

# REKONSTRUKSI DAN SIMULASI PENJALARAN TSUNAMI BANYUWANGI 1994 MENGGUNAKAN MIKE 21 FLOW MODEL

Rima Gusriana Harahap<sup>1</sup>, Luh Putri Adnyani<sup>1</sup>, Anggoronadhi Dianiswara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Kalimantan,  
Jl. Soekarno Hatta Km. 15 Karang Joang Balikpapan, Kalimantan Timur Indonesia

Email: [rimagusrianahrp@itk.ac.id](mailto:rimagusrianahrp@itk.ac.id)<sup>1</sup> [luhputria@itk.ac.id](mailto:luhputria@itk.ac.id)<sup>2</sup> [anggoronadhi@itk.ac.id](mailto:anggoronadhi@itk.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

3 Juni 1994, gempa berkekuatan 7,8 skala Richter menghempaskan gelombang tsunami di selatan Banyuwangi. 199 jiwa dikabarkan melayang dan ratusan lainnya kehilangan tempat tinggal. Tsunami dikabarkan mencapai ketinggian hingga 9 meter dan menyapu belasan kilometer daratan. Penelitian ini merekonstruksi pembangkitan dan penjalaran tsunami hingga mencapai pantai. Dengan bantuan perangkat lunak MIKE 21 Flow Model, rekonstruksi dilakukan untuk memvalidasi kemampuan perangkat lunak terhadap data primer di lapangan. Parameter gempa dan batimetri dihimpun hingga menghasilkan skenario gelombang yang serupa dengan kejadian asli. Selanjutnya, penggunaan perangkat lunak akan sangat membantu dalam proses pengajian kerentanan pesisir, salah satunya tsunami.

**Kata Kunci:** tsunami, rekonstruksi, banyuwangi, modelling

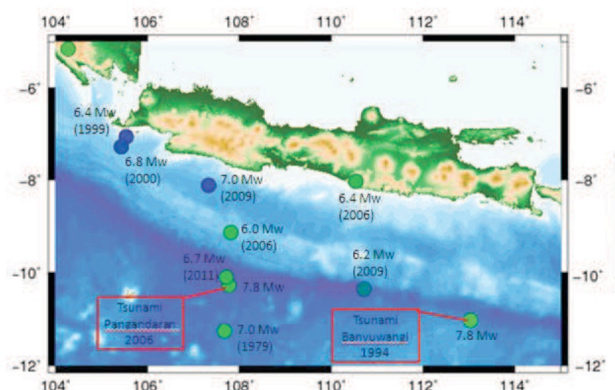
## Abstract

June 3th, 1994, an earthquake with a scale of 7.8 Richter occurred and caused a tsunami in the south of Banyuwangi. It was reported that 199 people had lost their lives and hundreds had lost their homes. The report stated that tsunami reached 9 meters high and swept the land up to dozen kilometers. This research reconstructs the generation and propagation of tsunami toward the coast By using MIKE 21 Flow Model software, reconstruction is carried out to validate the software's ability with primary data in the field. The earthquake parameters and bathymetry are collected to produce a wave scenario similar to the original event. Furthermore, the use of software will be very helpful in the process of studying coastal vulnerability, one of which is a tsunami.

**Keywords:** tsunami, reconstruction, banyuwangi, modelling

## 1. PENDAHULUAN

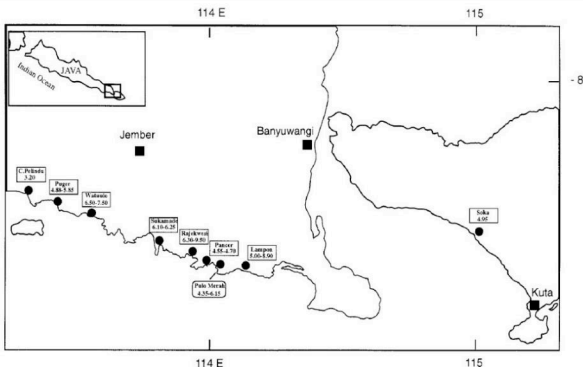
Pesisir selatan Pulau Jawa merupakan kawasan tektonik aktif dengan pergerakan lempeng berintensitas tinggi sepanjang tahun. Dalam dua dekade terakhir, dua gempa besar memicu pembangkitan gelombang tsunami sepanjang area subduksi di Samudera Hindia. 3 Juni 1994, gempa berkekuatan 7,8 skala Richter menghasilkan tsunami berketinggian 6-9 meter yang menyapu bibir pantai Banyuwangi [1]. Berikutnya, tsunami dengan ketinggian mencapai lima meter dari bangkitan gempa 7,8 skala Richter juga menyapu pesisir Pangandaran, Jawa Barat, pada 17 Juli 2006. Gelombang tsunami saat itu masih belum diiringi kesiagaan masyarakat sehingga menelan banyak korban serta infrastruktur yang tidak sedikit.



**Gambar 1.** Peta sejarah gempa dan tsunami di selatan Jawa tahun 1976-2012 [2]

Gempa dangkal berkekuatan besar yang terjadi saat itu secara signifikan mengubah berjuta kubik volume air menjadi gelombang tinggi yang disebut tsunami. Gelombang tsunami di area subduksi dapat mencapai pantai dalam waktu 15-60 menit dengan

kecepatan 800 km/jam untuk perairan dalam, 200 km/jam untuk perairan menengah dan 25 km/jam ketika di darat [3]. Referensi [1] pada penelitiannya dua tahun setelah tsunami menyebutkan berbagai variasi ketinggian gelombang di bibir pantai saat terjadi tsunami Banyuwangi. Ketinggian tsunami mulai Pelindu hingga Lampon variatif mulai 3-9 meter.



**Gambar 2.** Hasil penelitian Maramai dan Tinti, 1996 pada tsunami Banyuwangi [1]

Penerapan perangkat lunak dalam simulasi penjalaran gelombang digunakan sebagai perbandingan dengan hasil survei di lapangan. Dengan rekonstruksi tsunami terdahulu, model serupa dapat diterapkan dalam prediksi tsunami-tsunami berikutnya di area-area subduksi untuk mempermudah upaya mitigasi.

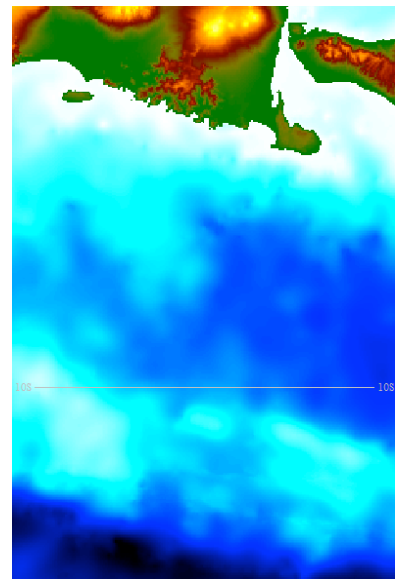
## 2. METODE

### a. Pengumpulan Data

Tahapan awal dari penelitian ini adalah studi literatur dan pengumpulan data-data pendukung untuk referensi gempa dan lokasi penelitian. Adapun beberapa data yang dibutuhkan di antaranya sebagai berikut.

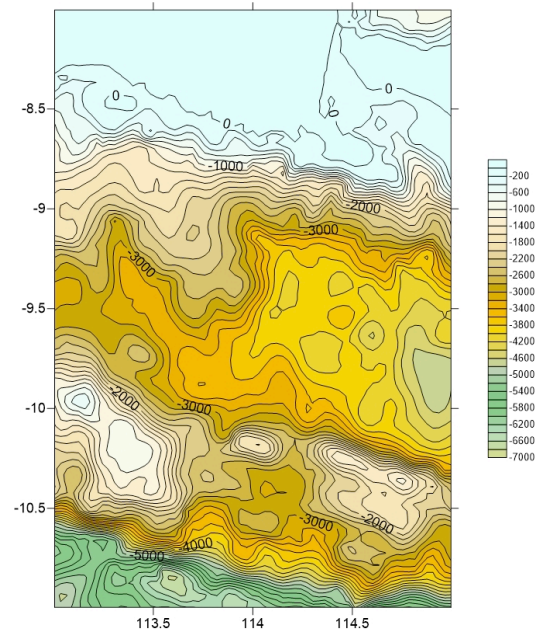
- *Batimetri*  
Peta batimetri diperoleh dari data batimetri global BODC (*British Oceanographic Data Centre*) menggunakan GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*)

yang menyimpan *database* kontur kedalaman di seluruh dunia.



**Gambar 3.** Daerah penelitian menggunakan GEBCO

Produk batimetri ini selanjutnya diolah dengan perangkat lunak *Surfer 10* hingga menghasilkan kerapatan kontur interval 10-50 meter.



**Gambar 4.** Contoh pengolahan *Surfer 10* untuk kontur interval 200 meter

• **Parameter Gempa**

Data parameter gempa yang dibutuhkan meliputi koordinat episentrum gempa, kedalaman, panjang, lebar, serta sudut patahan (*dip, slip, strike*) yang terjadi. Data kekuatan gempa yang digunakan adalah dalam besaran  $M_0$  atau  $M_w$ . Parameter tersebut diperoleh dari *Harvard Global Centroid Moment (CMT)* yang digunakan dalam *input* perhitungan *initial condition*.

```
060294C SOUTH OF JAVA
Date: 1994/ 6/ 2 Centroid Time: 18:18:15.8 GMT
Lat= -11.03 Lon= 113.04
Depth= 15.0 Half duration=11.5
Centroid time minus hypocenter time: 39.0
Moment Tensor: Expo=27 1.381 -1.185 -0.196 5.126 -0.783 0.142
Mw = 7.8 mb = 5.5 Ms = 7.2 Scalar Moment = 5.34e+27
Fault plane: strike=99 dip=83 slip=90
```

**Gambar 5.** Data Global CMT untuk Tsunami Banyuwangi 1994

**b. Perhitungan Initial Condition**

*Initial condition* merupakan kondisi awal tinggi gelombang saat terjadi gempa. Perhitungan tinggi gelombang menggunakan *script* Fortran yang dibuat oleh Kura dari Universitas Tohoku. Dari *script* tersebut didapatkan data *initial condition* berupa ketinggian gelombang tsunami di titik awal terjadinya gempa.

**c. Simulasi dengan Mike 21 Flow Model**

*Mike 21 Flow Model* digunakan untuk mendapatkan penjaran gelombang tsunami dari pusat terjadinya gempa tektonik bawah laut menuju daratan. *Hydrodynamic module* mensimulasikan ketinggian air yang bervariasi dan alirannya dalam respon terhadap variasi gaya di wilayah pantai.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**a. Perhitungan Gempa dan Initial Condition**

Dari data magnitude gempa yang diperoleh, dilakukan perhitungan parameter gempa menggunakan ketentuan Wells dan Coppersmith [4] sehingga dihasilkan data parameter gempa sebagai berikut.

Panjang patahan permukaan bumi (SRL)  
 $\text{Log SRL} = -3,55 + 0,74 M_w$   
 $\text{Log SRL} = 2,24666667$   
 $\text{SRL} = 176,468286 \text{ km}$

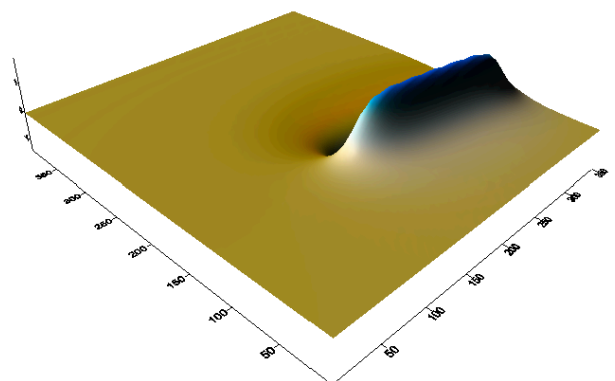
Panjang patahan dalam bumi (RLD)  
 $\text{Log RLD} = -2,57 + 0,62 M_w$   
 $\text{Log RLD} = 2,28666667$   
 $\text{RLD} = 193,493628 \text{ km}$

Lebar patahan (RW)  
 $\text{Log RW} = -0,76 + 0,27 M_w$   
 $\text{Log RW} = 1,355$   
 $\text{RW} = 22,6464431 \text{ km}$

Area patahan (RA)  
 $\text{Log RA} = -3,42 + 0,90 M_w$   
 $\text{Log RA} = 3,63$   
 $\text{RA} = 4265,79519 \text{ km}^2$

Dislocation (MD)  
 $\text{Log MD} = -1,69 + 1,16 \text{ log SRL}$   
 $\text{Log MD} = 0,91613333$   
 $\text{MD} = 8,24391174 \text{ m}$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *initial condition* menggunakan Fortran sehingga didapat tinggi gelombang mula-mula di lokasi gempa yaitu 2 meter.



**Gambar 6.** Initial Condition Tsunami Banyuwangi 1994

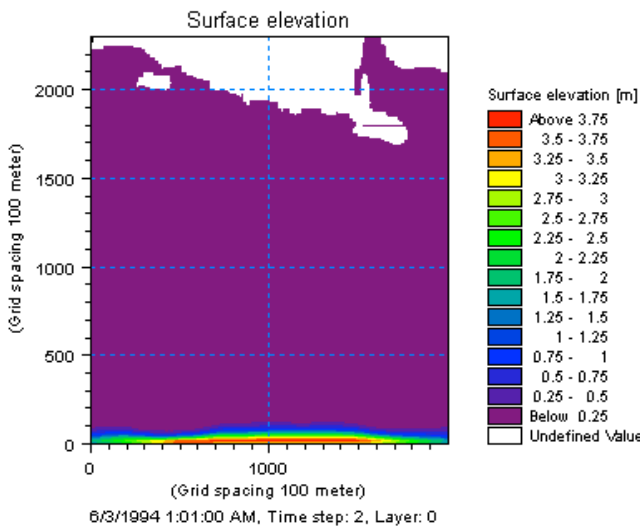
**b. Set-Up Parameter Mike 21 Flow Model**

Dalam menjalankan simulasi, beberapa kondisi awal telah ditetapkan sebagai *basic parameter* yang dibutuhkan oleh model. *Basic parameter* tersebut di antaranya sebagai berikut.

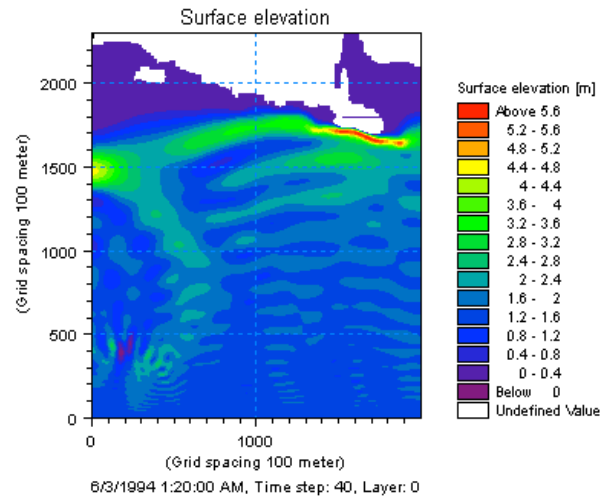
- a. Module Selection : Hydrodynamic Only
- b. Bathymetry: Banyuwangi.dfs2
- c. Simulation Period: 3/6/1994  
01.00.00 - 3/6/1994 03.55.00
- d. Time step: 300 s
- e. No. Of Time Steps: 35
- f. Initial condition: 2 meter
- g. Result file: HD01.dfs2

**c. Output dan Validasi Ketinggian**

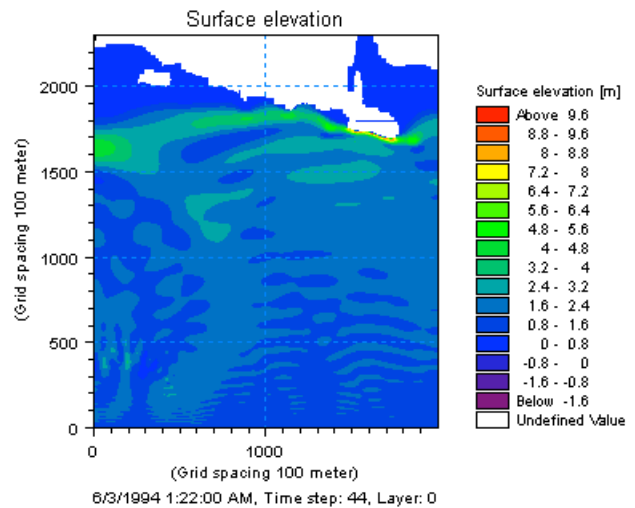
*Result file* dari permodelan berupa ketinggian gelombang tsunami untuk tiap *time step*. Dari hasil simulasi, didapatkan ketinggian tsunami yang mencapai pantai bervariasi di berbagai titik antara 4-7 meter.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 7.** Ketinggian gelombang tsunami time time step 2 (a), time step 40 (b), dan time step 44 (c)

Sementara itu, perbandingan hasil survei lapangan yang dilakukan [1] di titik yang mendekati pada 1996 menunjukkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 1.** Perbandingan Tinggi Gelombang Survei dan Pemodelan

No	Daerah	Ketinggian Gelombang (Maramai dan Tinti, 1996)	Ketinggian Gelombang (Model MIKE 21 FM)
1	Sukamade	6,10 - 6,25 Meter	4,8 - 5,6 Meter
2	Rajekwesi	6,30 - 9,50 Meter	5,6 - 7,2 Meter
3	Pancer	4,55 - 4,70 Meter	5,6 - 6,4 Meter
4	Lampon	5,0 - 8,90 Meter	6,4 - 7,2 Meter

Berdasarkan hasil di atas, memang ditemukan adanya selisih yang mendekati antara hasil pemodelan dengan hasil pengukuran lapangan. Perbedaan ini dianggap mengacu pada akurasi kedalaman perairan yang diperhitungkan serta perbedaan titik yang diambil saat pengukuran. Dengan demikian, penggunaan model dianggap sesuai dan dapat dipergunakan untuk simulasi-simulasi selanjutnya.

Berdasarkan model, ketinggian tsunami maksimum terjadi pada *time step* 44 atau 22 menit setelah *initial condition* terbentuk. Kondisi itu terjadi dengan ketinggian gelombang mencapai 9,6 meter di sisi Taman Nasional Alas Purwo, Banyuwangi.

Cepat rambat gelombang tsunami dapat dihitung dengan teori gelombang dangkal:

$$c = \sqrt{gd} \quad (1)$$

Dimana  $c$  : cepat rambat gelombang  
 $g$  : gravitasi  
 $d$  : kedalaman

Dengan kedalaman perairan 2.500 meter, maka cepat rambat gelombang yang dihasilkan adalah sebesar 158 m/s. Jika diketahui jarak episentrum dengan garis pantai sepanjang 250 km, maka dapat diperoleh waktu tempuh gelombang tsunami hingga mencapai pantai sebesar adalah 26 menit. Lebih lambat 4 menit dari hasil pemodelan yaitu 22 menit. Hal ini diasumsikan karena adanya perbedaan pengukuran pada jarak dan rata-rata kedalaman perairan yang digunakan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi penjalaran gelombang tsunami dan analisa ketinggian sebelumnya, di dapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

a. Tsunami Banyuwangi yang terjadi pada 3 Juni 1994 dapat direkonstruksi

dengan menggunakan parameter gempa sebagai berikut:

- a. Magnitude: 7,8 Mw
  - b. Kedalaman : 15 meter
  - c. *Strike*: 99
  - d. *Dip*: 83
  - e. *Slip* : 90
- b. *Initial condition* dihasilkan dengan ketinggian gelombang 2 meter dan tinggi tsunami maksimum mencapai pantai adalah 9,6 meter.
- c. Ditemukan adanya selisih yang mendekati antara hasil pemodelan dengan pengukuran lapangan. Selisih tersebut dapat dikarenakan perbedaan titik pengukuran maupun akurasi kedalaman perairan yang diperhitungkan.
- d. Waktu tempuh gelombang hingga mencapai pantai memiliki perbedaan yaitu 22 menit pada hasil pemodelan dan 26 menit berdasarkan perhitungan teori gelombang dangkal.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada setiap penulis yang terlibat dan menjadi referensi dalam penelitian ini. Masukan yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk menyempurnakan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maramai dan Tinti, "The 3 June 1994 Java Tsunami : A Post-Event Survey of the Coastal Effects," *Natural Hazards*, Vol. 15, pp.31-49, 1997.
- [2] Rahmawan, Ibrahim, dan Mustofa, "Studi Potensi Bahaya Tsunami di Selatan Jawa," ITB : Bandung, 2012.

- [3] Latief dan Hamzah, "Research on Tsunami Risk and Its Reduction in Indonesia," ITB : Bandung, 2000.
  
- [4] Donald L. Wells and Kevin J. Coppersmith, "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002, 1994.
  
- [5] (2018) The United State Geological Survey (USGS) Earthquake Cattalogue. Available [www.earthquake.usgs.gov](http://www.earthquake.usgs.gov).