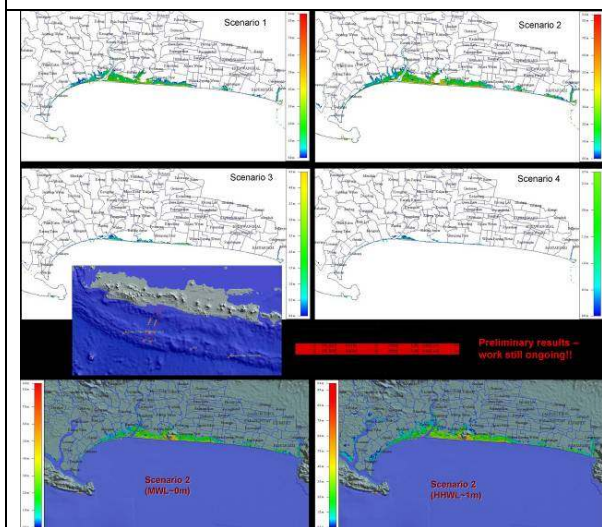
**Tabel 1. Hasil-hasil pengkajian bahaya yang disampaikan dan didiskusikan selama lokakarya**

	<p><b>Peta Bahaya Tsunami – Kelompok Kerja Cilacap</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemetaan bahaya berdasarkan metoda sederhana (“low-tech”).</li> <li>• Memperhitungkan aspek geomorfologi, elevasi dan jarak dari pantai</li> <li>• Tidak memasukkan hasil pemodelan tsunami</li> <li>• Zona (merah and kuning) sesuai dengan tingkat peringatan BMKG</li> <li>• Tersedia dokumentasi teknis</li> </ul>
	<p><b>Peta bahaya Tsunami – GITEWS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dua jenis skala: skala kecil 1 : 100.000 dan skala detil: 1 : 30.000</li> <li>• Menggambarkan probabilitas kejadian tsunami dan daerah daratan yang berbahaya</li> <li>• Menunjukkan perkiraan waktu kedatangan tsunami dalam menit</li> <li>• Zona bahaya ditetapkan berdasarkan informasi peringatan dini yang dikeluarkan dan ditetapkan oleh BMKG</li> <li>• Tersedia dokumentasi teknis</li> </ul>



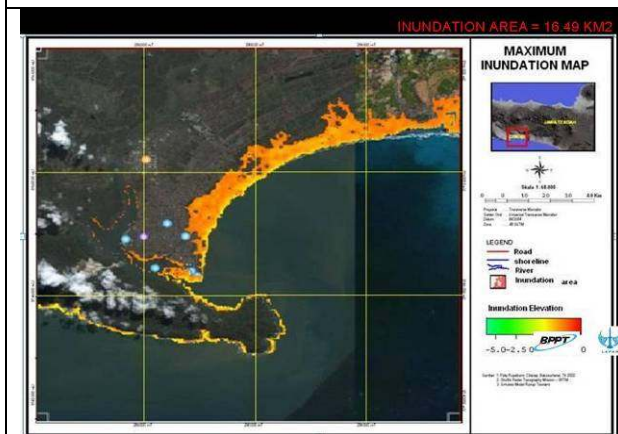
### Peta bahaya Tsunami – BPPT

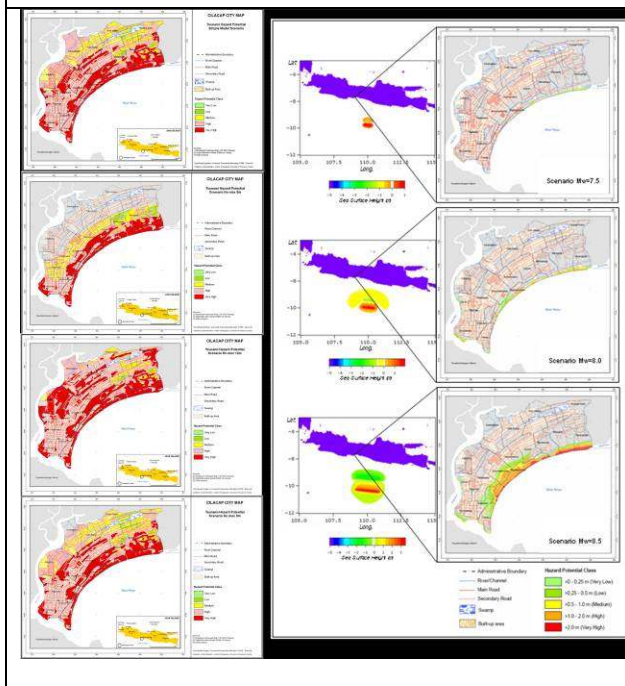
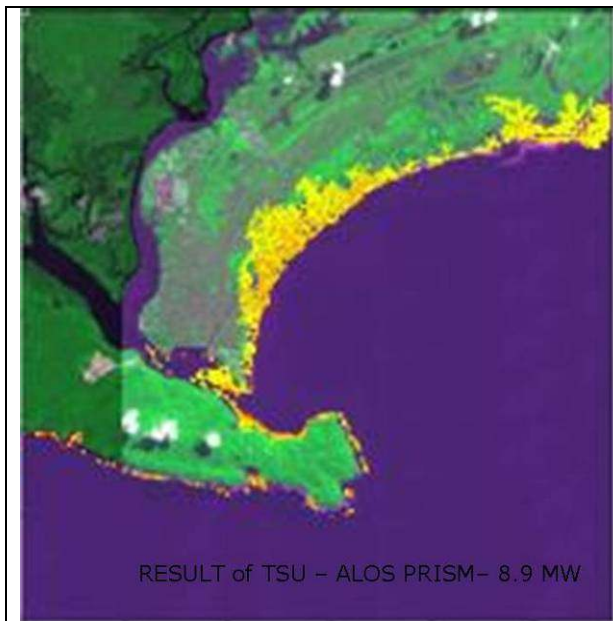
- Berdasarkan pemodelan tsunami
- Menggambarkan 4 hasil scenario yang berbeda yang mewakili lokasi sumber yang berbeda dengan skala Mw 8.0.
- Baru merupakan hasil sementara – akan diperbaharui (pada Desember 2009).



### Peta Bahaya Tsunami - LAPAN

- Berdasarkan skenario pemodelan tsunami tunggal dari BPPT
- Gempa 8.9 Mw ditetapkan sebagai scenario kejadian terburuk
- Hasil pemodelan diplot di atas data elevasi SRTM, Gambar di bawah menunjukkan hasil plotting di atas data elevasi yang ditunkan dari data ALOS (resolusi spasial lebih tinggi)





### Peta Bahaya Tsunami – UGM

- Sebelah Kiri: Berdasarkan kondisi geomorfologi dan antisipasi rendaman untuk ketinggian gelombang 5, 9, 12 meter.
- Sebelah kanan: Berdasarkan pemodelan tsunami. Hasil scenario tunggal untuk Mw 7.5, 8.0 and 8.5 pada lokasi sumber yang sama.

Pada tanggal 30 November – 2 Desember 2009 telah diadakan lokakarya di Cilacap, yang merupakan kegiatan bersama yang melibatkan lembaga-lembaga penelitian Indonesia dan Jerman serta universitas. Ini adalah lokakarya ke 7 yang dilakukan dalam rangka kelompok kerja bersama Indonesia-Jerman untuk pemodelan kajian risiko dan kerentanan. Lokakarya ini dibuka oleh Wakil Bupati H. Tatto Suwanto Pamuji dan Kepala BPBD Dangir Mulyadi, S. Sos, M. Si yang menyatakan adanya kebutuhan yang kuat untuk menggunakan hasil pengkajian risiko tsunami untuk tujuan manajemen bencana.

Topik utama lokakarya ini adalah untuk membandingkan dan mendiskusikan hasil pengkajian bahaya dari lembaga yang berbeda (lihat Tabel 1) dengan tujuan untuk menyelaraskan hasil yang akan digunakan untuk perencanaan lebih lanjut oleh pemerintah daerah dan untuk merekomendasikan sebuah peta bahaya resmi untuk Kabupaten Cilacap.

Selama lokakarya, institusi Indonesia dan Jerman yang hadir telah merekomendasikan produk multi-skenario GITEWS sebagai peta bahaya tsunami resmi untuk Cilacap. Rekomendasi ini didasarkan pada kenyataan bahwa pengetahuan ilmiah saat ini tidak dapat mengidentifikasi skenario yang paling mungkin. Sebuah pendekatan multi-skenario menggabungkan dampak dari sejumlah besar skenario tsunami yang dihitung (dihasilkan oleh pemodelan numerik) pada satu peta yang memberikan probabilitas bahwa suatu titik tertentu di darat sebenarnya dipengaruhi oleh tsunami di masa depan. Faktor lain yang menentukan rekomendasi ini adalah fakta bahwa peta GITEWS mencakup semua skenario yang dimodelkan oleh berbagai lembaga yang terutama didasarkan pada satu skenario kasus terburuk (*worst case scenario*). Selain itu, peta multi-skenario ini juga memasukkan dua zona bahaya yang sesuai dengan tingkat peringatan BMKG. Ditegaskan bahwa peta resmi bahaya tsunami untuk Cilacap harus mencakup seluruh Kabupaten Cilacap. Hal ini bertujuan untuk memungkinkan perencanaan lebih lanjut berdasarkan peta bahaya untuk seluruh kabupaten.

Pada bulan April 2010 pertemuan lanjutan antara perwakilan dari Kelompok Kerja Cilacap, DLR dan GTZ-IS berlangsung. Tujuan dari pertemuan ini adalah untuk mendiskusikan persyaratan khusus peta bahaya, kebutuhan dokumentasi dan langkah lebih lanjut mengenai proses legalisasi resmi. Selama pertemuan, peta bahaya GITEWS akhirnya direkomendasikan sebagai peta bahaya resmi untuk Cilacap, dengan ketentuan sebagai berikut:

- peta bahaya tsunami harus mencakup seluruh Kabupaten Cilacap
- peta akan diperbarui dengan skenario tsunami baru yang tersedia (jika ada)
- tersedianya dokumentasi teknis rinci untuk peta bahaya

Akhirnya disepakati bersama untuk melakukan seminar sesegera mungkin untuk membahas

dan menyampaikan peta bahaya yang disarankan GITEWS kepada para pemangku kepentingan lokal terkait sebelum pengesahan peta.

#### 4. Metodologi

Pendekatan yang digunakan dalam penyusunan peta bahaya tsunami merupakan kombinasi antara hasil analisis probabilitas dan model multi-skenario tsunami. Perhitungan dilakukan meliputi sejumlah besar skenario tsunami yang realistis, menggunakan berbagai lokasi sumber tsunami dan besaran gempa di sepanjang Palung Sunda. Secara keseluruhan, skenario ini mencakup seluruh pantai Samudera Hindia di Sumatra, Jawa dan Bali. Skenario ini digunakan sebagai data masukan untuk peta bahaya. Pendekatan ini didasarkan pada teknik "logical tree", yang memperhitungkan berbagai tingkat peringatan yang dikeluarkan dari Pusat Peringatan Dini Tsunami. Tingkat peringatan yang didefinisikan dalam InaTEWS (BMKG 2008) adalah sebagai berikut:

Kategori Tsunami	Tingkat Peringatan	Kisaran Tinggi Gelombang (WH) [m]
<none>	<none>	$0.0 = WH < 0.1$
Tsunami Kecil	Waspada	$0.1 = WH < 0.5$
Tsunami	Peringatan	$0.5 = WH < 3.0$
Tsunami Besar	Peringatan Utama	$WH \geq 3.0$

**Gambar 5. Tingkat peringatan InaTEWS (BMKG 2008)**

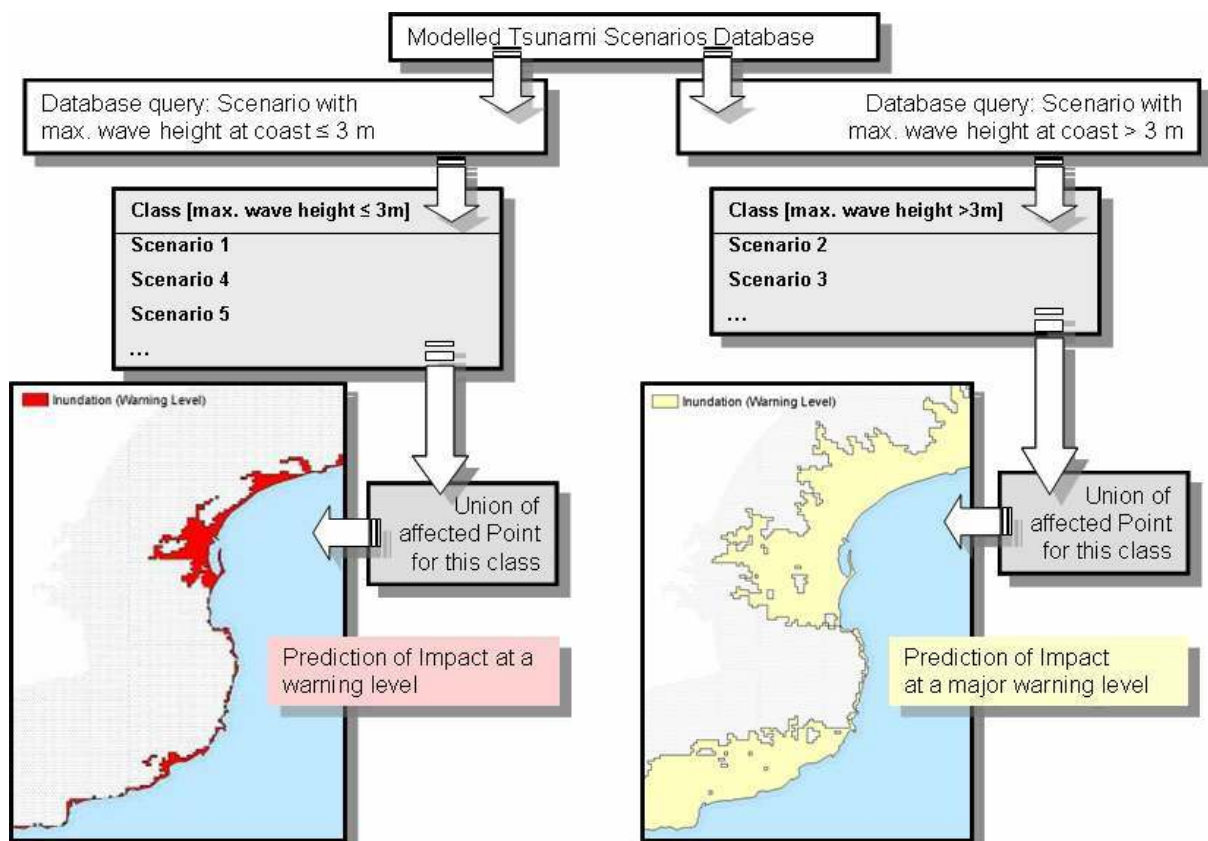
Sebuah tsunami kecil dari tingkat peringatan advisory menyebabkan sedikit atau tidak ada sama sekali rendaman di pantai. Oleh karena itu, dalam pendekatan pemetaan bahaya, tingkatan peringatan "waspada" dan "peringatan" digabungkan. Pendekatan yang digunakan untuk menghasilkan probabilitas peta bahaya tsunami yang komprehensif meliputi enam langkah:

1. Menentukan skenario tsunami yang relevan dengan daerah sasaran:

Sebagai langkah pertama, semua skenario yang relevan untuk daerah sasaran dipilih dari basis data skenario tsunami. Dalam langkah ini dilakukan query data spasial dan pemilihan semua skenario yang mengakibatkan genangan minimal satu titik di daratan pada daerah sasaran (misalnya menggunakan peta). Skenario yang dipilih memberikan dasar untuk kajian selanjutnya.

## 2. Mengelompokkan skenario berdasarkan tingkat peringatan:

Langkah kedua adalah mengelompokkan semua skenario yang dipilih ke dalam dua kategori tingkat peringatan. Dalam langkah ini dilakukan query basis data dengan kondisi: "skenario mana saja yang menghasilkan ketinggian gelombang di pantai lebih dari 3 m?". Garis luar dari rendaman yang digabung dengan kelas menghasilkan peta pertama yang menunjukkan daerah genangan maksimum untuk setiap tingkat peringatan (Gambar 6). Pada peta bahaya akhir, hanya zona yang dihasilkan oleh "kelas ketinggian gelombang di pantai  $\leq 3$  m" yang akan ditampilkan (zona merah pada Gambar 6). Zona lainnya diganti dengan perhitungan kemungkinan menyambung (continuous probability) dari dampak tsunami yang dijelaskan dalam langkah-langkah di bawah ini.



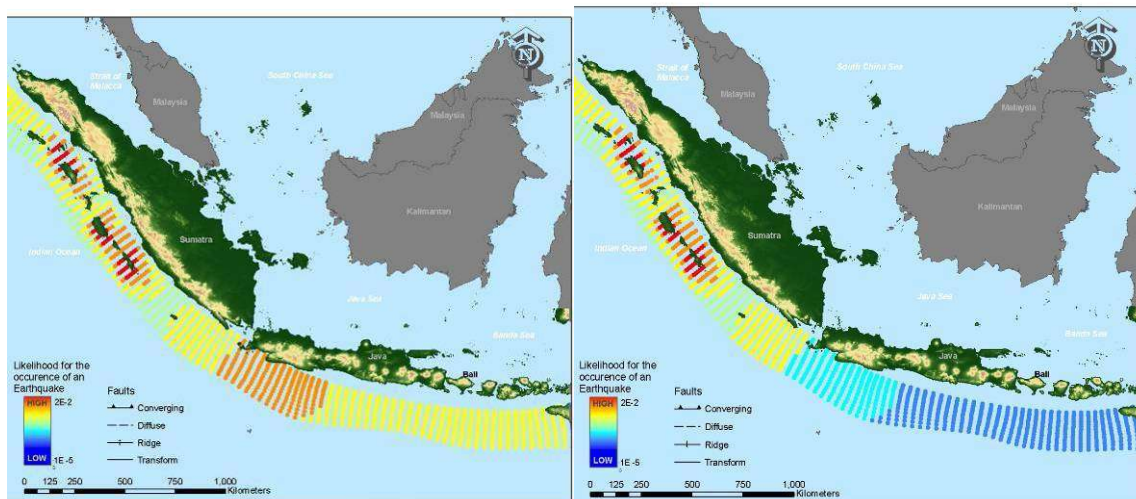


## **Gambar 6. Pengelompokan hasil pemodelan tsunami berdasarkan tingkat peringatan**

3. Mengestimasi probabilitas terdistribusi secara spasial gempa bumi dari magnitudo tertentu sepanjang Palung Sunda:

Berdasar pada kenyataan bahwa gempa bumi bawah laut dengan besaran tinggi terjadi jauh lebih jarang daripada besaran gempa bumi yang lebih rendah, skenario dengan besaran gempa lebih tinggi (moment magnitude  $M_w$ ) harus diberi bobot yang lebih rendah dalam analisis. Hal ini dikarenakan kemungkinan gempa bumi berkekuatan tinggi terjadi lebih rendah. Demikian pula beberapa daerah di sepanjang Palung Sunda menunjukkan aktivitas gempa lebih tinggi dibandingkan daerah lain, dan beberapa tempat ditandai oleh kondisi geologi khusus seperti perpaduan yang kuat dari lempeng tektonik di zona subduksi yang berarti ada kemungkinan lebih tinggi terjadinya gempa bumi berkekuatan tinggi. Ini berarti bahwa genangan yang dihasilkan dari peristiwa tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi berkekuatan tinggi di wilayah dengan aktivitas gempa yang kecil cenderung lebih rendah dari tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi berkekuatan rendah di sekitar titik gempa yang sangat aktif (earthquake hot spot). Oleh karena itu, analisis kemungkinan terjadinya gempa harus dilakukan.

Analisis ini dilakukan dengan dua langkah. Pertama, daerah Palung Sunda dibagi menjadi tiga zona yang lebih kecil berdasarkan kegiatan seismik (ini telah dipublikasikan secara luas, misalnya Latief, Puspito & Imamura 2000, dan dapat juga ditentukan dengan analisis statistik data gempa historis). Kemungkinan sebuah pengulangan tahunan gempa setiap  $M_w$  diperkirakan dengan menggunakan data gempa historis (NEIC). Untuk meningkatkan analisis, penyelidikan topikal seperti model deterministik dianggap perlu dengan memberi bobot kemungkinan kejadian antara 1 (untuk hot spot yang dikenal di mana kemungkinan terjadinya gempa bumi yang besar adalah tinggi) dan 0,1 (untuk hot spot yang tidak dikenal atau spot "tidak aktif"). Gambar 7 menyajikan contoh hasil kemungkinan terjadinya gempa tertimbang untuk  $M_w$  tertentu. Jadi, setiap sumber tsunamigenic memiliki kemungkinan kejadian sendiri (Perhatikan bahwa kemungkinan gempa bumi yang juga menyebabkan gelombang tsunami yang signifikan dimasukkan juga dalam pendekatan model tsunami numerik).

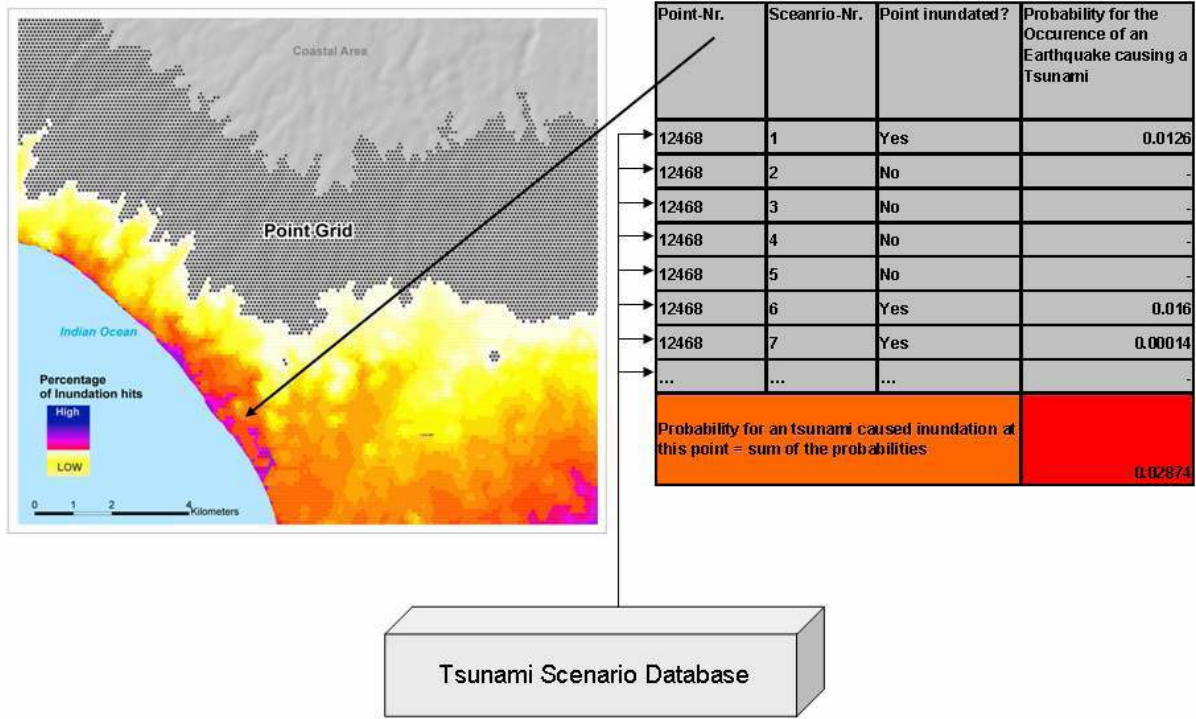


**Gambar 7. Analisis kemungkinan sebaran spasial dari kejadian gempa pada besaran tertentu sepanjang Palung Sunda (gambar kiri : Mw 8.0, gambar kanan: Mw 9.0)**

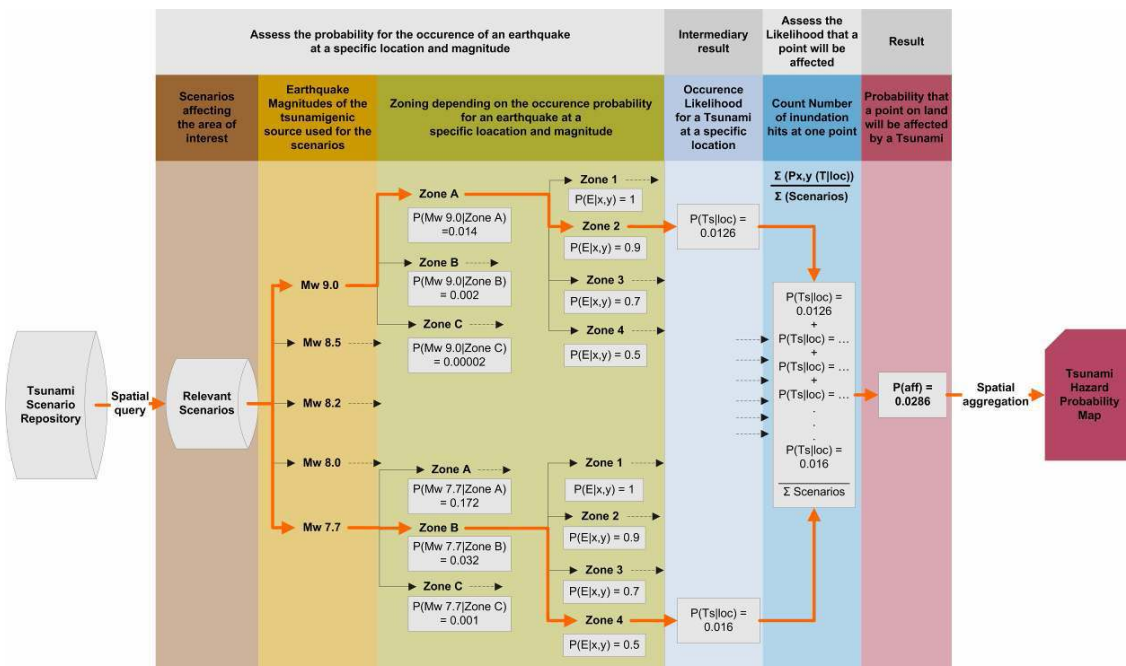
#### 4. Menentukan probabilitas genangan spasial diferensial:

Dalam langkah ini dilakukan diferensiasi spasial untuk kemungkinan dari sebuah titik di darat yang tergenang (kemungkinan genangan spasial). Hasil dari pemodelan skenario tsunami mencakup dampak tsunami di darat, yaitu daerah di atas lahan yang akan dibanjiri sebagai akibat dari tsunami yang berasal dari lokasi tertentu dan dengan besaran tertentu. Area dampak dari berbagai skenario yang mungkin akan saling tumpang tindih (baik karena sumber tsunami di lokasi yang berdekatan atau karena mereka berasal dari lokasi yang sama dan skenario yang berbeda hanya dalam hal besarnya gempa bawah laut). Oleh karena itu setiap titik di darat mungkin akan digenangi beberapa kali dalam skenario yang berbeda. Sebagai contoh, titik dekat pantai lebih cenderung sering digenangi dari titik yang jauh dari pantai. Perhitungan kemungkinan genangan di daerah pesisir diwakili oleh titik-titik grid, yang berjarak sekitar 100 m. Jadi, untuk setiap titik pada grid (setiap 100 m titik di daratan di sepanjang pantai), dihitung jumlah skenario yang mengenai titik tersebut. Untuk skenario terpilih ini, kemungkinan terjadinya tsunami dari sumber tsunami tersebut (diperkirakan pada langkah 3) dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah skenario. Oleh karena itu, kemungkinan kejadian menunjukkan kemungkinan bahwa suatu titik akan dilanda tsunami dalam waktu setahun. Gambar 8 menunjukkan query untuk skenario yang relevan dan kemungkinan total pada satu titik di darat. Untuk ditampilkan pada peta bahaya, titik-titik diskrit di darat diinterpolasi.

Gambar 9 menggambarkan ringkasan alur kerja untuk memproduksi peta kemungkinan dampak tsunami dengan menggunakan teknik „logical tree“.



Gambar 8. Contoh perhitungan kemungkinan rendaman untuk satu titik di darat



Gambar 9. Gambaran umum alur proses penyusunan peta kemungkinan bahaya

Dengan menggunakan pendekatan ini dapat dihasilkan kemungkinan bersambung (*continuous probability*) dari bahaya. Peta bahaya hanya menampilkan kemungkinan untuk zona peringatan utama (probabilitas menengah sampai rendah). Daerah yang tergolong dalam 'tingkat peringatan' ditampilkan pada peta bahaya sebagai zona merah. Zona ini diturunkan dengan cara seperti yang dijelaskan pada Langkah 1.

5. Menggabungkan kemungkinan bersambung dengan zona „tingkat peringatan“ :

Pada tahap ini, zona „ tingkat peringatan“ yang dihasilkan dari langkah 2 ditumpang susun (dioverlay) dengan kemungkinan bersambung dampak tsunami pada peta bahaya.

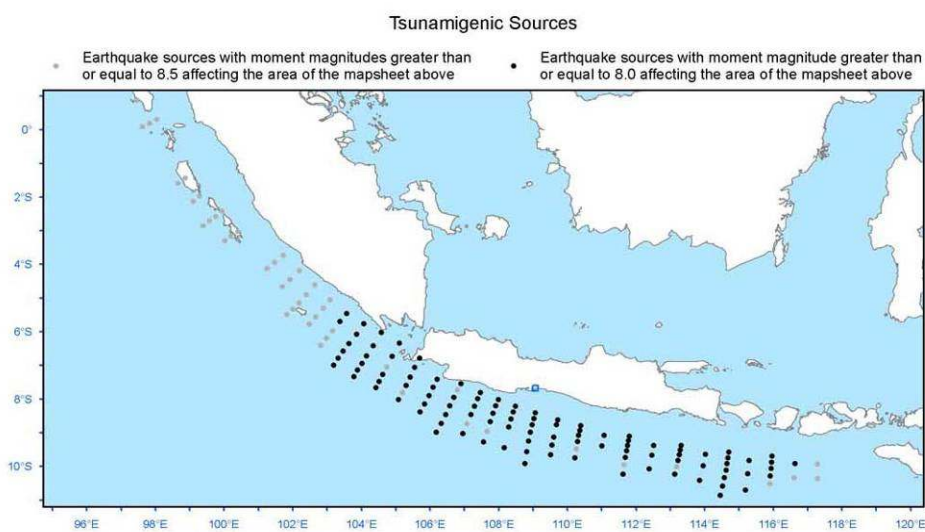
6. Tambahkan parameter tambahan ke dalam peta:

Untuk melengkapi informasi tentang daerah rendaman, parameter tambahan dimasukkan ke dalam peta bahaya yang mencirikan potensi bahaya tsunami dari wilayah pantai. Setiap skenario yang dimodelkan mencakup perkiraan waktu kedatangan (ETA) dari gelombang pertama tsunami yang menghantam pantai. ETA sangat bervariasi, secara umum tergantung pada jarak dari pantai ke sumber tsunamigenic dan besarnya gempa. Untuk memberikan nilai ETA yang valid dari semua skenario yang mungkin, dua nilai ditampilkan pada peta bahaya. "Min. ETA " menunjukkan ETA minimum dari semua skenario yang mungkin. Ini adalah kasus terburuk untuk suatu lokasi pantai tertentu pada peta. Tetapi karena ini adalah peristiwa yang sangat langka, "med. ETA "juga dinyatakan pada peta. Nilai ini menunjukkan nilai median dari ETA minimum dari skenario untuk daerah itu. Nilai-nilai ini dapat diambil sebagai perkiraan waktu yang tersedia untuk merespon setelah terjadinya gempa (lihat Gambar 10).



**Figure 10. Contoh dari nilai ETA yang ditampilkan pada peta bahaya.**

Sumber tsunamigenic yang relevan dengan daerah itu juga ditampilkan pada peta bahaya dan dibagi menjadi sumber gempa bumi berkekuatan tinggi (yang banyak tersebar di sepanjang palung Sunda) dan sumber gempa bumi berkekuatan rendah (yang pada umumnya lebih dekat dengan wilayah-wilayah tertentu). Informasi ini dapat digunakan untuk menilai apakah sebuah gempa mungkin akan menghasilkan tsunami yang mempengaruhi suatu area tertentu pada peta (lihat Gambar 11).

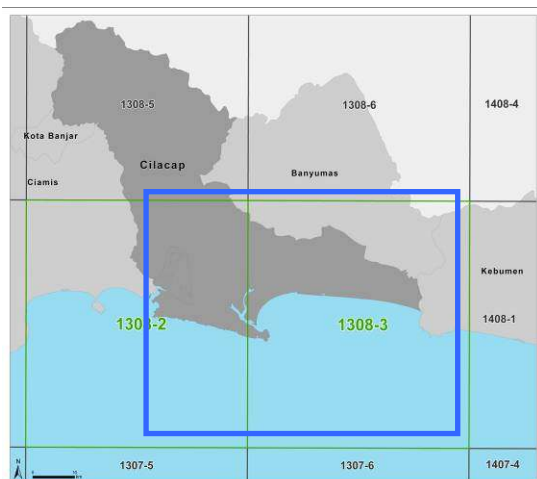


**Gambar 11. Contoh dari sumber tsunamigenic yang ditampilkan pada peta.**

## 5. Peta

Peta Bahaya Tsunami berskala kecil (1:100.000) telah tersedia untuk seluruh pantai di Kabupaten Cilacap. Basis data untuk pendekatan ini terdiri dari hasil pemodelan tsunami yang dilakukan oleh mitra GITEWS yaitu AWI (Alfred Wegener Institute) pada lokasi pusat gempa (grid sumber) dan untuk skenario tsunami disediakan oleh GFZ (German Research Centre for Geosciences, 2008). Daerah yang dimodelkan meliputi pantai selatan Sumatra, Jawa dan Bali dan memperhitungkan gempa bumi dengan besaran momen 7.5, 7.7, 8.0, 8.2, 8.5 dan 9.0. Data yang digunakan adalah cakupan data global GEBCO (data batimetri) dan data SRTM cakupan global (data topografi). Hasil pemodelan tsunami berdasarkan data global ini memberikan tingkat kedetailan yang dapat digunakan hanya untuk peta skala

1:100.000 atau yang lebih kecil, yang cocok untuk memberikan informasi bahaya tsunami di tingkat kabupaten. Perlu dijelaskan bahwa hasil pengkajian bahaya berdasarkan data masukan tersebut hanya menyediakan informasi kasar di daerah yang berpotensi terendam di Kabupaten Cilacap. Oleh karena itu peta bahaya tsunami berskala kecil dimaksudkan untuk menjadi sebuah indikasi untuk daerah yang berpotensi terkena dampak tsunami dan tidak dianjurkan sebagai dasar perencanaan rinci untuk manajemen bencana.



Peta bahaya tsunami yang tersedia pada skala 1 : 100.000 untuk Kabupaten Cilacap. Penomoran dan lokasi lembar peta dibuat berdasarkan ketentuan Bakosurtanal.

Peta bahaya tsunami yang tersedia pada skala 1:30.000 untuk Kota Cilacap

**Gambar 12. Peta bahaya tsunami yang tersedia untuk Cilacap pada skala yang berbeda**

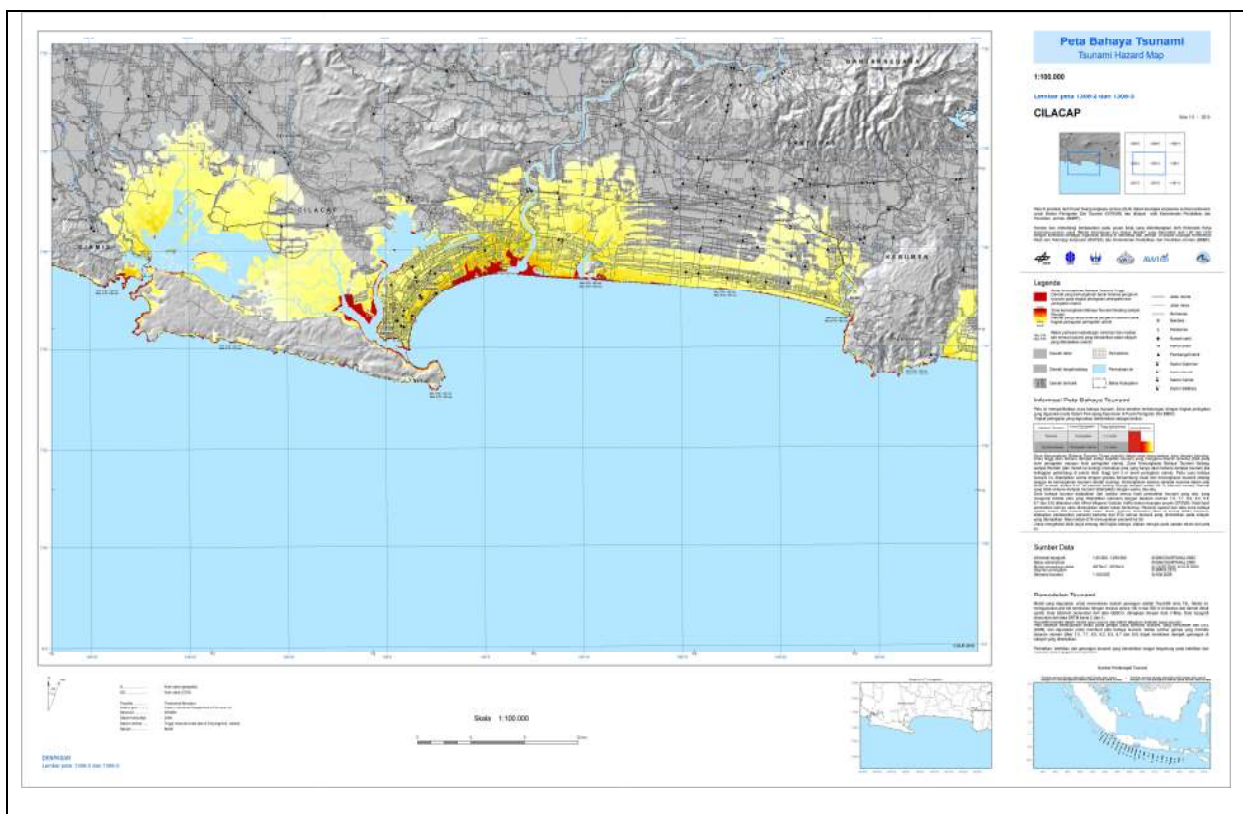
Untuk Kota Cilacap, disediakan peta detil Bahaya Tsunami skala 1:30 000.

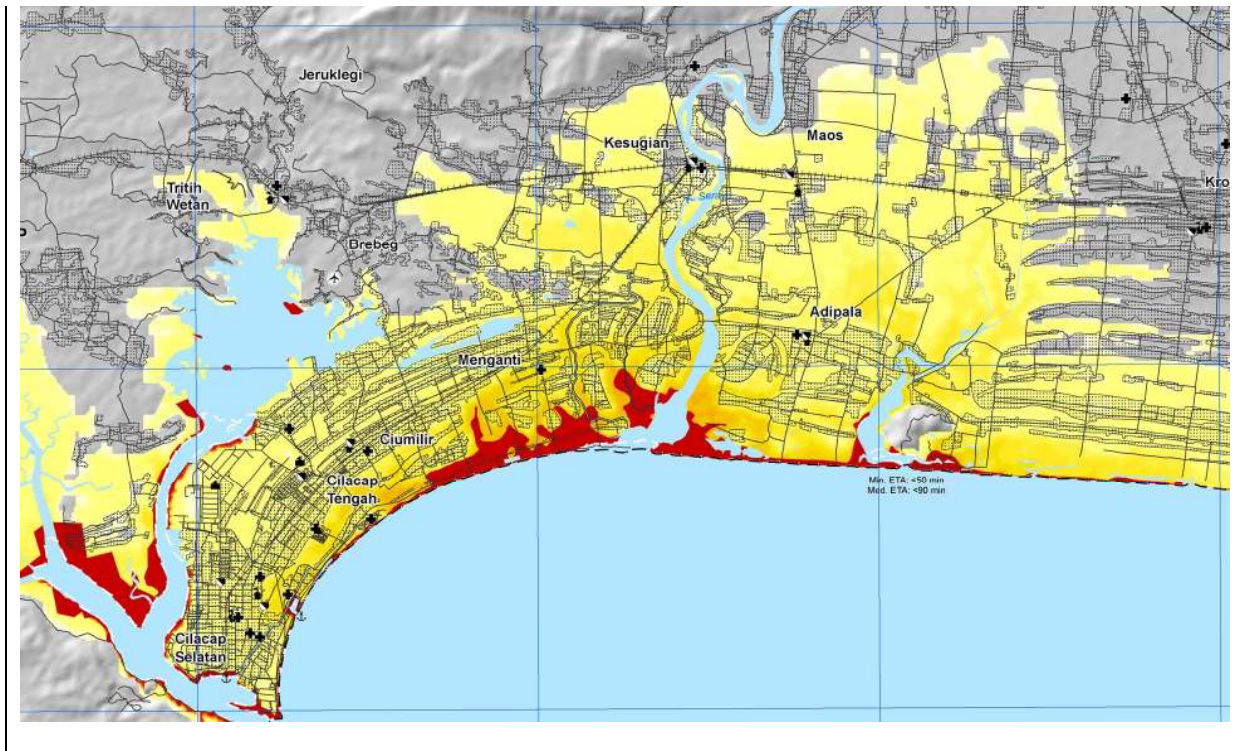
Metode yang digunakan untuk menghasilkan peta bahaya adalah sama dengan seri peta bahaya skala 1:100.000. Untuk pemodelan genangan rinci digunakan model MIKE21 FM dari DHI-WASY GmbH, dan pemodelan run-up dilakukan oleh GKSS dan Dhi-WASY. Deformasi dasar awal (initial bottom deformation) dan tinggi permukaan laut serta ketinggian muka air (time-series) pada batas terbuka disediakan oleh AWI dan GFZ dalam rangka proyek GITEWS. Resolusi spasial yang digunakan dalam pemodelan adalah antara beberapa ratus meter sampai sepuluh meter, yang memungkinkan untuk dituangkan dalam peta skala 1: 30.000.

Jumlah skenario rendaman tsunami yang digunakan adalah 300 dengan besaran momen 8,0, 8,5 dan 9,0. Data batimetri didasarkan pada data GEBCO, data C-Map dan pengukuran echosounder yang dilakukan oleh BPPT dan DHI-WASY. Data topografi didasarkan pada model permukaan digital, data jalan dan data bangunan disediakan oleh DLR, dan pengukuran diferensial GPS dilakukan oleh DHI-WASY.

Perlu untuk dipahami bahwa peta bahaya tsunami baik untuk skala kecil maupun skala detil, informasi bahaya diberikan didasarkan pada hasil pemodelan yang tentu secara alamiah mengandung ketidakpastian prediksi. Oleh karena itu, peta-peta bahaya harus dilihat hanya sebagai informasi referensi terbaik yang tersedia untuk pengembangan kesiapan bencana lokal yang spesifik, strategi adaptasi dan mitigasi. Harus selalu dipahami bahwa hasil pemodelan akan berbeda dari kenyataan.

### Peta Bahaya Tsunami skala 1 : 100.000 (Kabupaten Cilacap)

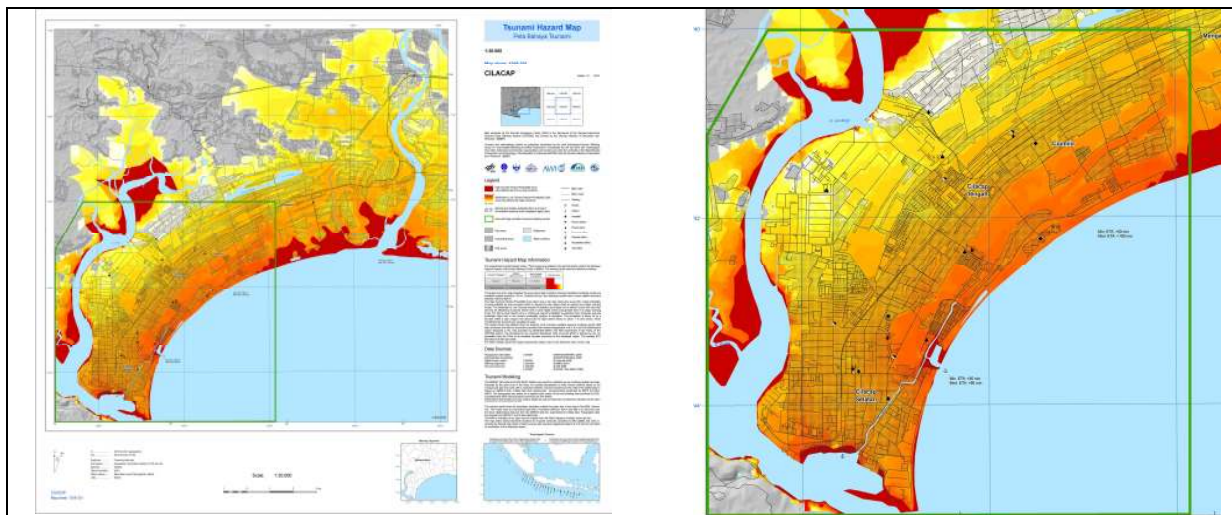




**Gambar 13. Peta Bahaya Tsunami skala 1 : 100.000**

**(hanya tsunami dari area sumber zona subduksi)**

**Peta Bahaya Tsunami Detil (1:30.000) Kota Cilacap**



**Gambar 14. Peta bahaya tsunami skala 1:30.000 berdasarkan data topografi dan batimetri detil (hanya di dalam kotak hijau)**

**(hanya tsunami dari area sumber zona subduksi)**



## 6. Definisi

Bagian ini menyajikan istilah-istilah yang umum digunakan dan definisi yang digunakan di seluruh dokumen ini. Istilah yang digunakan sesuai dengan yang ada di UNESCO-IOC Tsunami Glossary.

Sumber tsunamigenic : Sumber yang menyebabkan tsunami. Dalam konteks ini adalah lokasi dari sebuah gempa bawah laut dengan besaran tertentu.

Luas Genangan Tsunami: daerah yang dibanjiri oleh air tsunami

Perkiraan Waktu Kedatangan / Tsunami Arrival Time (ETA): Waktu yang dibutuhkan tsunami untuk tiba di lokasi tertentu, diperkirakan dengan pemodelan kecepatan dan refraksi gelombang tsunami selama perjalanan dari sumber. ETA dapat diperkirakan dengan presisi yang sangat baik (+ / - 2 menit) jika data batimetri dan sumber tsunami diketahui dengan jelas. Gelombang pertama belum tentu yang terbesar, tetapi salah satu dari lima gelombang pertama biasanya adalah yang terbesar.

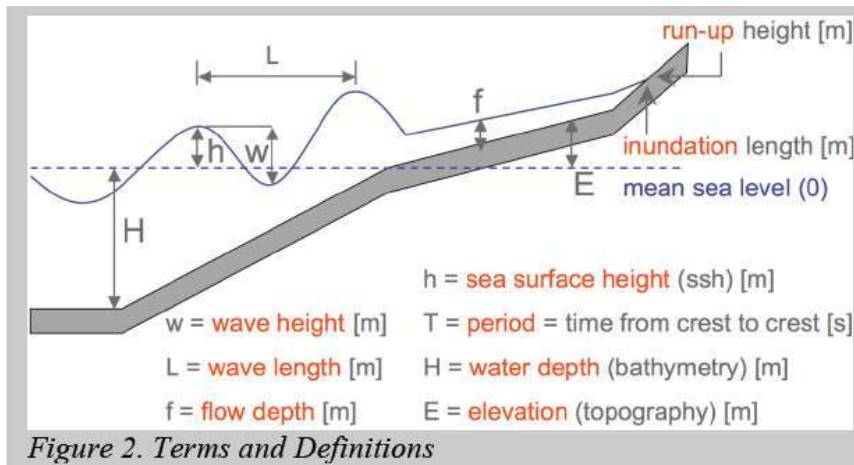


Figure 2. Terms and Definitions

Kedalaman air (batimetri): Kedalaman air diukur dari permukaan laut ke arah bawah [m].

Elevasi (topografi): Ketinggian tanah di atas muka laut rata-rata

Kedalaman arus: Kedalaman air di atas permukaan tanah dalam kasus genangan, dan merupakan nilai yang tergantung dari waktu diukur dalam meter [m].

Ketinggian gelombang: Tinggi gelombang dari puncak ke dasar dalam meter [m].

Panjang genangan (jarak genangan): Jarak dari pantai yang terendam air, yang dinyatakan dalam meter [m]. genangan biasanya didefinisikan dengan kedalaman aliran minimal 10 cm.

Tinggi run-up: Ketinggian di atas permukaan laut di garis rendaman, yang dinyatakan dalam meter [m].

## 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 (Kementerian Pendidikan dan Penelitian Jerman)
BMKG	Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (National Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics)
DHI	= DHI-WASY GmbH
DKP	= Departemen Kelautan dan Perikanan (Department for Marine and Fisheries)
DLR	= German Aerospace Center (Pusat Ruang Angkasa Jerman)
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 (Kerjasama Teknik Jerman)
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 Ministry of Research and Technology)
SRTM	= Shuttle Radar Topographic Mission
SR	= Skala Richter (Richter Scale)
TNI	= Tentara Nasional Indonesia (Indonesian Army)
UNU-EHS	= United Nations University –Environment and Human Security

## 8. Bibliography

**Brune, S., Babeyko, A.Y., Ladage, S., Sobolev, S.V. (2010):** Landslide tsunami hazard in the Indonesian Sunda Arc. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, P. 589-604)

**Cousins, W.J. et al. (2006):** South Java Tsunami of 17th July 2006, Reconnaissance Report, *GNS Science Report 2006/33*, p42.

**Pararas-Carayannis, G. (2003):** Near and far-field effects of Tsunamis generated by the paroxysmal eruptions, explosions, caldera collapses and massive slope failures of the Krakatau volcano in Indonesia on August 26-27, 1883. In: *The International Journal of the Tsunami Society*, Vol. 21, No.4. Honolulu

**GTZ-IS (2008):** Where is the Safe Area? A Suggestion for a Tsunami Hazard Mapping Methodology for the District Level.

**USGS. (2006):** Magnitude 7.7-South of Java, Indonesia. Earthquake Hazard Program. URL (accessed on June 2010):

<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2006/usggaf/#details>