

TSUNAMI ACEH 2004

HAMZAH LATIEF, dkk

Tsunami Reseach Group
Kelompok Penelitian dan Pengembangan Kelautan
Institut Teknologi Bandung





QuickBird Natural Color Image
28 December 2004

SEJARAH TSUNAMI DI INDONESIA

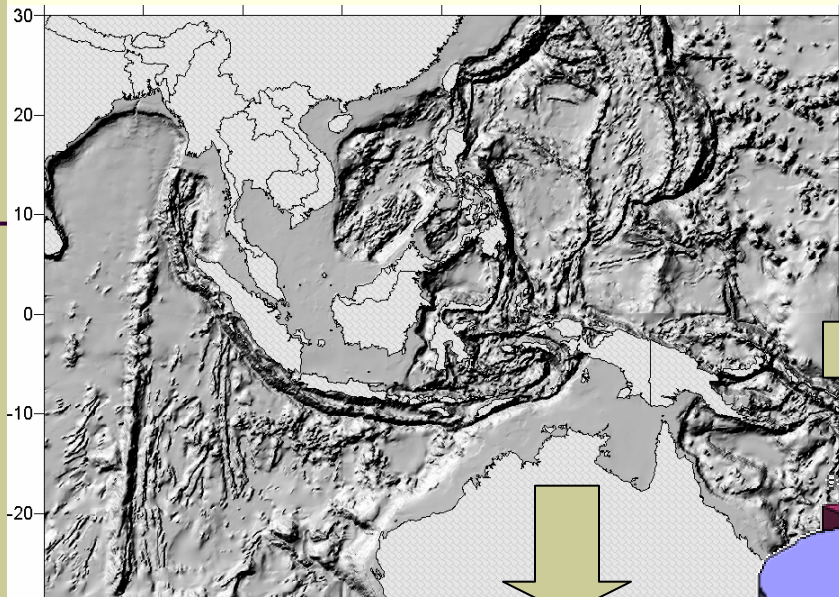
Tsunami yang pernah terjadi di Indonesia dan sumber Pembangkitnya sejumlah 105 kejadian (1600-2000): (Latief,2000)

Sumber tsunami	Jumlah kejadian tsunami	Prosentase Kejadian
Gempa	95	90.5%
Gunung Api	9	8.6%
Longsor	1	1.1%
Total	105	100%

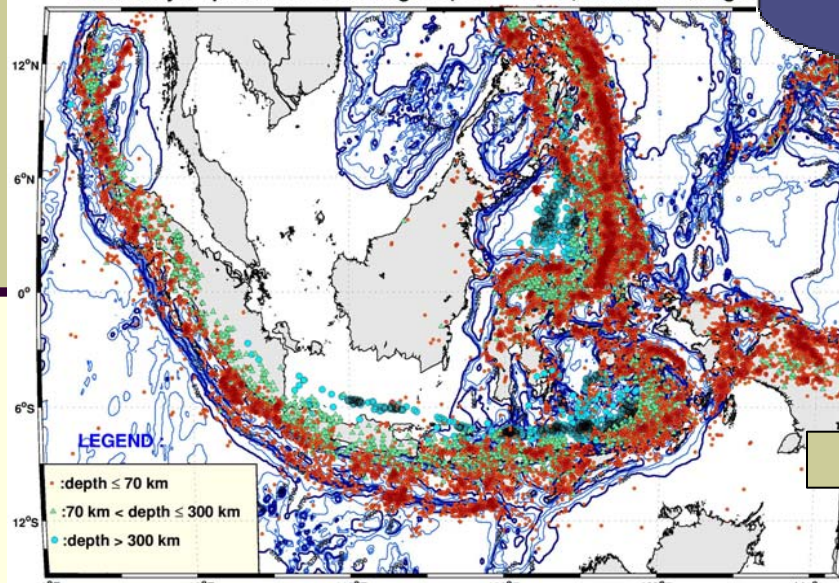
Kejadian tsunami 10 tahun terakhir di Indonesia

Tempat Kejadian	Waktu Kejadian	Korban Jiwa
Flores	1992	1950
Jawa Timur	1994	238
Irian Jaya	1996	110
Toli-Toli	1996	6
Taliabu	1998	18
Banggai	2000	4
ACEH	2004	135.000

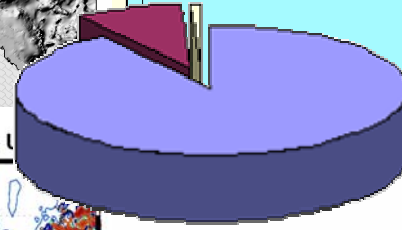
Tektonik setting dan zonasi INDONESIA :



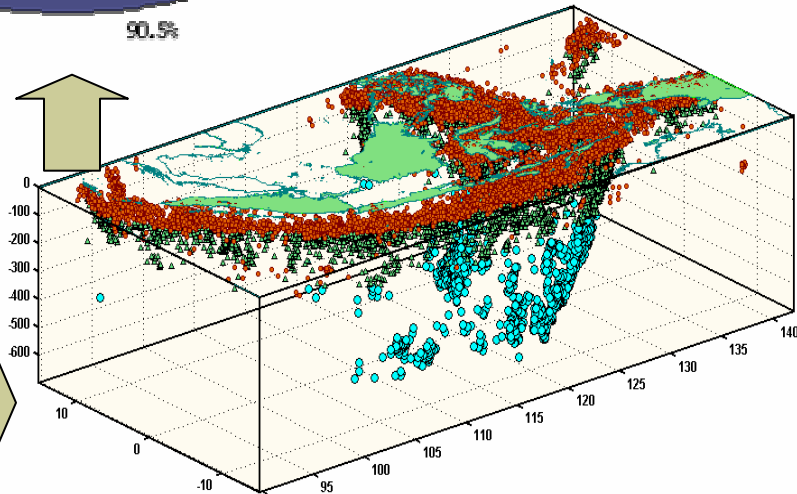
Seismicity Map of Indonesian Region (1964 – 2000; Source Catalog: U



(Plotted Using: DISLOCTOOL, Wahyu, 2001)



Map 3D Seismicity

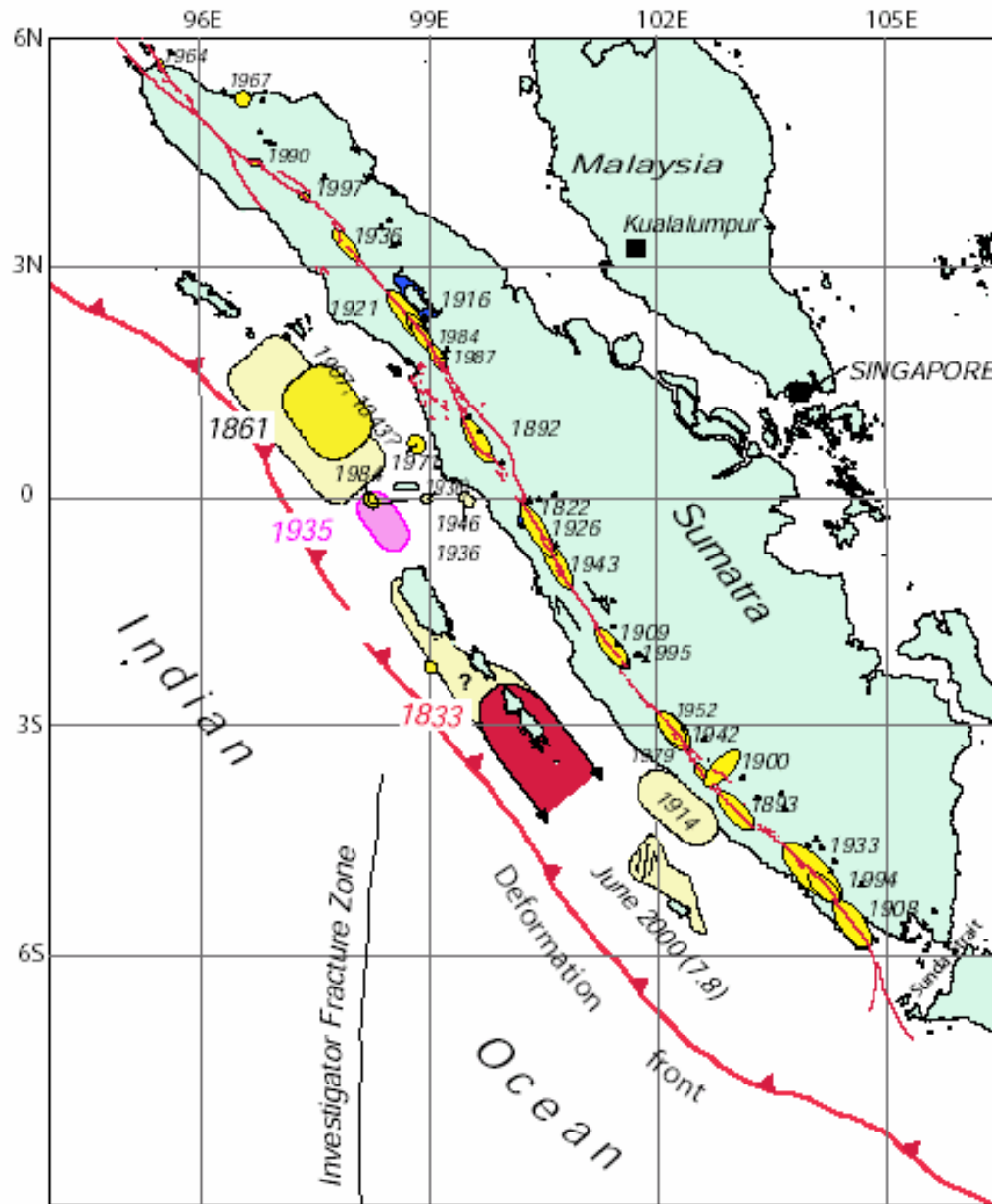


SEJARAH TSUNAMI SEKITAR SUMATERA (Latief, 2002)

Year M D h m	Lat. Lon.	M/Dp	Tm	H(m)	Dead/ Injure	Observed Area Province: location	Zone
1797 02 10	0.58 100,2			Strong		W. Sumatera, Padang	A
1799				16		Sumatera	A
1818 13 18	-3.5 100.5					Bengkulu	A
1833 01 29		9				W. Sumatra: Padang, Priaman	A
1833 11 24						Bengkulu	A
1843 01 5-6	2.08 98.23			Large		N. Sumatera: Barus Is., G. Sitoli	A
1861 02 16		8.4			50	Sumatra: Batu Is., Nias Is.	A
1861 09 25	-2.04 100.6		1			Sumatra: Padang, Indrapura	A
1864						W. Sumatra: Padang, Batu	A
1883 08 26	-5.8 106.3	Volc		35	36000	Sumatera: Sunda.St., Java,	A
1904 07 04						W. Sumatra: Siri-siri	A
1907 01 -						Sumatra : Western Coast	A
1908 02 06	-2.0 100.0					W. Sumatra	A
1909 06 03 18 41U	- 2.5 101.5	7.3			200	Sumatra: Kerinci-Jambi	A
1928 03 26	-5.8 106.3	Volc				S. Sumatera: Sunda.St., Lampung,	A
1935 12 28	-0.3 97.9					N Sumatera: Batu Island	A
1936 03 01	-	7.0			110/479	Sumatra:	A
1967 04 12	5.3 96.5	6.5		big		N Sumatera: Sigli	A

2004 12 26 Tsunami Sumatera 2004 Korban > 135.000

Seismologic summary of Sumatra (Danny, 2002)



Gempa:

1381 (coral)

1608 (coral)

1833 (buku)

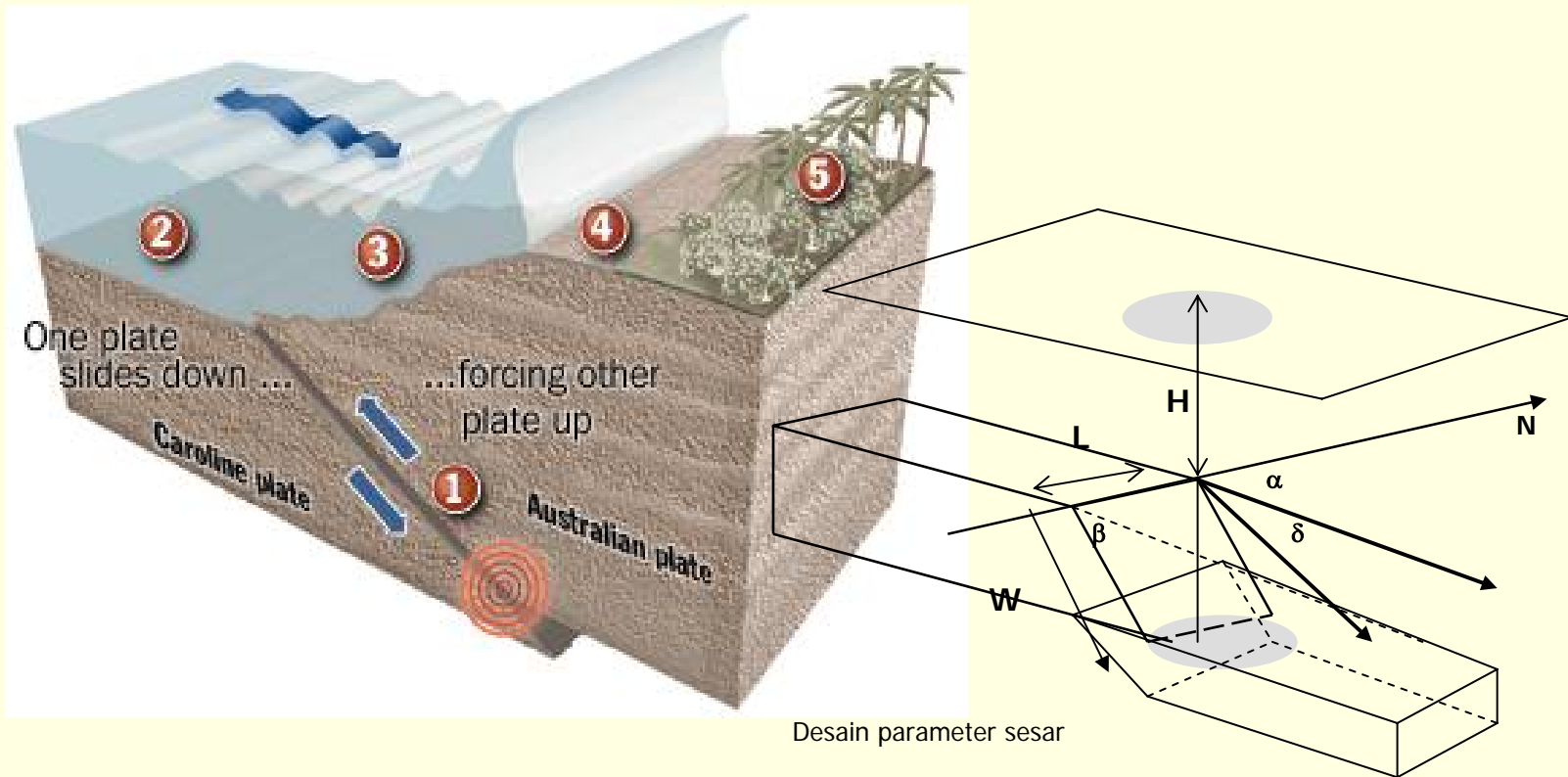
2004

Interval 200 thn
(Danny)

Interval 170 thn
(Wahyu)

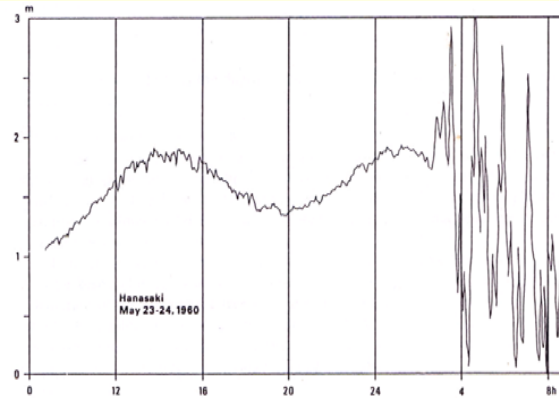
3. MEKANISME PEMBANGKITAN TSUNAMI OLEH GEMPA, GEJALA PRA KEJADIAN TSUNAMI serta TEKNOLOGI PEMANTAUAN

3.1 Mekanisme Pembangkitan Tsunami oleh Gempa

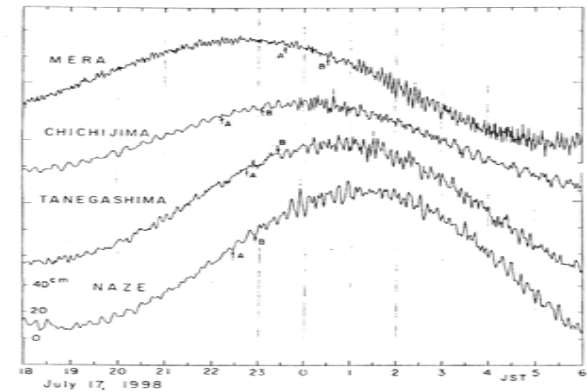


3.2. Gejala Pra Kejadian Tsunami (TANDA-TANDA ALAMI)

- a. Gerakan tanah
- b. *Tsunami forerunners*
- c. Inisial penarikan muka air laut (*initial withdrawal of water*)
- d. *Tsunami bore*



Gambar 2.9 *Tsunami forerunners* di Hansaki Jepang, untuk Tsunami Chili 1960



Gambar 2.10 Rekaman Tsunami Papua Nugini, 1998 di beberapa pulau di lepas pantai Jepang

- e. Timbulnya suara abnormal
- f. Pengamatan visual ke arah lepas pantai saat tsunami datang
- g. Pengamatan melalui indera penciuman dan indera perasa

3. 3 Teknologi Observasi dalam pendeteksian tsunami:

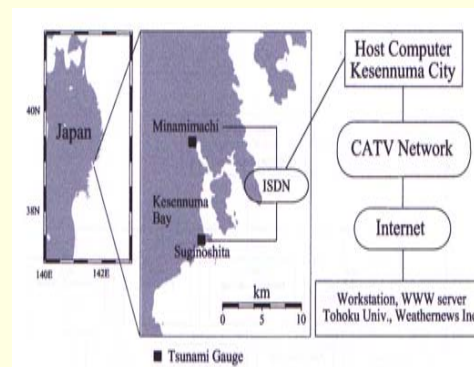
- a. Jaringan seismograf yang rapat dan sensitif
- b. Sistem observasi tsunami di laut dalam menggunakan jaringan kabel bawah laut
- c. Teknologi Bouy
- d. Teknologi Infra-red ditempatkan di mulut teluk dan di hulu teluk
- e. Sea bottom wave pressure di tempatkan di laut lepas.
- f. Tide gauge recorder di tempatkan di pelabuhan
- g. Kamera dengan pemantauan secara visual yang ditempatkan di pelabuhan

Serta pemantauan fenomena yang terkait seperti:

- a. Pemantauan muka air tanah di darat
- b. Mekanika batuan melalui pemantauan shear-stress diameter sumur
- c. Pemantauan ionosfer (atmosfer lapisan atas) melalui satelit
- d. Pemantauan medan elektro-magnet



Gambar 2.11 Tsunami gauge di Sanriku Jepang (Sato, et. Al, 1992)

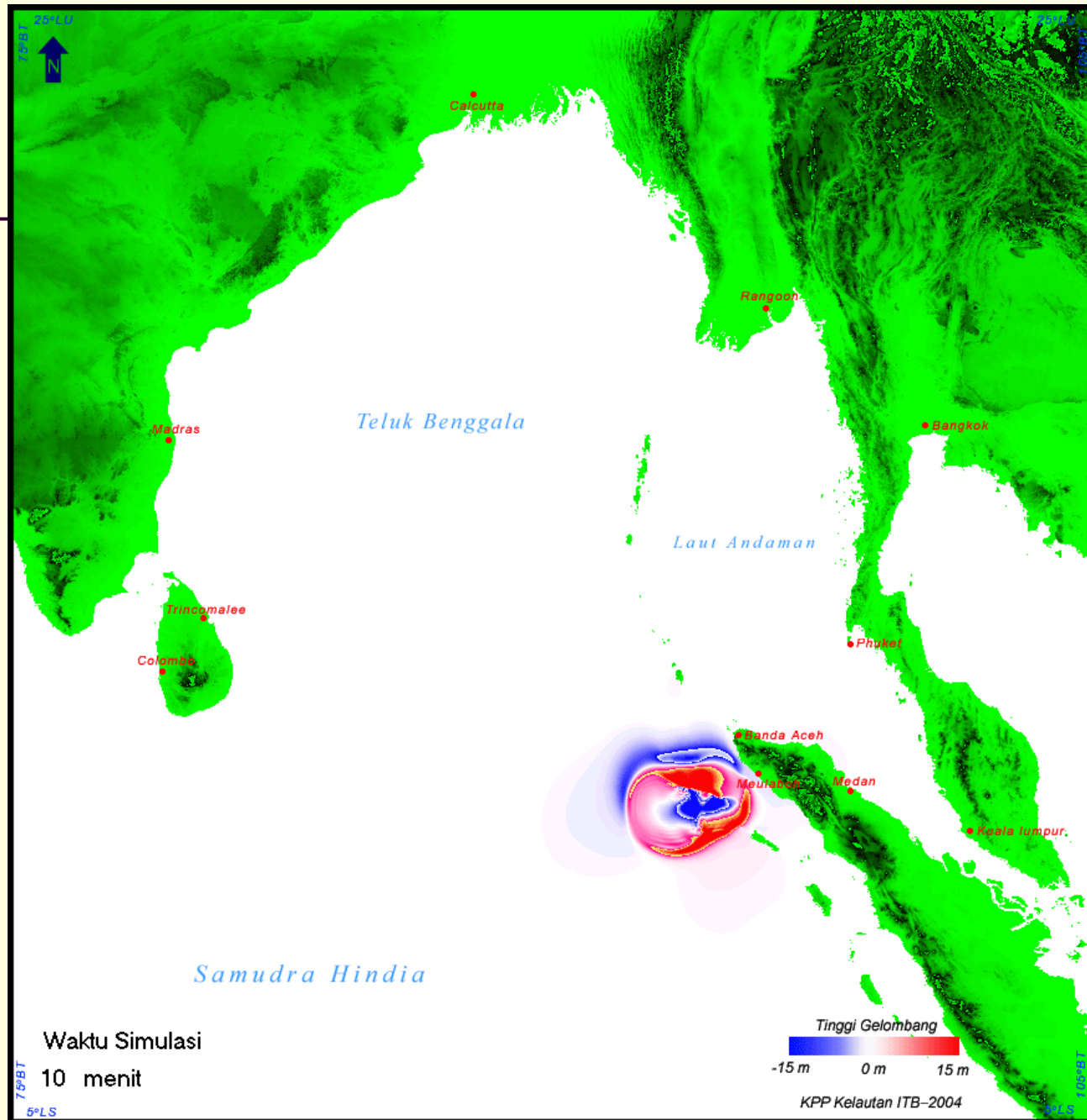


Gambar 2.12 Overview TIMING System (Imamura, et.al., 2001)

DESAIN SIMULASI

Batas model	Utara : 25 ° LU
	Selatan: 5 ° LS
	Barat : 75 ° BT
	Timur : 105 ° BT
Jumlah Grid	900 x 900
Ukuran Grid	3700 meter
Langkah Waktu (dt)	5 detik
Lama Simulasi	5 Jam

No	Simulation	Fault Length (m)	Fault Width (m)	Dip Direction (°)	Dip Angle (°)	Slip Angle (°)	Dislocation (m)	Depth (m)
A	Aceh 1	173 x 10 ³	86.5 x 10 ³	274	13	55	13	7 10 ³
B	Aceh 2	173 x10 ³	86.5 x 10 ³	130	79	98	13	10 ³



Tinggi Maksimum dan Waktu Tempuh

No	Lokasi	Tinggi Maksimum	Waktu Tempuh	
			Surut	pasang
1.	Meulaboh	4.16 meter	-	27 menit
2.	Banda Aceh	5.60 meter	31 menit	55 menit
3.	Lhokseumawe	1.62 meter	57 menit	80 menit
4.	Phuket (Thailand)	1.11 meter	106 menit	126 menit
5.	Sri Lanka	1.42 meter	135 menit	155 menit
6.	India	0.73 meter	163 menit	201 menit

KAJIAN RESIKO BENCANA TSUNAMI

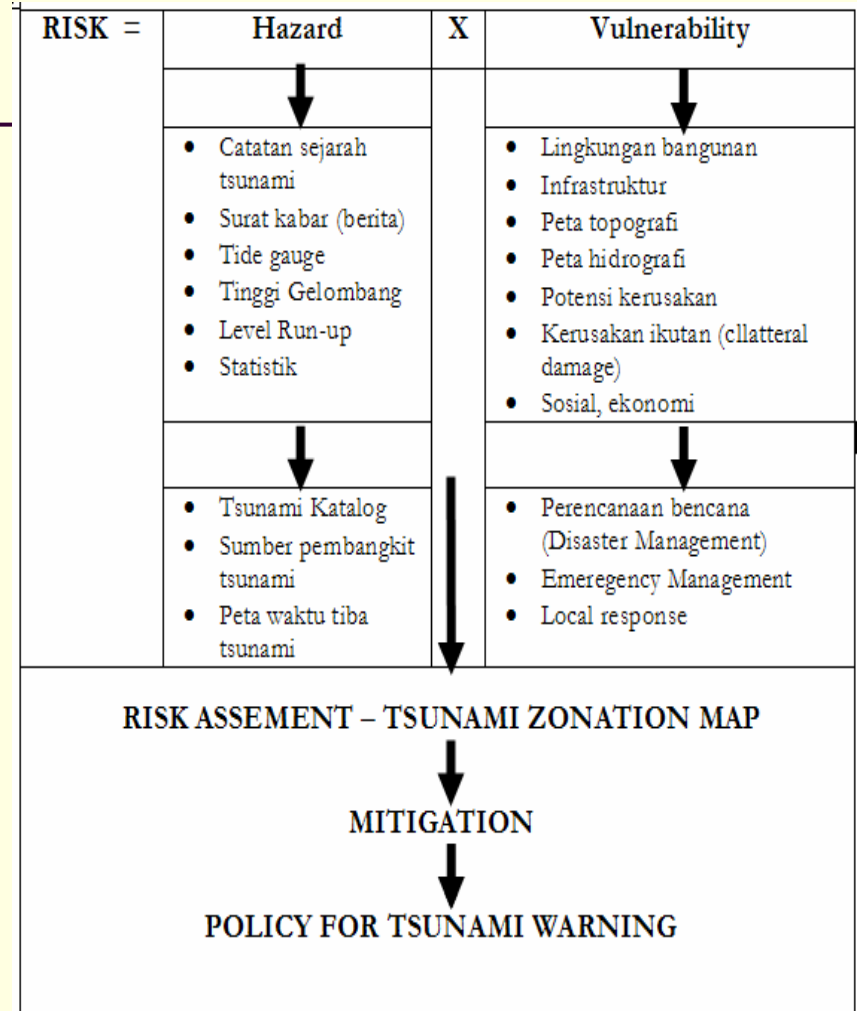
Maksud dan Tujuan

- Tujuan umum pengkajian resiko dan mitigasi bencana tsunami:
- Meningkatkan kewaspadaan terhadap resiko bencana tsunami
- Meningkatkan kewaspadaan para perencana baik di tingkat nasional dan maupun regional
- Membantu politisi serta pemerintah untuk memahami sifat dari jenis resiko yang dihadapi
- Mendemonstrasikan cara dan arti dalam mengurangi resiko-resiko yang dihadapi
- Memperkenalkan tindakan yang efektif dalam mengimplementasikan rencana-rencana mitigasi bencana tsunami

Metodologi

Langkah-langkah yang dilakukan:

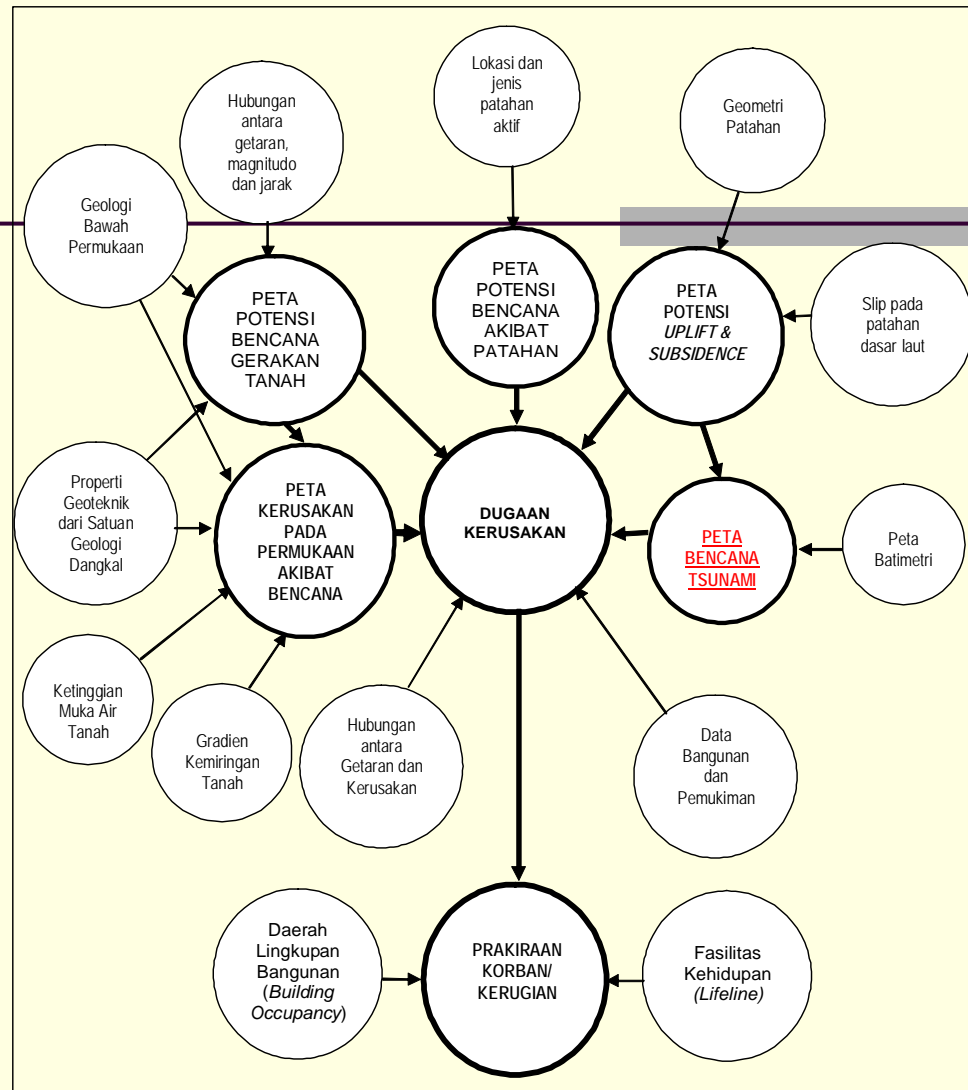
1. **Kajian *Tectonic setting* wilayah Indonesia**
2. **Kajian mengenai sumber pembangkit tsunami yang berpotensi menuju pesisir Indonesia baik *near field sources* maupun *far field***
3. **Pengkajian tsunami hazard, meliputi:**
 - Parameter tsunami
 - Hubungan fungsional
 - Sumber-sumber potensial pembangkit tsunami
 - Respon pantai atau teluk terhadap tsunami
 - Peta waktu penjalaran tsunami
 - Model Komputasi
4. **Zonasi tsunami hazard**
5. **Pengkajian kerentanan tsunami**
6. **Pengkajian resiko tsunami**
7. **Mitigasi tsunami meliputi:**
 - a. *Struktural measures*
 - b. *Non Struktural measures*



Collateral Hazard

Tsunami

1. Kebakaran
2. Angkutan Sedimen
3. Gaya Gelombang, kecepatan arus yang tinggi, pergerakan dan *impact* dari benda terapung
4. Wabah penyakit



Estimasi kerusakan serta korban jiwa hubungannya dengan informasi *ilmu kebumihan* dan sosioekonomi dalam rentean peta hazard (IDNDR, 1992)

Kajian Ketahanan / Kapasitas

Faktor ketahanan (*emergency response*) terdiri atas dua sub-faktor:

a. Sumber daya

- Pendanaan

- Peralatan fasilitas

- Sumber daya manusia terlatih/ terdidik (misalnya tenaga medis)

b. Kemampuan mobilisasi/aksesibilitas

1. **Identifikasi Faktor-faktor Kapasitas Bencana:**

- Rasio jumlah fasilitas kesehatan terhadap jumlah penduduk

- Rasio jumlah tenaga medis terhadap jumlah penduduk

- Rasio panjang jalan terhadap jumlah penduduk

- Rasio sarana angkutan terhadap jumlah penduduk

- Rasio fasilitas keamanan (*fire fighting*, tenaga sukarelawan, dll terhadap jumlah penduduk.

2. **Gambaran Faktor Kapasitas**

Secara makro daerah pesisir mempunyai kapasitas yang rendah → tingkat kemiskinan penduduk yang bermukim dipesisir pantai terutama pada masyarakat nelayan

Identifikasi Teknologi dalam Kajian Kapasitas dan Karakteristiknya

Perencanaan dan pembangunan dalam meningkatkan ketahanan:

- Pembuatan akses evakuasi dengan rambu-rambu yang jelas (foto menyusul)
- Pembuatan bangunan yang akrab tsunami
- Pembangunan *elevated area* dan - *shalter* di pinggir pantai untuk daerah evakuasi

Aksi yang dilakukan untuk menghadapi hazard tsunami meliputi:

- Desiminasi informasi tanda-tanda datangnya tsunami
- Training dalam bentuk latihan dalam menghadapi tsunami → yaitu melakukan simulasi secara langsung di lapangan seakan-akan terjadi tsunami dengan melibatkan masyarakat daerah setempat

Kajian Resiko (Studi Kasus Tsunami Flores 1992)

Kajian Resiko (Risk Assessment) → proses untuk menentukan perilaku dan gejala resiko dengan menganalisa bencana potensial dan mengevaluasi kondisi kerentanan yang ada di mana kondisi tersebut dapat menyebabkan kerugian dan kerusakan baik pada manusia, harta benda, lingkungan fisik maupun sosial. (ISDR, 2002)

$$\text{Resiko (Risk/R)} = \text{Potensi Bencana (Hazard/H)} \times \text{Kerentanan (Vulnerability/V)} / \text{Kapasitas (Capacity/C)}$$

Tahap Pemrosesan

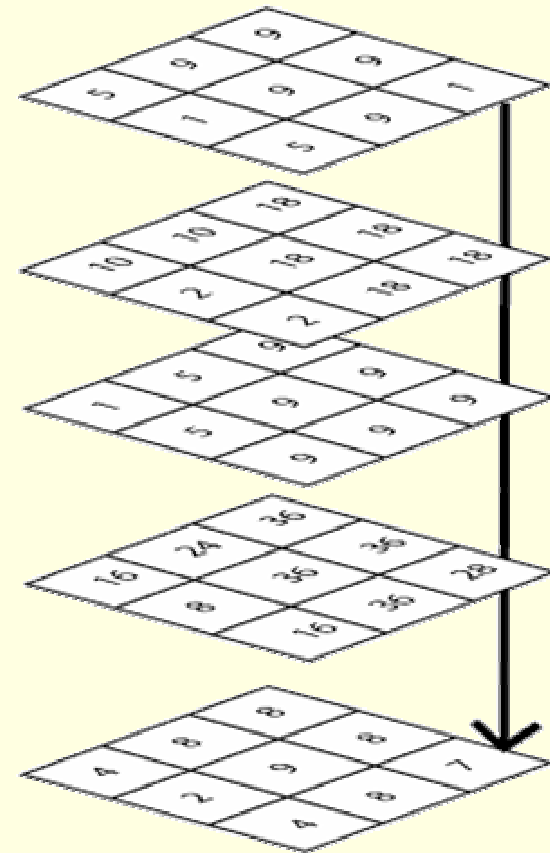
- Pembobotan
- Tumpang susun
- Perumusan matematis

$$R = H \times V$$

R = Indeks resiko tsunami

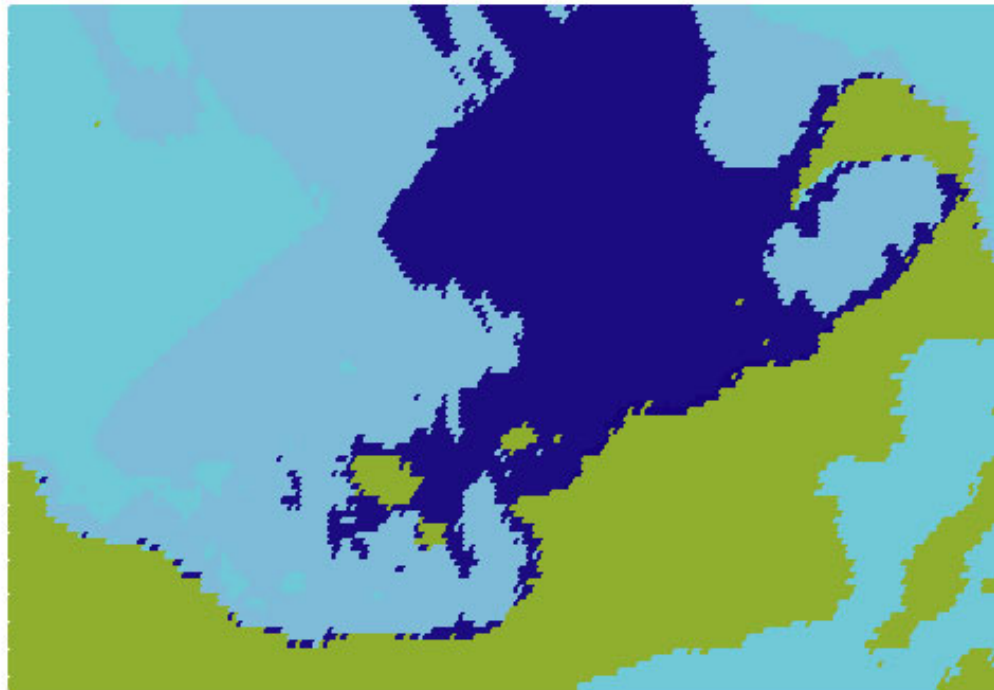
H = Kelas tinggi run-up tsunami di pantai

V = Kelas kerentanan pantai terhadap tsunami



PETA POTENSI BENCANA TSUNAMI FLORES 1992

Peta VIII
Lokasi: Flores



Skala 1 : 1.100.000

Klasifikasi Tsunami

- Darat
- 0-0.75
- 0.75 - 2
- 2-6
- 6 - 16

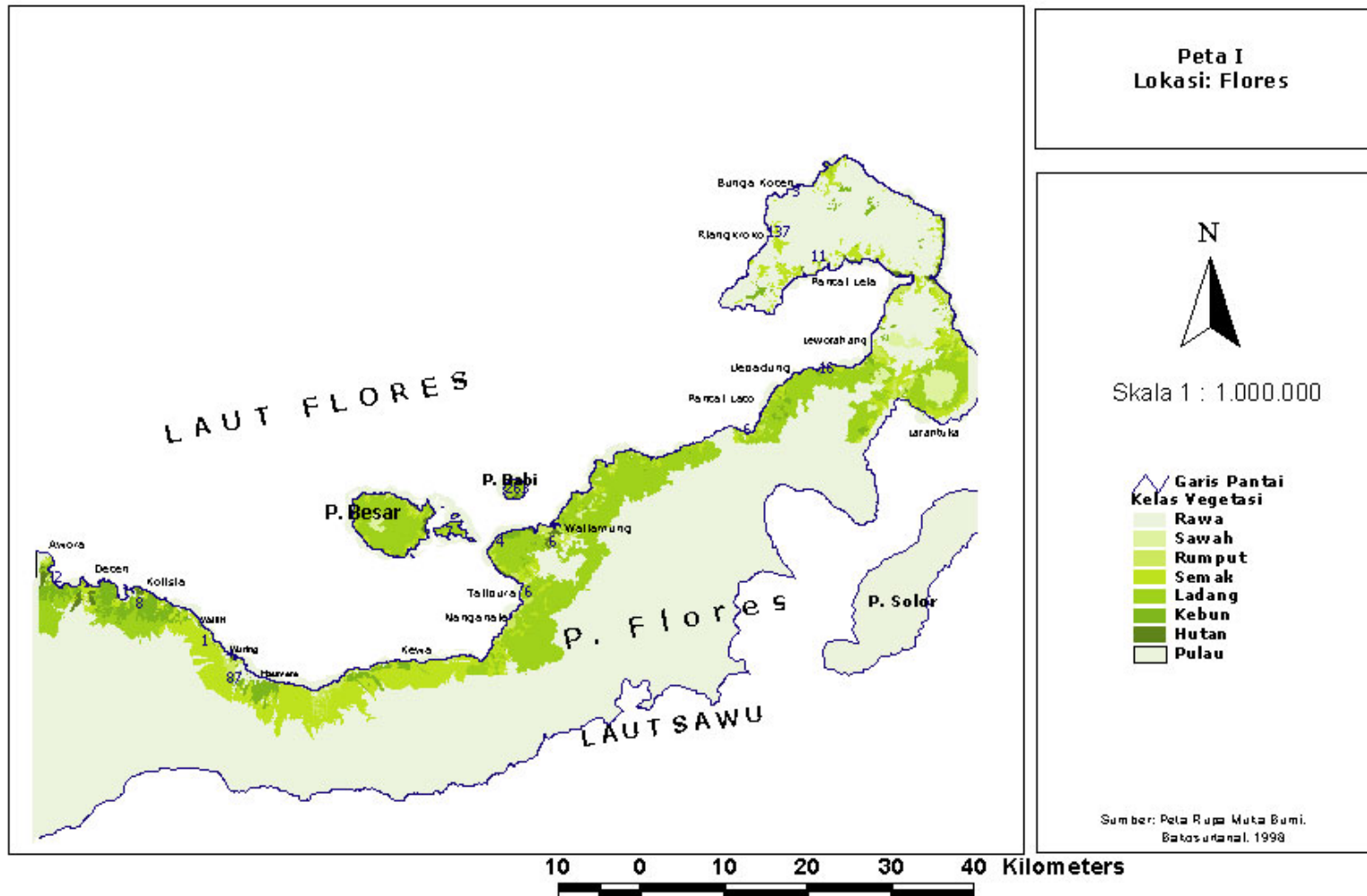
Sumber: Hasil Pemodelan Numerik

40 0 40 Kilometers

A scale bar with three segments. The first segment is labeled '40', the second '0', and the third '40 Kilometers'.

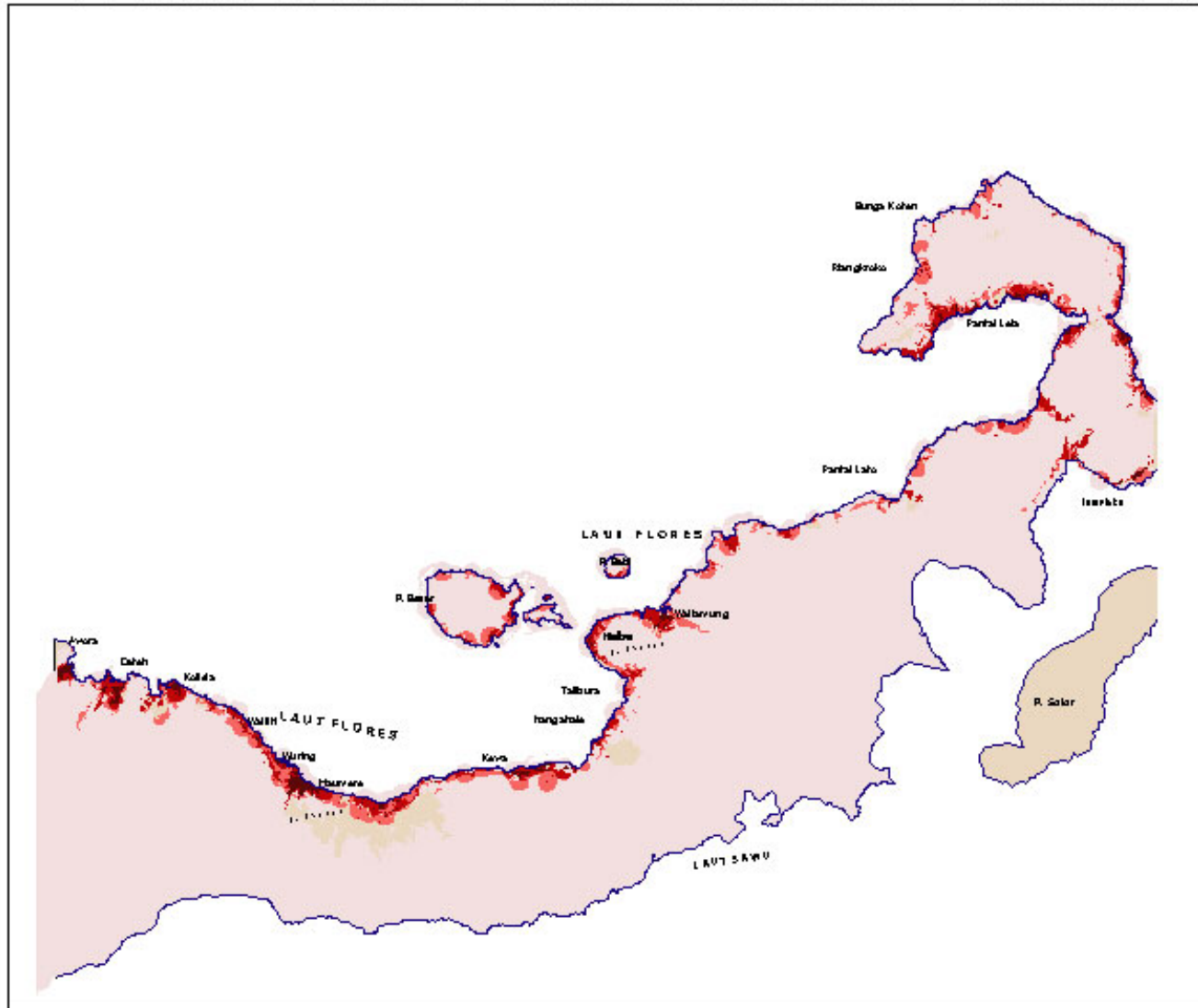
Contoh Peta Parameter Kerentanan

PETA PARAMETER KERENTANAN



PETA ZONASI KERENTANAN TERHADAP TSUNAMI

Peta IX
Lokasi: Flores



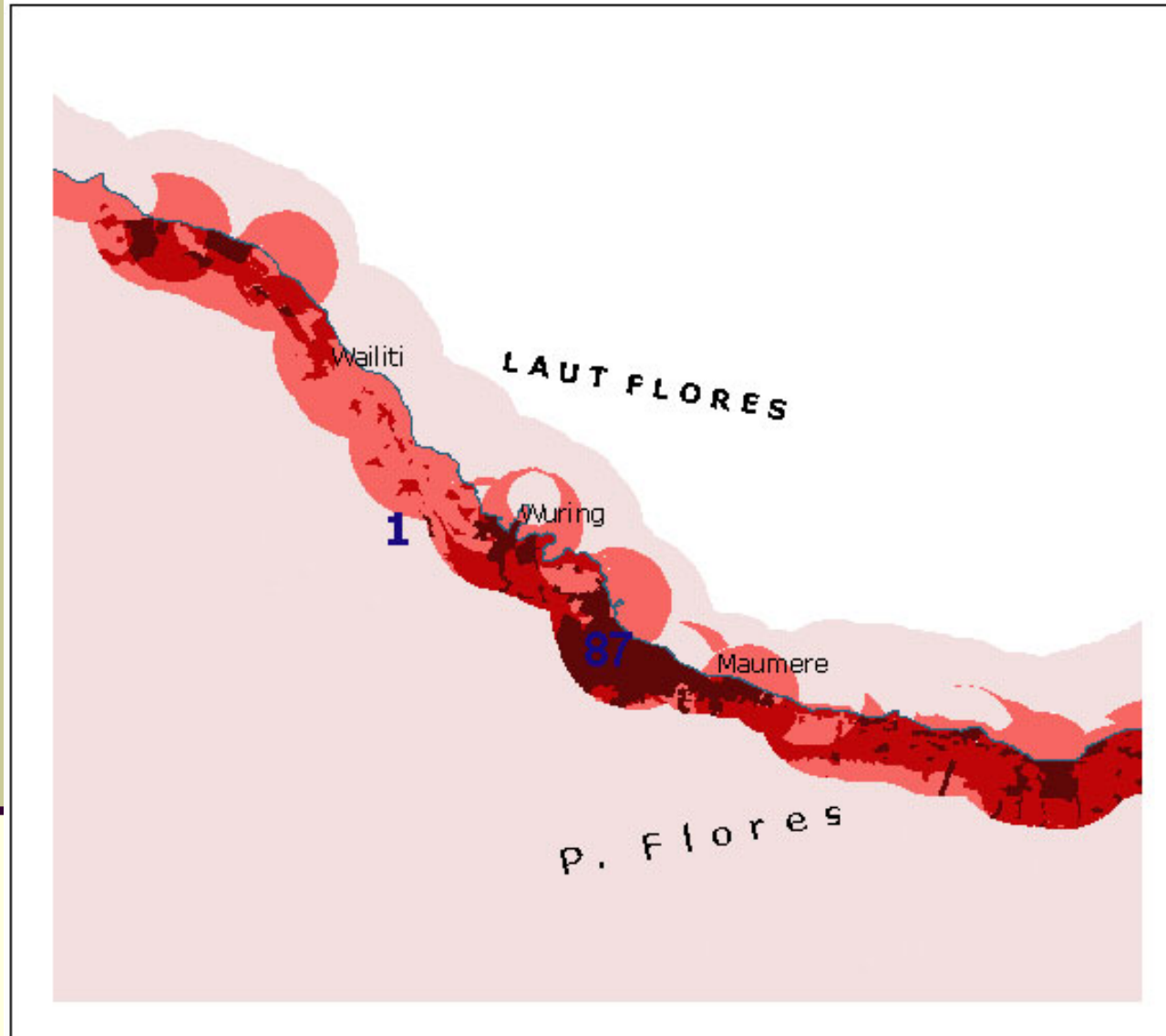
Skala 1 : 1.000.000

- Garis pantai
- Zona Kerentanan
- Tidak Rentan
- Agak Rentan
- Rentan
- Sangat Rentan
- Darat

Sumber: Peta Rupa Muka Bumi.
Bakosurtanal, 1998

40 0 40 Kilometers

PETA ZONASI RESIKO TSUNAMI



Peta II
Lokasi: Maumere



Skala 1 : 250.000

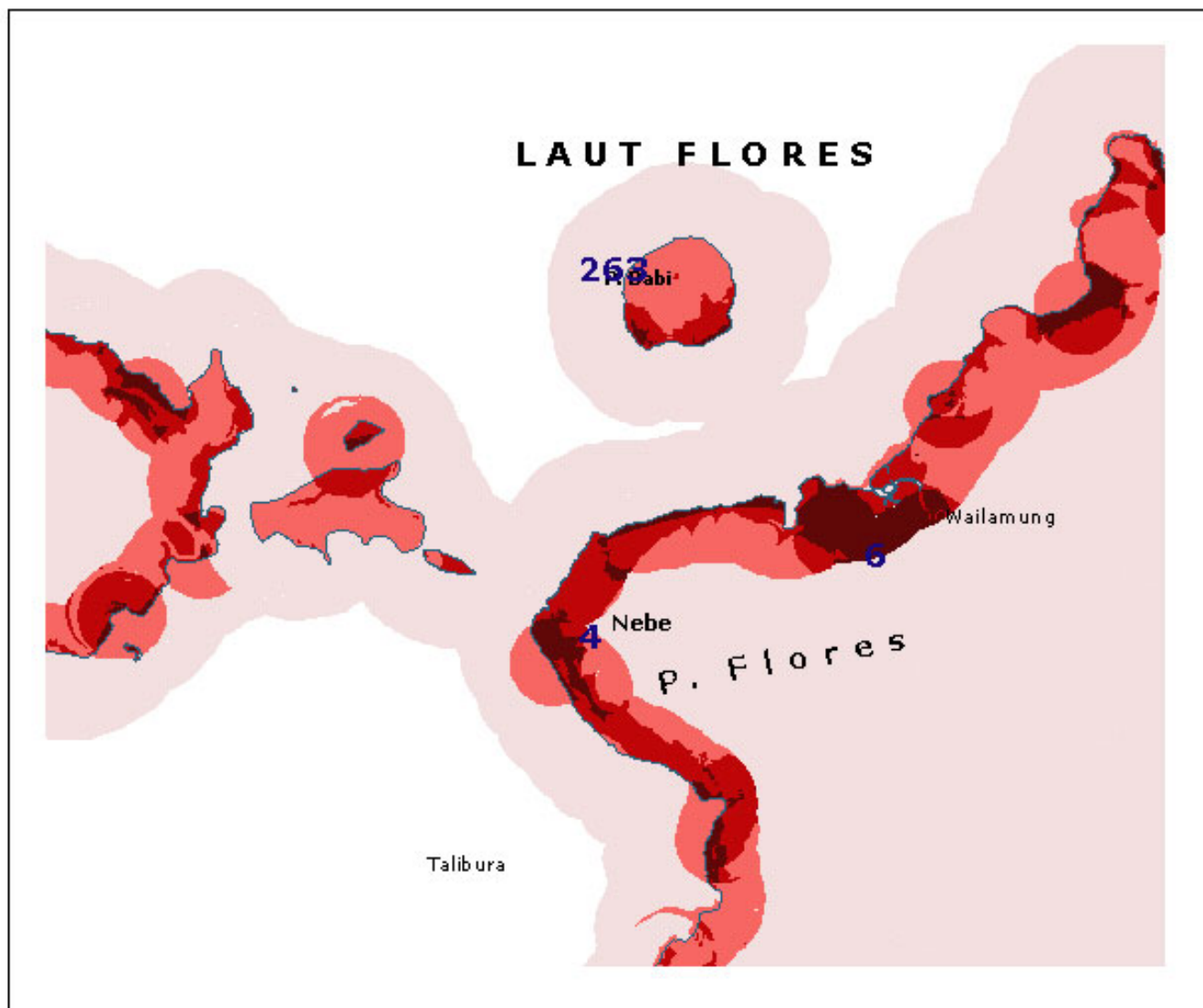
- △ Garis Pantai
- Zonasi Resiko Tsunami
 - Tidak Beresiko
 - Resiko Kecil
 - Resiko Tinggi
 - Resiko Sangat Tinggi
 - Jumlah korban

Sumber: Hasil Simulasi Numerik, Analisa Sistem Informasi Geografis dan Pengukuran Lapangan (Tsu), 1994

2 0 2 4 Kilometers



PETA ZONASI RESIKO TSUNAMI



Peta III
Lokasi: Pulau Babi



Skala 1 : 145.000

- Garis Pantai
- Zonasi Resiko Tsunami
 - Tidak Beresiko
 - Resiko Kecil
 - Resiko Tinggi
 - Resiko Sangat Tinggi
- Jumlah korban

Sumber: hasil simulasi numerik dan Analisa Batas Normal Geografis

3 0 3 6 Kilometers

MITIGASI BENCANA TSUNAMI

Tindakan mitigasi yang banyak dilakukan sekarang ini secara garis besar meliputi:

1. Structural Measures:

- a. Pembangunan struktur pelindung pantai → **BIAYA TINGGI**
- b. Penanaman vegetasi (Latief, 2000, Harada, dkk, 2000, dll)

2. Nonstructural Measures

- a. Pengkajian Hazard (identifikasi serta peta potensi rendaman tsunami)
- b. Pembuatan Basis Data dan SIG
- c. Monitoring secara *real time* terhadap tsunami serta sistem peringatan dini (pendistribusian informasi kepada penduduk)
- d. Perencanaan tata-ruang akrab bencana tsunami
- e. Perbaikan building code
- f. Pendidikan masyarakat (respons komunitas dan *awareness* penduduk)

Structural Measures

Artificial protection (seawall dan breakwater) → Hard Protection

▪→ Mahal

▪→ Masalah Lingkungan

▪→ Ketidaknyamanan bagi penduduk disekitarnya

Vegetasi atau Green Belt → Soft Protection

▪→ Economic/murah dan efektif

▪→ Mendukung Lingkungan dan vegetasi tersedia banyak di Indonesia (negara tropis)

▪→ Maintenance dalam waktu panjang

SEAWALL di Jepang



GREENBELT di Jepang





Nonstructural Measures

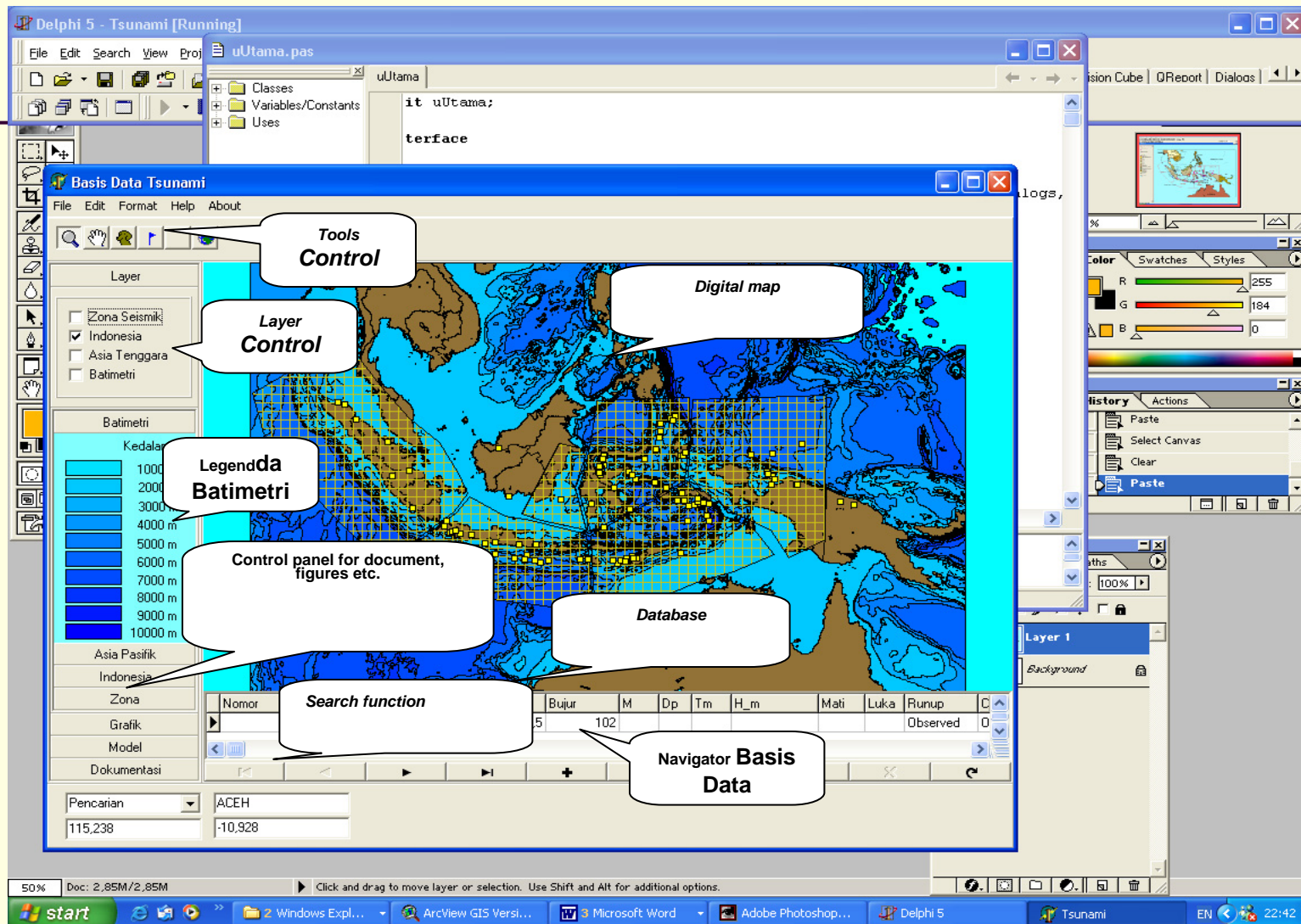
Peta Resiko Bencana (Contoh Flores 1992 di atas)

Basis Data

Sistem Informasi Geografis

Early Warning System

Software interface of tsunami database and information system of Indonesia



Animation windows and photos as attribute of the 1994 East Java tsunami

The screenshot displays a software application titled "Basis Data Tsunami" with several overlapping windows and a data table at the bottom.

- QuickTimePlayer** window: Shows a video titled "java2.mov" with the text "East Jawa Tsunami simulated by DCRC-9d". The video frame shows a map of Indonesia with "Jawa" and "Bali" labeled. A timer on the right indicates "31 min".
- java.mov** window: Shows another video titled "East Jawa Tsunami simulated by DCRC-9d". The video frame shows a map of Indonesia with "Jawa" and "Bali" labeled. A timer on the right indicates "3 min".
- fFoto** window: Shows a photograph of a white building with a corrugated metal roof, surrounded by greenery and palm trees.
- Main Application**: The "Basis Data Tsunami" window has a menu bar (File, Edit, Format, Help, About), a toolbar, and a "Layer" panel on the left with checkboxes for "Zona Seismik", "Indonesia", "Asia Tenggara", and "Batimetri". Below this is a "Batimetri" section with a "Kedalaman" (Depth) scale. At the bottom, there is a search area with "Pencarian" (Search) and "ACEH" entered, and coordinates "110.883" and "-9.683".
- Data Table**: A table with columns: "Mati", "Luka", "Runup", "Column0", "Arrival_Tim", "Travel_Tim", "Period", "Provinsi". The "Runup" column contains the value "Observed". The "Provinsi" column contains "Sumatera/Java".
- Taskbar**: Shows the Windows taskbar with icons for "start", "2 Windo...", "ArcView G...", "3 Micros...", "Adobe Ph...", "Delphi 5", "pfoto", "Tsunami", "QuickTime...", and the system clock "23:08".

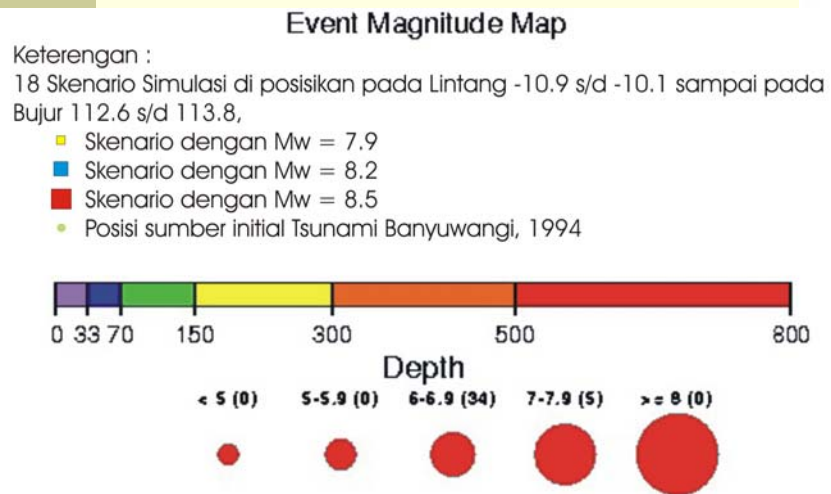
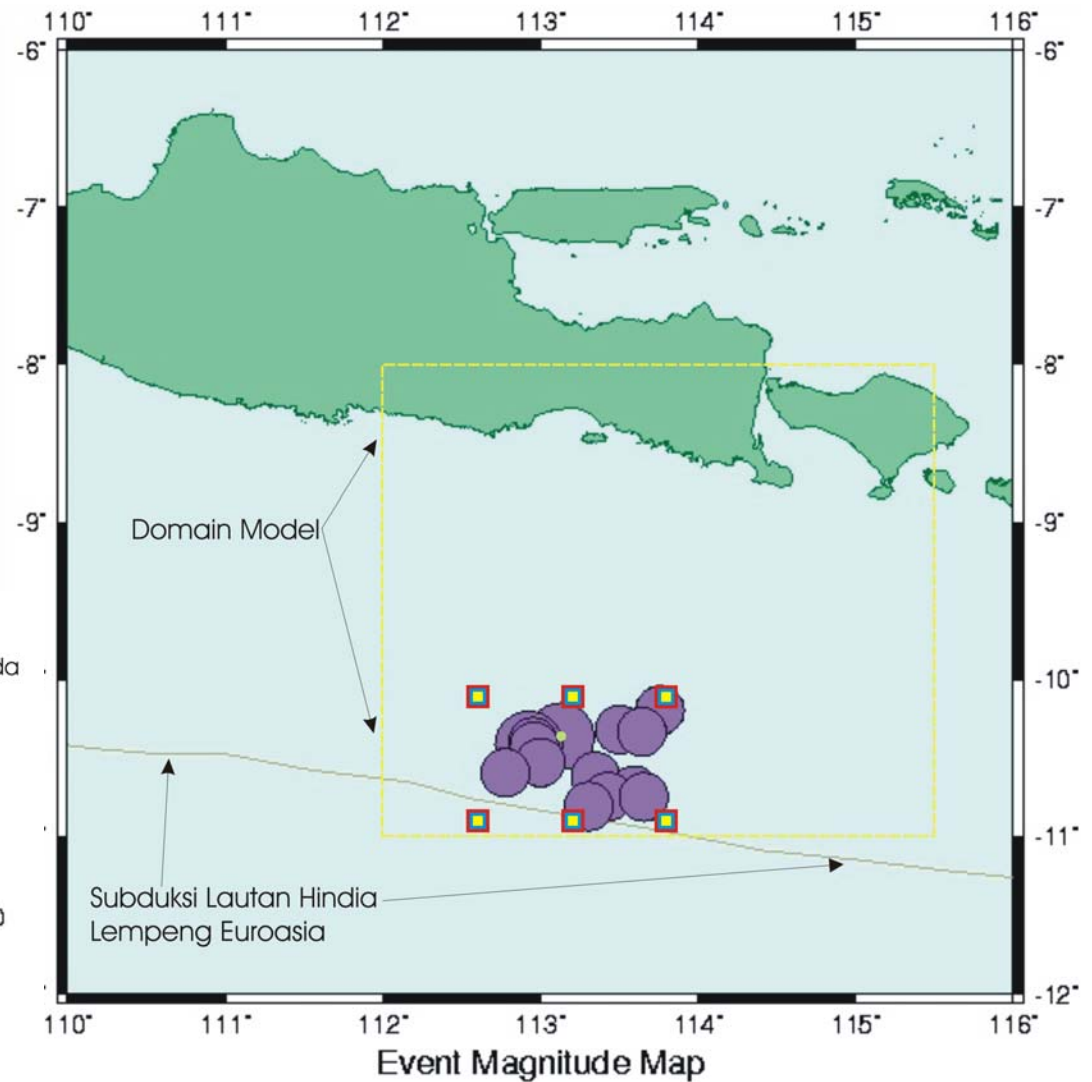
Window of simulation results of the 1996 Palu tsunami

The screenshot displays a software interface for tsunami simulation results. The main window shows a map of the region with a grid overlay. A smaller window titled 'Foto' contains two sub-images, 'Gambar C.3' and 'Gambar C.4', which show the tsunami wave propagation at 2 and 4 minutes, respectively. Below these images are their respective captions: 'Gambar C.3 Penjalaran tsunami menit ke 2' and 'Gambar C.4 Penjalaran tsunami menit ke 4'. At the bottom of the interface, there is a data table with the following columns: Nomor, Tahun, Bulan, Hari, Jam, Menit, Lintang, Bujur, M, Dp, Tm, H_m, Mati, Luka, Runup, Column0, Arrival_Tim, Travel_Tim, Period, and Provinsi. The table contains one row of data for an observed event.

Nomor	Tahun	Bulan	Hari	Jam	Menit	Lintang	Bujur	M	Dp	Tm	H_m	Mati	Luka	Runup	Column0	Arrival_Tim	Travel_Tim	Period	Provinsi
1	416	9	10			-0,5	102							Observed	Observed			0	Sumatera/Java

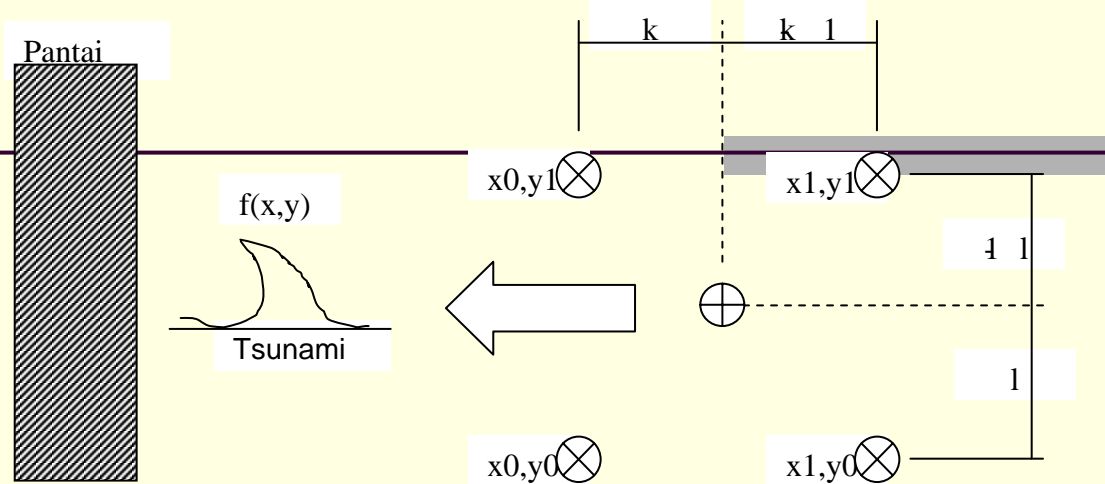
Distribusi Gempa

Gambar Distribusi Gempa Kejadian Gempa Dari 31-12-1993 s/d 1-1-1995 dengan Magnitude Gempa Antara 6 dan 8 pada Lintang -12° s/d -6° dan Bujur 110° - 116° .

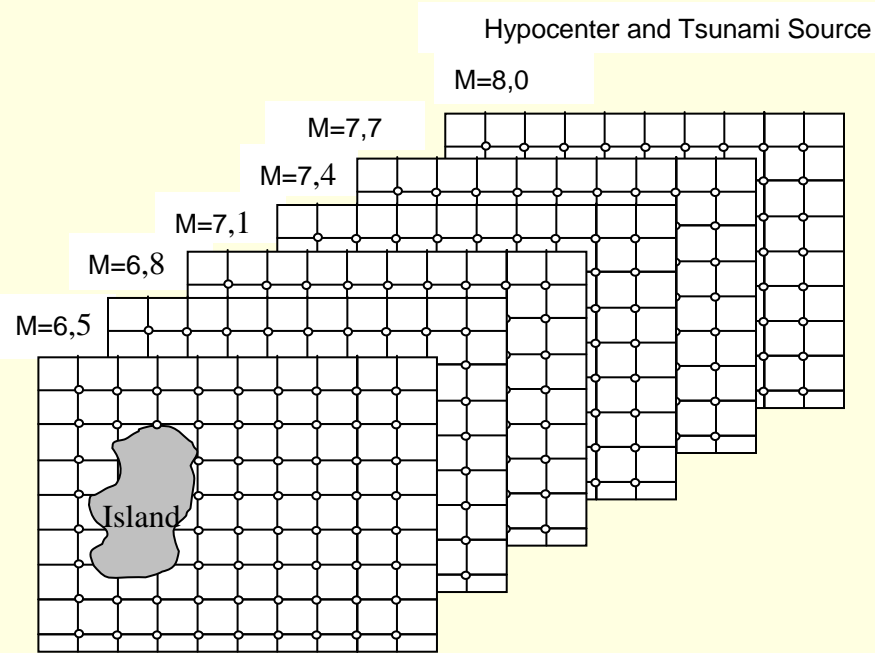


TSUNAMI WARNING SYSTEM

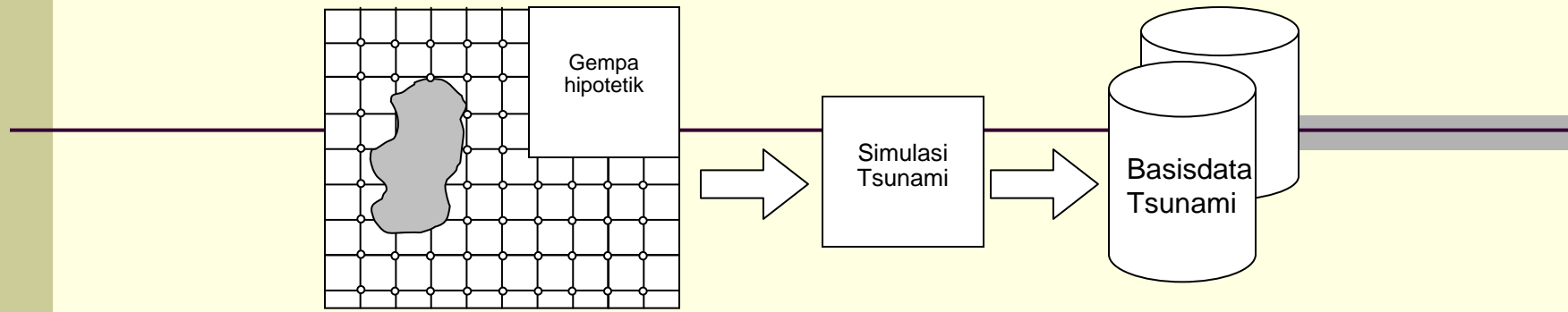
Konsep interpolasi untuk koordinat 2 dimensi (Tatehata, 1996)



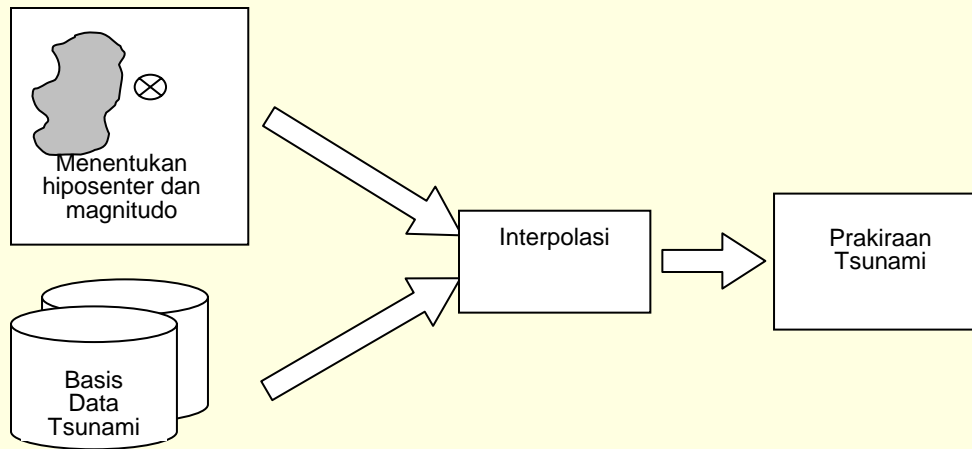
Struktur Basis data untuk peramalan tsunami (Tatehata, 1996)



Basis data tinggi tsunami, waktu tiba dll. untuk masing-masing kejadian gempa



Actual tsunami forecast



THANK YOU



hamzah@ppk.itb.ac.id

hamzah@geoph.itb.ac.id

adit@ppk.itb.ac.id

haris@ppk.itb.ac.id

<http://tsunami2.ppk.itb.ac.id/>