

**PEMODELAN PENJALARAN GELOMBANG TSUNAMI  
AKIBAT GEMPA SEBAGAI UPAYA MITIGASI BENCANA  
DI WILAYAH PESISIR PANTAI JEMBER**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagai Syarat  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Fisika



**SEPHIA FIRDAUS DILLA**

**1808026003**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO**

**SEMARANG**

**2022**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Sephia Firdaus Dilla

NIM : 1808026003

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**PEMODELAN PENJALARAN GELOMBANG TSUNAMI  
AKIBAT GEMPA SEBAGAI UPAYA MITIGASI BENCANA DI  
WILAYAH PESISIR PANTAI JEMBER**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/ karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 24/Agustus/2022

Pembuatan pernyataan



METERAI  
TEMPEL  
35AJX889390239

Sephia Firdaus Dilla  
NIM: 1808026003

**NOTA DINAS**

Semarang, 24 Agustus 2022

Yth. Ketua Program Studi Fisika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Walisongo Semarang

*Assalamu'alaikum wr.wb.*

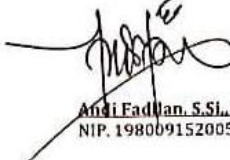
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan,  
dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Pemodelan Penjalaran Gelombang Tsunami Akibat Gempa  
Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Di Wilayah Pesisir Pantai  
Jember**  
Nama : **Sephia Firdaus Dilla**  
NIM : **1808026003**  
Jurusan : **Fisika**

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan  
kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam  
Sidang Munaqasyah.

*Wassalamu'alaikum wr.wb.*

Pembimbing I,



**Andi Fadlan, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 19800915200501106

**NOTA DINAS**

Semarang, 24 Agustus 2022

Yth. Ketua Program Studi Fisika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Walisongo Semarang

*Assalamu'alaikum wr.wb.*

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan,  
dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pemodelan Penjalaran Gelombang Tsunami Akibat Gempa  
Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Di Wilayah Pesisir Pantai  
Jember  
Nama : Sephia Firdaus Dilla  
NIM : 1808026003  
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan  
kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam  
Sidang Munaqasyah.

*Wassalamu'alaikum wr.wb.*

Pembimbing II,



**Hartono, M.Sc.**  
NIP. 199009242019031006

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketinggian gelombang tsunami dan mitigasi bencana menggunakan data sekunder yaitu data GEBCO dan DEMNAS perangkat yang digunakan *software* COMCOT 1.7. Daerah penelitian ini meliputi Kabupaten Jember telah terjadinya tsunami pada tanggal 3 Juni 1994 dengan membahas magnitudo gempa 8,9 skala richter. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa ketinggian maksimal gelombang 12 m dengan waktu tempuh 37,8 menit setelah terjadinya gempa. Ketinggian gelombang tsunami hasil pemodelan bervariasi. Ketinggian gelombang di Kecamatan Kencong mencapai 5,85 m, Kecamatan Wuluhan 6,20 m, Kecamatan Gumukmas 6,55 m, Kecamatan Puger 7,78 m, Kecamatan Tempurejo 7,73 m dan Kecamatan Ambulu 7,83 m. Pemodelan tsunami menghasilkan 4 peta dengan jumlah 14 titik kumpul di pesisir pantai Jember. Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan bahwa ketinggian gelombang tsunami tertinggi pada daerah Kecamatan Ambulu.

**Kata Kunci:** Tsunami, COMCOT, Mitigasi Bencana

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang melimpahkan rahmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pemodelan Penjalaran Gelombang Tsunami Akibat Gempa Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Di Wilayah Pesisir Pantai Jember”**. Penulisan skripsi dilakukan guna memenuhi tugas dan persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains dalam Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa penulis skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Imam. Taufiq, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Dr. H. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Agus Sudarmanto, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
4. Andi Fadllan, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.

5. Hartono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
6. Muhammad Mahfud Muqoddas, S.Tr., selaku Pembimbing Lapangan di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Banjarnegara.
7. Segenap dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam proses penyusunan skripsi.
8. Alex Firdaus dan Jumirah (Almh), selaku orang tua penulis yang telah memberi dukungan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Kakak-kakakku Dessy Ari Lestari, Ervina Puspitasari, dan Alvian Ramdhani yang telah memberikan restu serta dukungan moril maupun materil serta yang tiada henti kepada penulis.
10. Sahabat-sahabatku serta teman seperjuangan Sasa, Siska, Bella dan Dilla yang selalu memberikan semangat, dukungan, bantuan, dan menjadi tempat keluh kesah penulis.
11. Teman-teman kos Berkah Samudra Bringin Meliya, Cino, Ripah, dan mba Hesti yang selalu memberikan semangat,

semangat, semangat serta dukungan, bantuan, dan tempat keluh kesah penulis.

12. Teman-teman Fisika 2018 yang telah bersedia menjadi teman diskusi serta saling memberikan semangat dan masukan dalam penyusunan skripsi.
13. Teman-teman GSC (Geophysics Study Club) dan IMF (Ikatan Mahasiswa Fisika) sebagai wadah bertukar informasi, wawasan juga pengalaman.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna baik dari segi isi maupun metodologi. Oleh karena itu, kritik dan saran yang mendukung dari berbagai pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Semarang, 30 Juli 2022

Penulis

**Sephia Firdaus Dilla**

NIM. 1808026003



## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN .....	i
NOTA PEMBIMBING .....	ii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	6
C. Batasan Masalah .....	6
D. Rumusan Masalah .....	6
E. Tujuan Penelitian .....	7
F. Manfaat Penelitian .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
A. Landasan Teori .....	8
1. Penyebab Terjadinya Tsunami .....	8
2. Aktivitas Lempeng Tektonik .....	12
3. Momen Seismik .....	13
4. Karakteristik Tsunami <i>Earthquake</i> .....	18
5. Simulasi Penjalaran Tsunami .....	18
6. Mitigasi Bencana .....	18

7. Software Comcot .....	33
B. Kajian Pustaka .....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
A. Jenis Penelitian .....	37
B. Waktu dan Tempat Penelitian .....	37
C. Alat dan Bahan .....	37
D. Teknis Pengumpulan Data .....	38
E. Teknik Analisis Data .....	45
F. Diagram Alir Penelitian .....	45
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>46</b>
A. Hasil .....	46
B. Pembahasan .....	64
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>67</b>
C. Kesimpulan .....	67
D. B. Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>74</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 3.1	Perangkat Lunak Penelitian	38
Tabel 4.1	Titik ketinggian tsunami	59

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1.1	Peta sebaran pusat gempa bumi dan tsunami di pulau Jawa yang berkekuatan > Mw 6.0 tahun 1990-2021	3
Gambar 1.2	Peta penduduk Jember (a) kecamatan puger, (b) dan (c) Kecamatan ambulu	4
Gambar 2.1	Hubungan antara kecepatan dan panjang gelombang terhadap kedalaman laut	10
Gambar 2.2	Ilustrasi istilah digunakan dalam pembahasan tsunami Jawa	11
Gambar 2.3	Pergerakan Lempeng Tektonik di wilayah Indonesia	12
Gambar 2.4	Parameter Sesar	16
Gambar 2.5	Bentuk Gerakan Sesar Dasar	18
Gambar 2.6	Staggered grid Comcot	24
Gambar 3.1	Tampilan awal GEBCO	39
Gambar 3.2	Tampilan batimetri pada global mapper	40
Gambar 3.3	Membuat grid/layer	40
Gambar 3.4	Mengexport file menjadi format *.asc.	41
Gambar 3.5	Kotak dialog Metadata	42
Gambar 3.6	Tampilan awal DEMNAS	42
Gambar 3.7	Download Data DEMNAS	43
Gambar 3.8	Data Topografi	43
Gambar 4.1	Data Batimetri	46
Gambar 4.2	Software COMCOT	47
Gambar 4.3	Program Comcot.exe	47
Gambar 4.4	Tampilan awal Octave	48

Gambar 4.5	Pengaplikasian Aplikasi Octave (a) Hasil plot init (b) Hasil plot maksimal	49
Gambar 4.6	Pemotongan grid	50
Gambar 4.7	Program plot snapshot	50
Gambar 4.8	Waktu tempuh penjalaran gelombang	52
Gambar 4.9	Snapshot layer 1	54
Gambar 4.10	Snapshot layer 4	55
Gambar 4.11	Nilai maximum tsunami amplitude wilayah jember	56
Gambar 4.12	Ketinggian air Kecamatan Kencong h 1	57
Gambar 4.13	Ketinggian air Kecamatan Gumukmas h 2	57
Gambar 4.14	Ketinggian air Kecamatan Puger h 3	58
Gambar 4.15	Ketinggian air Kecamatan Wuluhan h 4	58
Gambar 4.16	Ketinggian air Kecamatan Ambulu h 5	59
Gambar 4.17	Ketinggian air Kecamatan Tempurejo h 6	59
Gambar 4.18	Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Kencong	60
Gambar 4.19	Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Gumukmas	61
Gambar 4.20	Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Puger	62
Gambar 4.21	Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Ambulu	63
Gambar 4.22	Deformasi ketinggian pusat gempabumi	66

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1	Lokasi penelitian	74
Lampiran 2	Peta topografi Kabupaten Jember	75
Lampiran 3	Titik kumpul evakuasi	76
Lampiran 4	Simulasi penjalaran grid/layer 2	79
Lampiran 5	Simulasi penjalaran grid/layer 3	80
Lampiran 6	Deformasi vertikal	82
Lampiran 7	Penurunan persamaan penggerak tsunami	86

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar belakang**

Tsunami merupakan bencana alam yang bersifat destruktif dan menimbulkan banyak kerugian bagi masyarakat. Salah satunya adalah tsunami Pangandaran 17 Juli 2006 yang menewaskan 664 orang, melukai 498 orang, dan merusak 1.623 rumah dengan kekuatan gempa bumi 7,7 Skala Richter (Laksono dkk, 2022). Tidak hanya di Jawa tempat terjadinya tsunami, tetapi juga terjadi tsunami di Flores pada 12 Desember 1992, kerusakan harta benda hingga miliaran rupiah yang menewaskan sekitar 2.100 orang. (Wanda, 2018).

Tsunami disebabkan oleh gempa bumi di dasar laut. Gempa bumi dapat terjadi dari berbagai sumber, salah satunya patahan batuan/sesar (Baskara, 2017). Gempa yang dapat menimbulkan tsunami memiliki karakteristik dan kondisi yaitu, besarnya gempa lebih besar dari 6,5 skala richter dan parameter kedalaman gempa kurang dari 100 km di atas permukaan laut (Alfaris, 2020). Al-Quran menjelaskan bahwa bencana tsunami adalah gelombang ombak yang menghantam dan menerjang

daratan. Hal ini dibuktikan dengan firman Allah yang berbunyi:

وَإِذَا الْبِحَارُ فُجِّرَتْ

Artinya:

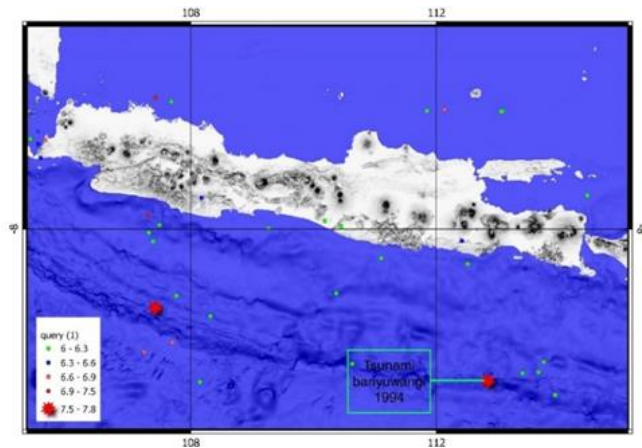
*“Dan apabila lautan dijadikan meluap” (Q.S Al-Infithar 3).*

laut meluap sebagian atas lainnya, lalu memenuhi permukaan bumi. Dan lautan yang ada di perkiakan tiga perempat dari permukaan bumi yang ada sekarang atau bahkan banyak (syaikh Amin bin Abdullah Asy-Syaqawi).

Indonesia terletak di wilayah aktif seismik dimana tsunami sering terjadi. Salah satu daerah rawan tsunami di Indonesia adalah pesisir selatan Jawa, seperti pesisir Jember, Jawa Timur. Pantai selatan Jawa tergolong kelompok rawan tsunami karena adanya pergerakan kerak bumi. Secara geologis, daerah tersebut berada pada pertemuan zona subduksi atau dua lempeng besar yang dapat bertabrakan (lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia). Pergerakan lempeng di daerah ini sering menimbulkan gempa bumi yang dapat menimbulkan tsunami. (Faiqoh, 2013). Terdapat dua gempa yang menimbulkan tsunami berlangsung di kedalaman kurang dari 20 km. Parameter sumber primer nyaris indentik, yaitu dengan strike  $\sim 278^\circ$ - $297^\circ$ , dip  $\sim 10^\circ$ , dan slip  $\sim 90^\circ$



(Kongko dan Schlurmann, 2010). Sumber titik gempa dapat dilihat seperti Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta sebaran gempa bumi dan tsunami di pulau Jawa yang berkekuatan  $>6.0$  Skala Richter tahun 1990-2021 (sumber: USGS)

Tanggal 3 Juni 1994 Tsunami berkekuatan 7,8 SR di pantai selatan Jawa Timur. Kejadian tersebut, menewaskan 250 orang, melukai 423 orang, merusak 1.500 rumah dan menenggelamkan atau merusak 278 kapal (Triyono dkk, 2019). Pusat gempa berada pada koordinat  $10.477^{\circ}\text{LS}$  dan  $112.835^{\circ}\text{BT}$  atau sekitar 249 km dari sebelah selatan Malang - Banyuwangi dengan kedalaman 18,4 km sehingga dapat diklasifikasikan sebagai gempa dangkal (Setiyono, 2019).

Kabupaten Jember memiliki ketinggian dataran yang bervariasi, namun sebagian besar wilayah selatan

Kabupaten Jember merupakan dataran rendah. Ada enam kecamatan yang berada di pesisir pantai Jember yang memiliki wisata bahari. Jika tsunami besar terjadi, maka akan berdampak besar bagi penduduk pesisir Jember. Tempat Pelelangan Ikan (TPI) merupakan salah satu tempat di kawasan Puger bagi wisatawan yang berkunjung ke Pantai Puger. Wilayah Pantai Jember dapat dilihat pada Gambar 1.2.



(c)

Gambar 1.2 Peta penduduk Jember. (a), (b) kecamatan puger dan (c) Kecamatan ambulu (sumber: google earth diakses tanggal 15 juni 2022)

Analisis bahaya tsunami di kabupaten Jember tepatnya di bagian pesisir perlu dilakukan sebagai mitigasi bencana sehingga dapat mengurangi korban jiwa.

Berdasarkan gempa bersejarah 3 Juni 1994, perambatan tsunami dapat dimodelkan dengan menjalankan skenario gempa yang lebih besar dari 8 skala Richter. Analisis tersebut dengan pemodelan tsunami dapat diharapkan dapat memodelkan tsunami sesuai dengan kondisi sekarang sehingga menghasilkan penyebaran gelombang tsunami dari sumber tsunami ke beberapa pantai selatan Jember. Software pemodelan tsunami telah banyak dibuat untuk memudahkan penelitian, software yang sering digunakan dalam penelitian tsunami yaitu software TUNAMI dan software COMCOT. Software TUNAMI (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Nearfield tsunami) fokus memodelkan tsunami yang dibangkitkan oleh deformasi bawah laut (Imamura, 2006). Software COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami) dapat memodelkan tsunami yang dibangkitkan oleh deformasi dasar laut dan longsoran bawah laut berdasarkan Persamaan Air Dangkal yang menerapkan skema *leap-frog* dengan sistem *multi-grid* hingga 12 sub level grid (Wang, 2011). Penelitian ini menggunakan software COMCOT karena sistem multi grid memungkinkan penggunaan banyak area simulasi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pemodelan. COMCOT merupakan generasi terbaru dengan antarmuka yang lebih

efisien, format data, dan pencocokan grid yang mudah dan dilakukan otomatis oleh COMCOT.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat diidentifikasi bahwa masih jarangya penelitian tersebut terhadap tsunami dengan menggunakan pemodelan tsunami dan minimnya hasil riset jalur evakuasi terhadap tsunami di Kabupaten Jember.

## **C. Pembatasan Masalah**

Sesuai dengan latar belakang dan identifikasi masalah, dalam penelitian ini dibatasi pemodelan tsunami berdasarkan sejarah gempa banyuwangi yang terjadi pada 03 Juni 1994 dengan magnitudo 8,9 SR berdasarkan Pusat penelitian Gempa Nasional (PusGen).

## **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka bisa dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pemodelan penjalaran gelombang Tsunami *ocean modeling* akibat gempa tektonik pantai Jember tanggal 3 Juni 1994?

2. Berapa ketinggian gelombang tsunami di pesisir pantai Jember, berdasarkan pemodelan COMCOT?
3. Bagaimana jalur evakuasi upaya mitigasi bencana tsunami di pesisir pantai Jember?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menemukan pemodelan penjalaran gelombang Tsunami *ocean modeling* akibat gempa tektonik pantai Jember tanggal 3 Juni 1994.
2. Mengetahui ketinggian gelombang tsunami di pesisir pantai Jember, berdasarkan pemodelan COMCOT.
3. Menentukan jalur evakuasi upaya mitigasi bencana tsunami di pesisir pantai Jember.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai daerah yang terkena dampak tsunami yang mungkin terjadi, sehingga dapat digunakan sebagai acuan bagi masyarakat dan pemerintah untuk memitigasi bencana tsunami di masa mendatang yang terjadi di Kabupaten Jember.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Landasan Teori**

##### **1. Penyebab Terjadinya Tsunami**

Kata "tsunami" kata dalam bahasa Jepang yang dieja dalam dua kata, *tsu* yang melambangkan pelabuhan, dan *nami* yang melambangkan gelombang. Dapat diartikan sebagai "gelombang besar di pelabuhan" (sulistiawati, 2020). Tsunami didefinisikan rangkaian gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan adanya gerakan di dasar laut. Ada beberapa hal penyebab terjadinya tsunami, gempa bumi diikuti dengan dislokasi/perpindahan massa, tanah longsor di dalam laut, letusan gunung api di bawah laut atau gunung api pulau (Sutrisnawati, 2018). Aktivitas alam semacam ini adalah penyebab tsunami, yang mendorong massa air dalam jumlah besar. Berdasarkan persentase terjadinya tsunami yang umumnya disebabkan oleh gempa bumi menimbulkan tsunami dengan episentrum di laut dan merupakan gempa dangkal.

Ketinggian tsunami dihasilkan dari energi kinetik gelombang menjadi gelombang potensial. Dengan kata lain, energi yang hilang akibat perlambatan

ditransmisikan dalam bentuk kenaikan tinggi gelombang awal. Kecepatan tsunami yang sampai ke daratan di dapat 25-100 km/jam. Gelombang tsunami memiliki 100 - 2.000 detik (1,6 - 33 menit), dapat disebut jendela tsunami. Gelombang tsunami merambat dengan kecepatan 600-900 km/jam dibagian laut dalam, 100-300 km/jam di paparan benua, dan 36 km/jam di bagian pesisir (Sari, 2014).

Kecepatan tsunami tergantung pada kedalaman laut. Semakin dangkal laut, semakin lambat kecepatan tsunami. Gelombang progresif dengan nilai panjang gelombang yang jauh lebih tinggi dari nilai kedalaman air disebut gelombang dangkal atau gelombang panjang. Kecepatan rambat tsunami tergantung pada kedalaman dasar laut seperti persamaan (2.1) (Pandey, 2015).

$$c = \sqrt{gh} \text{ dan } \lambda = T \times c \quad (2.1)$$

Keterangan :

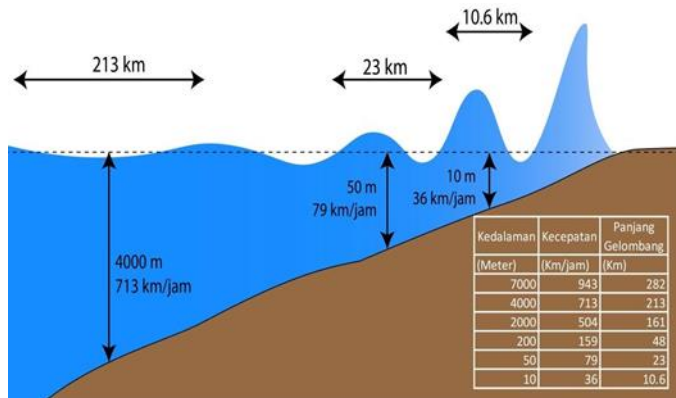
$c$  : Kecepatan gelombang tsunami (m/s)

$g$  : Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : Kedalaman laut (m)

$\lambda$  : panjang gelombang (m)

$T$  : periode gelombang (detik)



Gambar 2.1. Hubungan antara kecepatan dan panjang gelombang terhadap kedalaman laut  
(Sumber: Diposaptono dan Budiman, 2006)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman laut maka semakin besar kecepatan gelombang. Ketinggian gelombang sangat dipengaruhi oleh panjang gelombang. Tsunami memiliki panjang gelombang ribuan km/jam, seperti gelombang air dangkal. Suatu gelombang menjadi gelombang air dangkal atau *shallow water wave* Ketika perbandingan kedalaman air dengan panjang gelombangnya kecil dari 0,05 (Sugito,2008). Ketika gelombang tsunami menuju pantai, tsunami mengalami transformasi gelombang dengan menurunnya kecepatan penjalaran dan terjadi pengurangan panjang gelombang, sehingga tinggi gelombang menjadi lebih besar (Mahfud, 2018).



Untuk lebih jelasnya penjalaran tsunami dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.2. ilustrasi istilah digunakan dalam pembahasan tsunami (BMKG, 2014)

Gelombang tsunami yang mendekati garis pantai kemudian akan masuk ke dalam daratan seperti Gambar 2.2 terdapat ilustrasi istilah yang digunakan dalam pembahasan tsunami sebagai berikut (muqqodas, 2018).

- a. *Run-up height* atau tinggi run-up adalah ketinggian tsunami pada titik inundasi maksimum ke daratan.
- b. Tinggi tsunami merupakan ketinggian tsunami di atas daratan dihitung dari referensi muka air laut.
- c. *Flow Depth* Kedalaman aliran adalah ketinggian tsunami yang berada di atas daratan, dihitung dari ketinggian topografi.

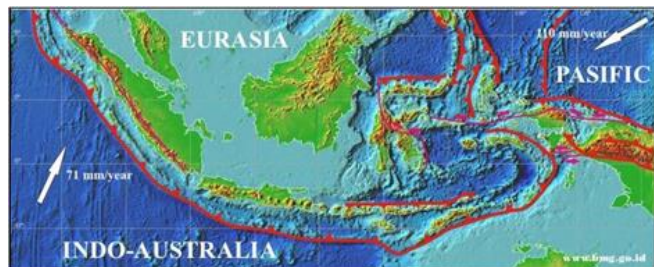
- d. Referensi muka air laut atau *Mean Sea Level* (MSL) adalah rata-rata nilai tinggi muka air laut dalam jangka waktu yang lama.
- e. *Inundasi* merupakan jarak maksimal tsunami secara horizontal sampai kedataran akibat penjalaran tsunami, ditarik dari garis pantai.

## 2. Aktivitas Lempeng Tektonik

Secara geografis Indonesia terletak di garis khatulistiwa antara  $95^{\circ}$  –  $140^{\circ}$  BT dan  $6^{\circ}$  LU –  $11^{\circ}$  LS. Secara tektonik Indonesia menempati tiga pertemuan lempeng besar kerak bumi yang masih aktif. Bergerak saling mendekat satu sama lain ke tiga lempeng tersebut yakni Lempeng Indo-Australia berada di selatan, lempeng Eurasia berada di utara, Lempeng Samudera Pasifik berada di timur (Haifani, 2013). Gambar 2.3 menunjukkan arah pergerakan di sekitar wilayah Indonesia. Pergerakan Lempeng Indo-Australia beraksi relatif ke utara serta bertumbukan dengan Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik beraksi ke barat sedangkan Lempeng Eurasia relatif diam.

Pulau Jawa merupakan bagian dari busur kepulauan sunda, yang terletak dari kepulauan Andaman dan Nikobar di bagian barat hingga mencapai pulau sumba (Setyowidodo, 2015). Busur Sunda merupakan hasil

dari interaksi lempeng samudra, yakni penunjaman lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Benua Eurasia sepanjang Palung Sunda. Kecepatan penunjaman lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara di Pulau Jawa diperkirakan 7 cm/ tahun (Jannah, 2016). Zona subduksi sunda juga dikenal sebagai zona tektonik aktif yang mengontrol Sebagian besar aktivitas kegempaan di Pulau Jawa.



Gambar 2.3. Pergerakan lempeng tektonik di wilayah Indonesia (sumber: BMKG, diakses 28 Desember 2021 pukul 15:51 di :

[http://inatews2.bmkg.go.id/new/tentang\\_eq.php](http://inatews2.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php) )

### 3. Momen Seismik

Deformasi dasar laut yang dapat menyebabkan tsunami adalah deformasi arah vertikal (sesar naik atau turun). Pergerakan vertical dasar Samudra naik atau turun dengan cepat menjadi respon dari gempa bumi. Gempa harus memiliki momen seismik yang besar dan memiliki letak hiposentrum dangkal sebagai syarat untuk mendapatkan deformasi di dasar laut.

Momen seismik digunakan untuk menghitung jumlah energi yang dilepaskan oleh gempa dengan memperhitungkan perpindahan yang terjadi dalam slip di sepanjang patahan (Hadi, 2019). Persamaan umum untuk konversi momen seismik menjadi magnitudo adalah persamaan Well dan Coppersmith (1994) sebagaimana dinyatakan dalam (2.2) :

$$M_o = \mu DA \quad (2.2)$$

Keterangan:

$M_o$  : Momen Seismik gempa (Nm)

$\mu$  : Modulus geser ( $3 \times 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup>)

$D$  : Dislokasi (m<sup>2</sup>)

$A$  : luas permukaan sesar (m<sup>2</sup>)

Adapun hubungan antara magnitudo gempa dengan momen seismik seperti persamaan (2.3) (Wells and Coppersmith, 1994).

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_o - 10,7 \quad (2.3)$$

Keterangan:

$M_w$  : momen magnitudo (Skala Magnitude)

$M_o$  : Momen Seismik (Nm)

Persamaan tersebut menunjukkan bidang datar pada ellipoida, menggunakan Teknik proyeksi stereographic (wang, 2009). Dalam realita deformasi bawah laut terjadi pada permukaan bumi (ellipsoida).

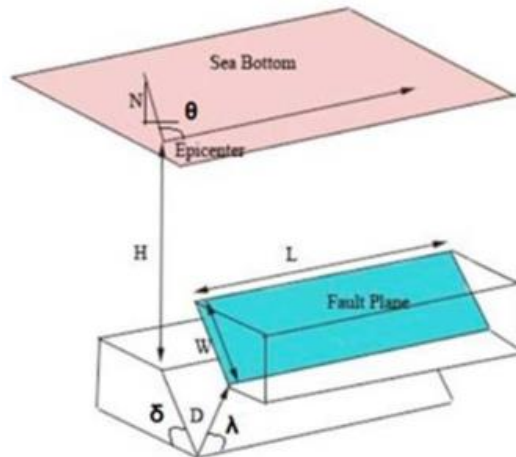
Proyeksi stereographic ini diterapkan dalam comcot, pada peta permukaan ellipsoidal bumi digunakan episceter sebagai titik bidang datar bumi dengan metode proyeksi ini di setiap lokasi pada permukaan bumi berkaitan dengan suatu bidang  $(x,y)$ . Pergeseran bumi dapat di evaluasi dalam teori bidang patahan elastis (Mahinsa and Smylie, 1971).

Momen sismik menghitung besarnya energi yang dilepaskan oleh gempa dengan memperhitungkan perpindahan yang terjadi di dalam slip di sepanjang sesar dan luas permukaan sesar yang mengalami slip. Magnitudo gempa tidak cocok untuk digunakan dalam gempa yang memiliki skala kecil, karena perpindahan dalam slipnya relatif lebih kecil atau bahkan kurang signifikan (ummi, 2020).

Sesar atau patahan diasumsikan dengan dua permukaan yang bergerak relative Ketika terjadi gempa bumi seperti dalam gambar 2.4. Arah bidang sesar ditentukan oleh parameter bidang sesar seperti *strike*, *dip*, dan *rake* (Nandasari, 2020).

- a. *Strike* ( $\theta$ ) adalah sudut yang dibentuk oleh arah sesar relatif terhadap arah utara (dihitung searah jarum jam), diukur dari arah utara ke arah timur.

- b. *Dip* ( $\delta$ ) adalah sudut dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal, dan diukur pada bidang vertikal yang arahnya tegak lurus jurus patahan, besarnya  $0^\circ$  hingga  $90^\circ$ .
- c. *Rake* atau *slip* ( $\lambda$ ) adalah sudut pergerakan *hanging wall* terhadap *strike* ( $-180^\circ$  hingga  $+180^\circ$ ). *Rake* bernilai positif untuk sesar naik dan bernilai negatif untuk sesar turun.



Gambar 2.4. Parameter sesar (Suntoko, 2019)

Well dan Coppersmith (1994) memberikan hubungan empiris antara moment magnitude, Panjang, luas, dislokasi dan lebar bidang patahan menggunakan parameter gempa bumi historis secara global. Persamaan yang berhubungan dengan sesar keatas dan

digunakan dalam penelitian ini dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan berdasarkan persamaan *papazachos, et al* (2004), sebagai berikut (kurniawan, 2019):

Panjang patahan di permukaan bumi

$$\log L = -2,42 + (0,58 \times Mw) \quad (2.4)$$

Lebar patahan di permukaan bumi

$$\log W = -1,61 + (0,41 \times Mw) \quad (2.5)$$

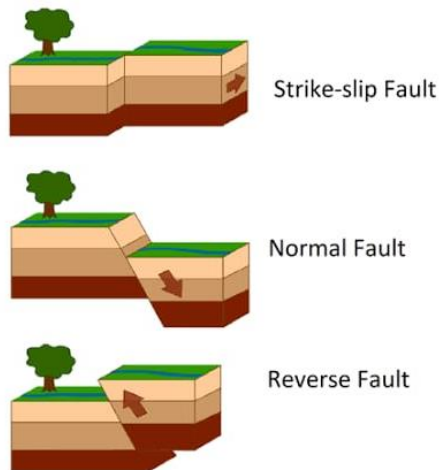
Maximum Displacement/Slip (MD)

$$\log MD = -1,38 + (1,02 \times \log L) \quad (2.6)$$

sesar adalah suatu rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian yang berhadapan, dengan arah yang sejajar dengan bidang patahan (Jayadi, 2016). Pergeseran terjadi karena adanya gaya tektonik yang bekerja di dalam bumi. Secara umum sesar yang dinyatakan dalam proyeksi stereografik ada tiga macam bentuk sesar yaitu, sesar naik, sesar turun, dan sesar mendatar dapat dilihat pada gambar 2.5 sebagai berikut (Adha, 2018):

- a. Sesar naik (*Thrust fault*) Gerakan relatif ke atas terhadap blok dasar, dengan sudut kemiringan bidang sesar kurang dari  $30^\circ$ .

- b. Sesar turun (*normal fault*) Gerakan relatif turun terhadap blok dasar, dengan sudut kemiringan bidang sesar antara  $30^\circ$  hingga  $90^\circ$
- c. Sesar mendatar (*strike slip fault*) yaitu sesar sesar yang pergerakannya sejajar terhadap arah jurus bidangnya.



Gambar 2.5. Bentuk gerakan sesar dasar  
(Rahmawati, 2017)

#### 4. Karakteristik Tsunami *Earthquake*

Gempa bumi dangkal yang terjadi pada zona *subduksi* dapat menimbulkan tsunami. Gempabumi yang membangkitkan tsunami berdasarkan lokasi pusat gempa bumi *hiposenter* yaitu *interpolate*, *outer*, *rise* dan *tsunami earthquake* (muqqodas, 2018). Gempa



bumi yang dapat menimbulkan tsunami disebut dengan *Tsunamigenic earthquake*, sedangkan gempa bumi yang menimbulkan tsunami yang lebih besar pada perkiraan energi gelombang seismiknya disebut *tsunami earthquake*. *Tsunami earthquake* memiliki magnitudo permukaan  $M_s$  yang lebih kecil dari pada magnitudo moment  $M_w$ .

Karakteristik dari *tsunami earthquake* di Indonesia (Pribadi, 2013)

- a. Sesar naik *thrust*
  - b. Energi seismic dan moment seismik yang sangat rendah
  - c. Durasi *rupture* yang lama
  - d. Magnitude yang sedang tapi menghasilkan gelombang tsunami yang tinggi
  - e. Memiliki kedalaman yang dangkal
5. Simulasi Penjalaran Tsunami

Model numerik berdasarkan persamaan air dangkal jauh lebih efisien dalam mensimulasikan tsunami lintas samudera karena skema numerik eksplisit yang umum digunakan dan tanpa perlu dipecahkan turunan orde tinggi yang terkait dengan nonlinier dan dispersi frekuensi (Wang, 2011).

Persamaan air dangkal diimplementasikan dengan koordinat Spherical dan Cartesian dalam Comcot untuk mensimulasikan proses penjalaran dan run-up tsunami. Dalam khusus cekungan di laut dalam, amplitudo gelombang tsunami jauh lebih kecil dari pada kedalaman air. Persamaan air dangkal linear dalam koordinat spherical digunakan untuk memodelkan evolusi tsunami sebagai berikut (Wang, 2011).

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right\} = -\frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = 0 \quad (2.9)$$

Dimana  $\eta$  elevasi permukaan air (m);  $(P, Q)$  menunjukkan komponen fluks volume dalam arah  $(x, y)$ ;  $(\psi, \varphi)$  merupakan latitude dan longitude;  $R$  jari-jari bumi;  $g$  percepatan gravitasi dan  $h$  kedalaman airnya. Syarat suku  $-\frac{\partial h}{\partial t}$  yang mencerminkan efek dari variasi batimetri, suku tersebut dapat digunakan untuk memodelkan tsunami yang dibangkitkan oleh gerakan dasar laut seperti transien, tanah longsor bawah laut.  $f$  menyatakan koefisien gaya akibat rotasi bumi.

Ketika simulasi yang melibatkan wilayah yang relatif kecil efek rotasi tidak menonjol, persamaan air

dangkal dalam koordinat *Cartesian* dapat digunakan untuk memodelkan evolusi tsunami. Persamaan air dangkal linear dalam koordinat *Cartesian* juga mengimplementasikan dalam Comcot sebagai berikut.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - fQ = 0 \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + fP = 0 \quad (2.12)$$

$(P, Q)$  menunjukkan komponen fluks volume dalam arah  $(x, y)$  merupakan dari kecepatan dan kedalaman air  $P = hu$  dan  $Q = hv$ .

Diketahui bahwa panjang gelombang menjadi lebih pendek dan amplitudanya menjadi lebih besar karena kedangkalan air saat tsunami merambat ke landas kontinen mendekati daerah pantai. Fenomena tersebut merupakan efek sholing. Akibatnya persamaan air dangkal linear secara bertahap menjadi tidak valid dan efek nonlinear akan mendominasi. Oleh karena itu, gaya inersia konvektif nonlinear dan gesekan bawah menjadi penting, sedangkan gaya Coriolis dan dispersi frekuensi berkurang. Persamaan air dangkal nonlinear termasuk efek gesekan dasar yang digunakan untuk menggambarkan gerakan gelombang di zona pantai. Dalam comcot, persamaan air dangkal nonlinear

mengimplementasikan dalam koordinat *Spherical* sebagai berikut.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{P^2}{H} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{PQ}{H} \right) + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ + F_x = 0 \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{PQ^2}{H} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{Q^2}{H} \right) + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} - fP + F_y = 0 \quad (2.15)$$

Dan persamaan dalam *Cartesian Coordinates* sebagai berikut:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_x = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + F_y = 0 \quad (2.18)$$

Dimana H adalah total kedalaman air dan  $H = \eta + h$ ;  $F_x$  dan  $F_y$ , mewakili gesekan bawah dalam arah (x,y), dan kedua sisi ini dievaluasi melalui rumus Manning. Dimana  $\eta$  koefisien kekerasan manning.

$$F_x = \frac{gn^2}{H^{8/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (2.19)$$

$$F_y = \frac{gn^2}{H^{8/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (2.20)$$

Penyelesaian persamaan air dangkal dalam koordinat *spherical and cartesian* menggunakan skema

beda hingga *staggered leap-frog* (Cho, 1995). Elevasi muka air laut  $\eta$  dan fluks volume ( $P, Q$ ) dalam ruang dan waktu. Gambar 2.6 menunjukkan system perpindahan permukaan air  $\eta$  dievaluasi di pusat sel grid dan volume komponen fluks  $P$  dan  $Q$ , dievaluasi di pusat tepi sel grid. Dalam *spherical coordinates*, melalui ekspansi di pusat sel ( $i\Delta x, j\Delta y$ ) dimana  $\eta$  dievaluasi dan pada tingkat waktu  $n\Delta t$  Ketika  $P$  dan  $Q$  dievaluasi di tepi ( $i + 1/2, j$ ) dan ( $i, j + 1/2$ ) dari sel grid. Skema beda hingga *staggered leap-frog* eksplisit untuk persamaan air dangkal linear, dengan kesalahan pemotongan diabaikan, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \frac{\eta_{ij}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{ij}^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} + \left\{ \frac{1}{R \cos \varphi} \right\}_{ij} \frac{P_{i+\frac{1}{2},j}^n - P_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta \psi} + \\ & \left\{ \frac{1}{R \cos \varphi} \right\}_{ij} \frac{(\cos \varphi_{i,j+\frac{1}{2}}) Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n - (\cos \varphi_{i,j-\frac{1}{2}}) Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n}{\Delta \varphi} = \\ & - \frac{h_{ij}^{n+1/2} - h_{ij}^{n-1/2}}{\Delta t} \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\frac{P_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} - P_{i+\frac{1}{2},j}^n}{\Delta t} + \left\{ \frac{gh}{R \cos \varphi} \right\}_{i+\frac{1}{2},j} \frac{\eta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta \psi} - f Q_{i+\frac{1}{2},j}^n \quad (2.22)$$

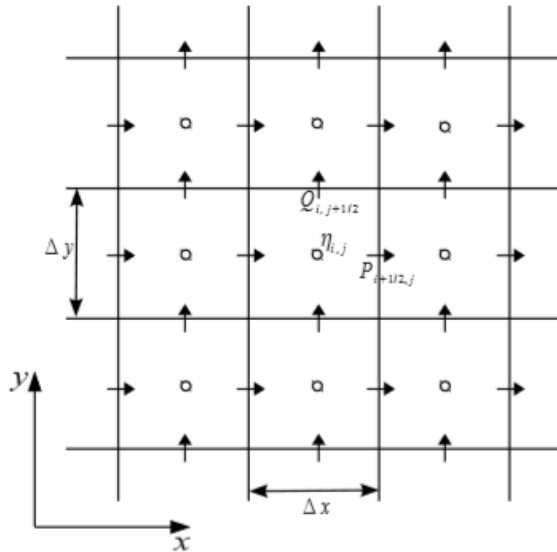
$$\frac{Q_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+1} - Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta t} + \left\{ \frac{gh}{R} \right\}_{i,j+\frac{1}{2}} \frac{\eta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta \varphi} - f Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n = 0 \quad (2.23)$$

Yang sering digunakan dalam simulasi tsunami lintas Samudra skala besar dan rekanan koordinat *Cartesian* menyatakan sebagai berikut,

$$\frac{\eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} + \frac{p_{i+\frac{1}{2},j}^n - p_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} - Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n}{\Delta y} = - \frac{h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - h_{i,j}^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} \quad (2.24)$$

$$\frac{p_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} - p_{i+\frac{1}{2},j}^n}{\Delta t} + gh_{i+\frac{1}{2},j} \frac{\eta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} = 0 \quad (2.25)$$

$$\frac{Q_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+1} - Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta t} + gh_{i,j+\frac{1}{2}} \frac{\eta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} = 0 \quad (2.26)$$



Gambar 2.6 Staggered grid setup di COMCOT

Sering digunakan untuk simulasi skala kecil. Skema numerik diatas memiliki kesalahan pemotongan dalam urutan  $O(\Delta x^2, \Delta y^2, \Delta t^2)$ .

Persamaan 2.21 da 2.24 yang diusulkan dalam skema leap-frog menghitung perpindahan permukaan bebas sel grid  $(i, j)$  pada waktu  $(n + \frac{1}{2})$ . Perhitungan ini sepenuhnya eksplisit dan memerlukan informasi tentang komponen fluks volume dan perpindahan permukaan bebas dari langkah waktu sebelumnya. Komponen fluks volume tidak dievaluasi pada lokasi yang sama dengan perpindahan permukaan bebas. Gambar 2.6 menunjukkan system grid perpindahan permukaan bebas,  $\eta$  dihitung dipusat sel grid  $(i, j)$  dan komponen fluks,  $P$  dan  $Q$ , diperoleh dipusat empat tepi sel grid,  $P_{i-\frac{1}{2}}$ ,  $P_{i+\frac{1}{2}}$ ,  $Q_{ij-\frac{1}{2}}$ , dan  $Q_{ij+\frac{1}{2}}$ . Persamaan momentum 2.22 - 2.23 dan 2.24 - 2.25, digunakan untuk menghitung komponen fluks volume,  $P_{i+\frac{1}{2}}$  dan  $Q_{i,j+\frac{1}{2}}$ . Perhitungan untuk perpindahan permukaan bebas dan komponen fluks volume juga staggered dalam waktu. Perpindahan permukaan bebas dievaluasi pada tingkat waktu  $t = (n - \frac{1}{2})\Delta t$  dan  $t = (n + \frac{1}{2})\Delta t$  namun komponen fluks volume dihitung pada tingkat waktu  $t = n\Delta t$  dan  $t = (n + \frac{1}{2})\Delta t$ .

Persamaan air dangkal nonlinear didiskritisasi dengan menggunakan persamaan skema beda hingga

leap-frog yang sama seperti persamaan air dangkal linear. Namun, persamaan nonlinear didiskritisasi dengan skema beda hingga melawan arah angin. Secara umum, skema melawan angin stabil secara kondisional dan memperkenalkan beberapa disipasi numerik. Tetapi jika gradien kecepatan di dalam fluida tidak terlalu besar dan jika kondisi stabilitas,  $\sqrt{2gh\Delta t/\Delta x} < 1$ . Dengan menggunakan skema melawan angin, suku-suku nonlinier dalam persamaan momentum dalam system koordinat *cartesian* didiskritisasi sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} = \frac{1}{\Delta x} \left\{ \begin{aligned} &\lambda_{11} \frac{\left( P_{i+\frac{3}{2},j}^n \right)^2}{H_{i+\frac{3}{2},j}^n} + \lambda_{12} \frac{\left( P_{i+\frac{1}{2},j}^n \right)^2}{H_{i+\frac{1}{2},j}^n} \\ &+ \lambda_{13} \frac{\left( P_{i-\frac{1}{2},j}^n \right)^2}{H_{i-\frac{1}{2},j}^n} \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} = \frac{1}{\Delta y} \left\{ \begin{aligned} &\lambda_{21} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j+1}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j+1}^n} + \lambda_{22} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j}^n} \\ &+ \lambda_{23} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j-1}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j-1}^n} \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} = \frac{1}{\Delta x} \left\{ \begin{aligned} &\lambda_{31} \frac{(PQ)_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n} + \lambda_{32} \frac{(PQ)_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i,j+\frac{1}{2}}^n} \\ &+ \lambda_{33} \frac{(PQ)_{i-1,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i-1,j+\frac{1}{2}}^n} \end{aligned} \right\} \quad (2.29)$$



$$\frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} = \frac{1}{\Delta y} \left\{ \begin{aligned} &\lambda_{41} \frac{\left( Q_{i,j+\frac{3}{2}}^n \right)^2}{H_{i,j+\frac{3}{2}}^n} + \lambda_{42} \frac{\left( Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n \right)^2}{H_{i,j+\frac{1}{2}}^n} \\ &+ \lambda_{43} \frac{\left( Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n \right)^2}{H_{i,j-\frac{1}{2}}^n} \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Dimana koefisien  $\lambda$  ditentukan dari

$$\begin{cases} \lambda_{11} = 0, \lambda_{12} = 1, \lambda_{13} = -1, \text{ if } P_{i+\frac{1}{2},j}^n \geq 0 \\ \lambda_{11} = 1, \lambda_{12} = -1, \lambda_{13} = 0, \text{ if } P_{i+\frac{1}{2},j}^n < 0 \end{cases} \quad (2.31)$$

$$\begin{cases} \lambda_{21} = 0, \lambda_{22} = 1, \lambda_{23} = -1, \text{ if } Q_{i+\frac{1}{2},j}^n \geq 0 \\ \lambda_{21} = 1, \lambda_{22} = -1, \lambda_{23} = 0, \text{ if } Q_{i+\frac{1}{2},j}^n < 0 \end{cases} \quad (2.32)$$

$$\begin{cases} \lambda_{31} = 0, \lambda_{32} = 1, \lambda_{33} = -1, \text{ if } P_{i,j+\frac{1}{2}}^n \geq 0 \\ \lambda_{31} = 1, \lambda_{32} = -1, \lambda_{33} = 0, \text{ if } P_{i,j+\frac{1}{2}}^n < 0 \end{cases} \quad (2.33)$$

$$\begin{cases} \lambda_{41} = 0, \lambda_{42} = 1, \lambda_{43} = -1, \text{ if } Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n \geq 0 \\ \lambda_{41} = 1, \lambda_{42} = -1, \lambda_{43} = 0, \text{ if } Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n < 0 \end{cases} \quad (2.34)$$

Rumus Manning digunakan untuk memodelkan gesekan bawah. Gesekan bawah didiskritisasi sebagai

$$F_x = v_x \left( P_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} + P_{i+\frac{1}{2},j}^n \right) \quad (2.35)$$

$$F_y = v_y \left( Q_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} + Q_{i+\frac{1}{2},j}^n \right) \quad (2.36)$$

Dimana  $v_x$  dan  $v_y$  diberikan oleh,

$$v_x = \frac{1}{2} \frac{gn^2}{\left( H_{i+\frac{1}{2},j}^n \right)^{7/3}} \left[ \left( P_{i+\frac{1}{2},j}^n \right)^2 + \left( Q_{i+\frac{1}{2},j}^n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.37)$$

$$v_y = \frac{1}{2} \frac{gn^2}{\left(H_{i,j+\frac{1}{2}}^n\right)^{7/3}} \left[ \left(P_{i,j+\frac{1}{2}}^n\right)^2 + \left(Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n\right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.38)$$

Untuk rumus manning, bentuk perbedaan hingga untuk persamaan kontinuita dan persamaan momentum dalam *Cartesian* koordinat sebagai berikut,

$$\eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \eta_{i,j}^{n-\frac{1}{2}} - r_x \left( P_{i+\frac{1}{2},j}^n - P_{i-\frac{1}{2},j}^n \right) - r_y \left( Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n - Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n \right) \quad (2.39)$$

$$P_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} = \frac{1}{1+v_x\Delta t} \left\{ (1 - v_x\Delta t) P_{i+\frac{1}{2},j}^n - r_x g H_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} \left( \eta_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) - \frac{r_x}{1+v_x\Delta t} \left\{ \lambda_{11} \frac{\left(P_{i+\frac{3}{2},j}^n\right)^2}{H_{i+\frac{3}{2},j}^n} + \lambda_{12} \frac{\left(P_{i+\frac{1}{2},j}^n\right)^2}{H_{i+\frac{1}{2},j}^n} + \lambda_{13} \frac{\left(P_{i-\frac{1}{2},j}^n\right)^2}{H_{i-\frac{1}{2},j}^n} \right\} - \frac{r_x}{1+v_x\Delta t} \left\{ \lambda_{21} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j+1}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j+1}^n} + \lambda_{22} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j}^n} + \lambda_{23} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j-1}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j-1}^n} \right\} \right\} \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned}
Q_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} &= \frac{1}{1+v_y\Delta t} \left\{ (1 - v_y\Delta t)Q_{i+\frac{1}{2},j}^n - r_x g H_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} \left( \eta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \right. \right. \\
&\left. \left. \eta_{ij}^{n+\frac{1}{2}} \right) \right\} - \frac{r_y}{1+v_y\Delta t} \left\{ \lambda_{31} \frac{(PQ)_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n} + \lambda_{32} \frac{(PQ)_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i,j+\frac{1}{2}}^n} \right. \\
&\left. + \lambda_{33} \frac{(PQ)_{i-1,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i-1,j+\frac{1}{2}}^n} \right\} - \\
&\frac{r_y}{1+v_y\Delta t} \left\{ \lambda_{41} \frac{(Q_{i,j+\frac{3}{2}}^n)^2}{H_{i,j+\frac{3}{2}}^n} + \lambda_{42} \frac{(Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n)^2}{H_{i,j+\frac{1}{2}}^n} \right. \\
&\left. + \lambda_{43} \frac{(Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n)^2}{H_{i,j-\frac{1}{2}}^n} \right\} \quad (2.41)
\end{aligned}$$

Dimana  $r_x = \frac{\Delta t}{\Delta x}$  dan  $r_y = \frac{\Delta t}{\Delta y}$  pendekatan tersebut telah digunakan untuk mendorong tentang persamaan beda hingga.

$$H_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left( H_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + H_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) \quad (2.42)$$

$$H_{ij+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left( H_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + H_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} \right) \quad (2.43)$$

$$H_{i+\frac{1}{2},j}^n = \frac{1}{4} \left( H_{i,j}^{n-\frac{1}{2}} + H_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + H_{i+1,j}^{n-\frac{1}{2}} + H_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) \quad (2.44)$$

$$H_{i,j+\frac{1}{2}}^n = \frac{1}{4} \left( H_{i,j}^{n-\frac{1}{2}} + H_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + H_{i,j+1}^{n-\frac{1}{2}} + H_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} \right) \quad (2.45)$$

$$P_{i,j+\frac{1}{2}}^n = \frac{1}{4} \left( P_{i-\frac{1}{2},j}^n + H_{i-\frac{1}{2},j+1}^n + P_{i+\frac{1}{2},j}^n + P_{i+\frac{1}{2},j+1}^n \right) \quad (2.46)$$

$$Q_{i+\frac{1}{2},j}^n = \frac{1}{4} \left( Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n + Q_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n + Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n + Q_{i+1,j-\frac{1}{2}}^n \right) \quad (2.47)$$

Dalam koordinat *spherical*, persamaan air dangkal didiskritisasi sebagai berikut

$$\eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \eta_{i,j}^{n-\frac{1}{2}} - \frac{1}{R \cos \varphi_{i,j}} \frac{\Delta t}{\Delta \psi} \left( P_{i+\frac{1}{2},j}^n - P_{i-\frac{1}{2},j}^n \right) - \frac{1}{R \Delta \varphi} \left( Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n - Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n \right) \quad (2.48)$$

$$P_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} = f_x \left\{ \left( 1 - v_x \Delta t \right) P_{i+\frac{1}{2},j}^n - \left\{ \frac{gh}{R \cos \varphi} \right\}_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} \frac{\Delta t}{\Delta \psi} \left( \eta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) \right\} - \frac{f_x}{R \cos \varphi_{i,j}} \frac{\Delta t}{\Delta \psi} \left\{ \begin{aligned} & \lambda_{11} \frac{\left( P_{i+\frac{3}{2},j}^n \right)^2}{H_{i+\frac{3}{2},j}^n} + \lambda_{12} \frac{\left( P_{i+\frac{1}{2},j}^n \right)^2}{H_{i+\frac{1}{2},j}^n} \\ & + \lambda_{13} \frac{\left( P_{i-\frac{1}{2},j}^n \right)^2}{H_{i-\frac{1}{2},j}^n} \end{aligned} \right\} - \frac{f_x \Delta t}{R \Delta \varphi} \left\{ \begin{aligned} & \lambda_{21} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j+1}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j+1}^n} + \lambda_{22} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j}^n} \\ & + \lambda_{23} \frac{(PQ)_{i+\frac{1}{2},j-1}^n}{H_{i+\frac{1}{2},j-1}^n} \end{aligned} \right\} \quad (2.49)$$

$$Q_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+1} = f_y \left\{ \left( 1 - v_y \Delta t \right) Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n - \frac{gH_{i,j+1/2}^{n+1/2}}{R} \frac{\Delta t}{\Delta \psi} \left( \eta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \eta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) \right\} - \frac{f_y}{R \cos \varphi_{i,j}} \frac{\Delta t}{\Delta \psi} \left\{ \begin{aligned} & \lambda_{31} \frac{(PQ)_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n} + \lambda_{32} \frac{(PQ)_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i,j+\frac{1}{2}}^n} \\ & + \lambda_{33} \frac{(PQ)_{i-1,j+\frac{1}{2}}^n}{H_{i-1,j+\frac{1}{2}}^n} \end{aligned} \right\}$$

$$-\frac{f_y \Delta t}{R \Delta \varphi} \left\{ \begin{aligned} &\lambda_{41} \frac{\left(Q_{i,j+\frac{3}{2}}^n\right)^2}{H_{i,j+\frac{3}{2}}^n} + \lambda_{42} \frac{\left(Q_{i,j+\frac{1}{2}}^n\right)^2}{H_{i,j+\frac{1}{2}}^n} \\ &+ \lambda_{43} \frac{\left(Q_{i,j-\frac{1}{2}}^n\right)^2}{H_{i,j-\frac{1}{2}}^n} \end{aligned} \right\} \quad (2.50)$$

Dimana  $f_x = \frac{1}{(1+v_x \Delta t)}$  dan  $f_x = \frac{1}{(1-v_y \Delta t)}$

Berdasarkan teori Mahinsa syarat awal elevasi muka air laut, Ketika pusat gempa terdapat patahan maka gelombang/ketinggian ( $\eta$ ) awal tersebut merupakan syarat awal mendapatkan yang mendapatkan nilai untuk dimasukkan ke dalam numerik comcot.

Persamaan gesekan dasar yang dimodelkan menggunakan formula Manning (*Manning's formula*). Koefisien gesekan dasar ( $n$ ) dalam COMCOT digunakan untuk merepresentasikan karakteristik permukaan profil batimetri dan topografi wilayah kajian. Prasetya et al. (2013) mengatakan bahwa koefisien yang dipilih dapat berupa nilai tunggal untuk mewakili seluruh area pada wilayah kajian atau bervariasi sesuai dengan karakteristik batimetri dan topografi. *Manning's roughness coefficient* yang digunakan untuk simulasi ini adalah 0.013 (Li et al, 2012).

Pengamatan tsunami sering digunakan dalam prosedur inversi untuk model distribusi slip sesar hingga konstruksi, atau model sumber tsunami dari elevasi air awal. Metode invers digunakan untuk memperkirakan distribusi slip pada bidang patahan, perpindahan dasar laut dan elevasi permukaan air yang sesuai dapat dihitung menggunakan linear elastic dislocation model (Okada, 1985). Model Comcot menggunakan *explicit leapfrog algorithm* untuk menghitung fluks momentum dan elevasi permukaan dan telah diparalelkan menggunakan bahasa pemrograman FORTAN (An Chao, dkk 2014).

## 6. Mitigasi Bencana

Mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (Anggarasari, 2019). Dalam konteks bencana, dikenal dua macam yaitu (1) bencana alam yang merupakan suatu serangkaian peristiwa bencana yang disebabkan oleh faktor alam, yaitu berupa gempa, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan tanah longsor, dll. (2) bencana sosial merupakan

suatu bencana yang diakibatkan oleh manusia, seperti konflik sosial, penyakit masyarakat dan teror. Mitigasi bencana merupakan langkah yang sangat perlu dilakukan sebagai suatu titik tolak utama dari manajemen bencana (Dewi, R. S, 2019).

Ada empat hal terpenting dalam mitigasi bencana, yaitu:

- a. Tersedia informasi dan peta kawasan rawan bencana untuk tiap jenis bencana.
- b. Sosialisasi untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat dalam menghadapi bencana, karena bermukim di daerah rawan bencana.
- c. Mengetahui apa yang perlu dilakukan dan dihindari, serta mengetahui cara penyelamatan diri jika bencana timbul.
- d. Pengaturan dan penataan kawasan rawan bencana untuk mengurangi ancaman bencana.

## 7. Software Comcot

COMCOT adalah suatu paket pemodelan tsunami yang mampu menreka ulang proses penjalaran gelombang tasunami saat peristiwa tsunami yang pernah terjadi. Model numerik berdasarkan persamaan air dangkal sangat efesien dalam menreka tsunami

lintas samudera karena penggunaannya yang eksplisit skema numerik, tidak perlu menyelesaikan turunan tingkat tinggi terkait dengan non linearitas dan dispersi frekuensi (Wang, 2009).

Gelombang tsunami dapat dibangkitkan berdasarkan input pembangkit gelombang, model deformasi dasar laut yang disebabkan oleh gempa bumi, dan longsor. COMCOT juga telah menggunakan sistem multi grid yang memungkinkan penggunaan banyak area simulasi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pemodelan (Wang, 2009).

## **B. Kajian Pustaka**

Berikut ini merupakan hasil penelitian yang relevan. Hasil penelitian ini dijadikan referensi peneliti yang digunakan dalam penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh Susanto, dkk (2020) menunjukkan bahwa hasil waktu tiba atau *travel time* tsunami, gelombang paling cepat sampai pesisir pantai adalah pada waktu 7,17 menit di Kabupaten Mamuju daerah pantai Pandulu. Penelitian ini menggunakan software pemodelan tsunami TUNAMI-N2.

Penelitian yang dilakukan oleh Purnama, dkk (2019) menunjukkan bahwa hasil *run up* maksimum di Kabupaten Badung daerah Pantai Kuta adalah 21,16 m



sampai 55,6 m dengan waktu tiba tsunami 15 menit sampai 120 menit setelah terjadinya gempa bumi. Penelitian ini menggunakan Software TOAST dengan mengasumsikan magnitudo 9,6 Skala Richter.

Penelitian yang dilakukan oleh Chaeroni, dkk (2013) menunjukkan bahwa hasil simulasi tsunami dengan variasi skenario magnitude gempa 7,7 Mw, 8 Mw dan 8.3 Mw diperoleh hasil waktu tiba tsunami adalah 29 menit sampai 35 menit. Ketinggian maksimum gelombang tsunami mencapai 4,5 m sampai 25 m di Teluk Teleng, Pacitan. Penelitian ini menggunakan software modul hidrodinamik dari perangkat lunak MIKE21.

Penelitian yang dilakukan oleh Aperus, dkk (2016) menggunakan software L-2008 dan Travel Time Tsunami (TTT) dengan mengasumsi skenario magnitudo 8 Mw, 8,5 Mw dan 9 Mw. Penelitian ini diperoleh hasil ketinggian tsunami di Kecamatan Mana Kota Bengkulu menggunakan skenario gempa tersebut 8 Mw menghasilkan nilai 2,01 m, magnitudo 8,5 Mw menghasilkan nilai 4,05 m dan magnitudo 9 Mw menghasilkan nilai 9,31 m. Waktu tempuh gelombang tsunami adalah 20 menit 7 detik.

Hasil penelitian ini memiliki persamaan dan perbedaan penelitian terdahulu. Persamaan penelitian ini adalah pemodelan tsunami untuk mengetahui tinggi gelombang

akibat tsunami. Perbedaan yang paling menonjol adalah lokasi penelitian dan skenario gempa. Skenario gempa berdasarkan buku “Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017” atau di kenal sebagai PusGen (Pusat Studi Gempa Nasional) dengan magnitudo 8,9 Skala Richter. Parameter sesar strike, dip, slip dan depth ditentukan berdasarkan data parameter sesar dari website Global CMT.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif dengan menggunakan data sekunder. Data yang dibutuhkan adalah parameter gempa lokasi episenter, *strike, dip, dan slip* dengan mengasumsikan magnitudo 8,9 Skala Richter.

#### **B. Tempat dan Waktu Penelitian**

Tempat dan waktu Penelitian dilakukan di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Banjarnegara dan kemudian dilanjutkan di Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

#### **C. Alat dan Bahan**

##### **1. Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem perangkat keras yang digunakan adalah perangkat komputer berupa satu unit Laptop Acer ES1-420 dengan spesifikasi *Processor AMD E1-2500 APU with Radeon™ HD Graphics 1.40 GHz*, memori RAM

4.00 *gigabyte*, dan kapasitas penyimpanan 500 *gigabyte*. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perangkat Lunak Penelitian

No.	Perangkat Lunak	Fungsi
1	COMCOT	Pemodelan tsunami
2	Global Mapper	Pembuatan grid/layer pemodelan dan pemetaan
3	QGIS/Arcgis	Pembuatan peta
4	Video Editor	Pembuatan animasi penjalaran tsunami

#### D. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

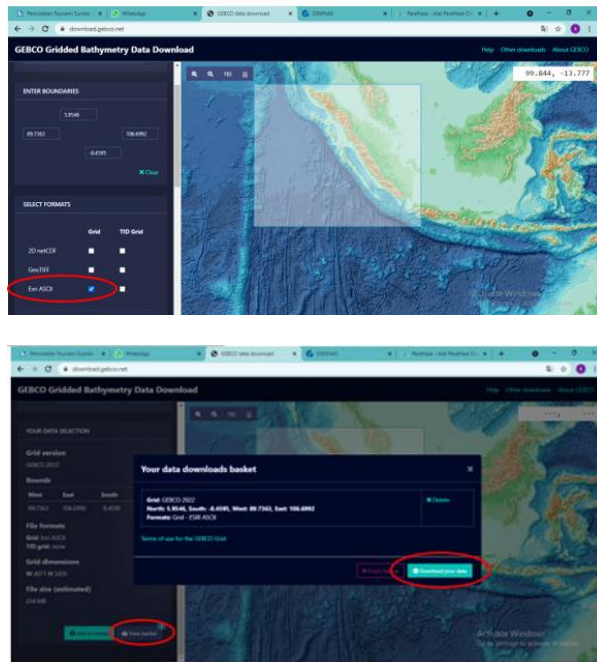
Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data batimetri, dan data topografi. Teknik dan instrumen pengumpulan data tersebut dijelaskan sebagai berikut:

##### 1. Data Batimetri

Data Batimetri merupakan kedalaman air danau atau dasar lautan. Data yang digunakan adalah *General Bathymetric Chart of the Ocean* (GEBCO) diambil dari website <https://download.gebco.net/> dan disimpan dalam format \*.asc. Berikut cara mengunduh data batimetri ditunjukkan pada gambar 3.1

1) Buka situs web GEBCO di browser

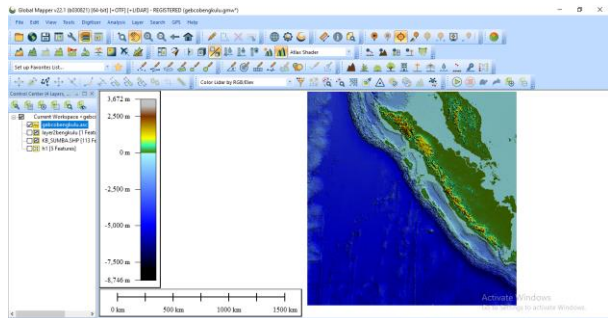
- 2) Wilayah dapat dipilih dengan menuliskan batas di Enter Boundaries atau dengan menahan Ctrl klik kiri dan geser.
- 3) Klik Add to basket untuk menambahkan data batimetri dari region yang dipilih.
- 4) Klik view basket download file batimetri dengan klik download your data.



Gambar 3.1 Tampilan awal GEBCO

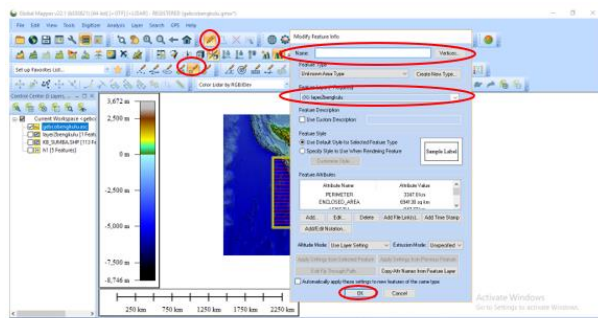
Tahap selanjutnya data tersebut perlu dibuat pemodelan untuk grid 1, grid 2 dan seterusnya sesuai dengan daerah penelitian. Pembuatan grid dapat

dilakukan dengan menggunakan aplikasi Global Mapper. Berikut tampilan data batimetri ditunjukkan pada Gambar 3.2.



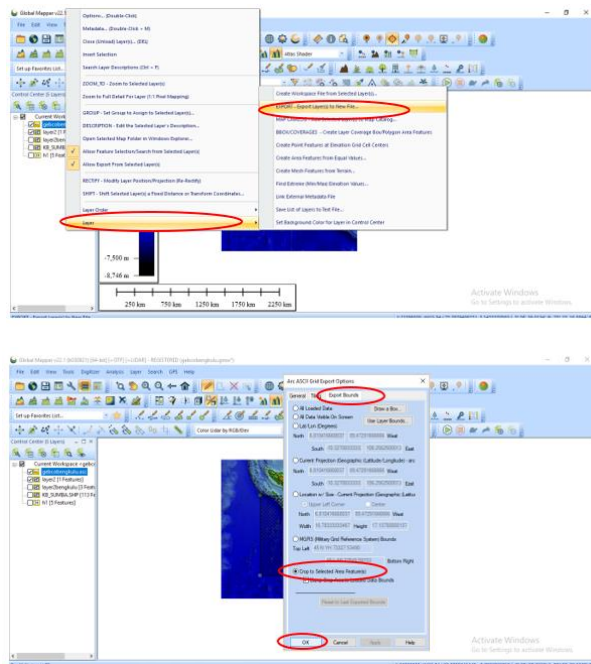
Gambar 3.2 Tampilan batimetri pada global mapper

Pembuatan grid baru dari grid sebelumnya dengan cara aktifkan Digitizer Tool dan Square Area Feature. Buat grid 2 lakukan dengan cara klik kiri sambil digeser. Setelah selesai akan muncul kotak dialog Modify Future Info, beri nama baru dengan mengisi bagian Name dan Feature layer ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Membuat grid/layer

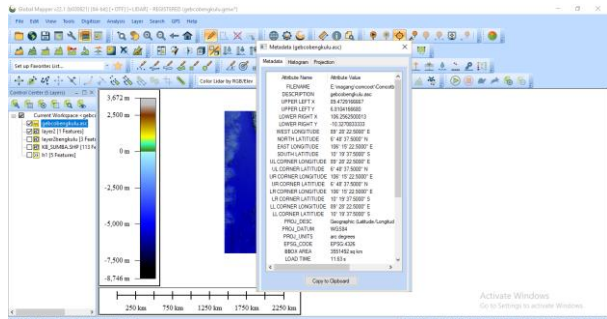
Simpan grid 2 yang telah dibuat dalam format \*.asc. dengan cara klik kanan pada `gebcobengkulu.asc >> layer >> EXPORT`. Setelah muncul kotak Arc ASCII Grid Export Options pada menu Export Bounds pilih dan klik `Crop to Selected Area Feature` ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mengexport file menjadi format \*.asc.

Gambar 3.5 menunjukkan metadata yang akan dijadikan input dalam pemodelan COMCOT. Untuk melihat batas koordinat dari grid yang telah dibuat,

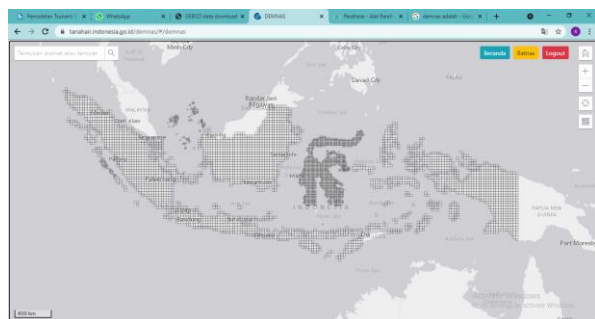
dapat dilakukan dengan cara klik kanan pada layer >> Metadata.



Gambar 3.5 Metadata

## 2. Data Topografi

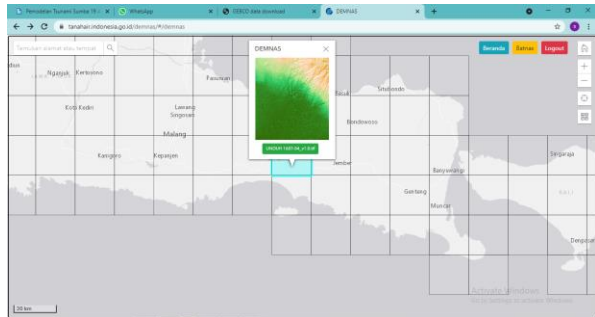
Data topografi yang digunakan adalah data DEMNAS *Digital Elevation Model* diperoleh dari situs <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/> pada bagian selatan Jember. Berikut tampilan awal DEMNAS.



Gambar 3.6 Tampilan awal DEMNAS

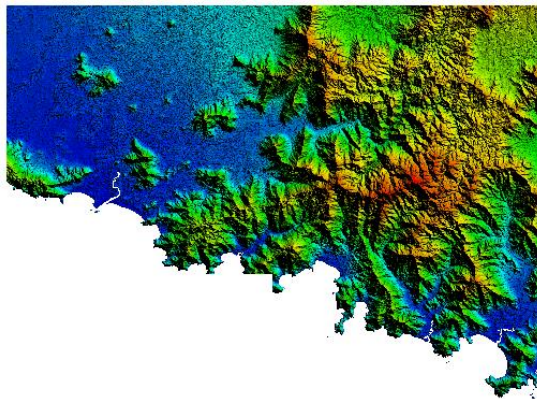


Cara mengunduh data DEMNAS dengan cara klik pada bagian kolom kotak daerah penelitian >> klik unduh ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Download Data DEMNAS

Berikut tampilan data topografi dari data DEMNAS dengan menggunakan aplikasi arcgis.

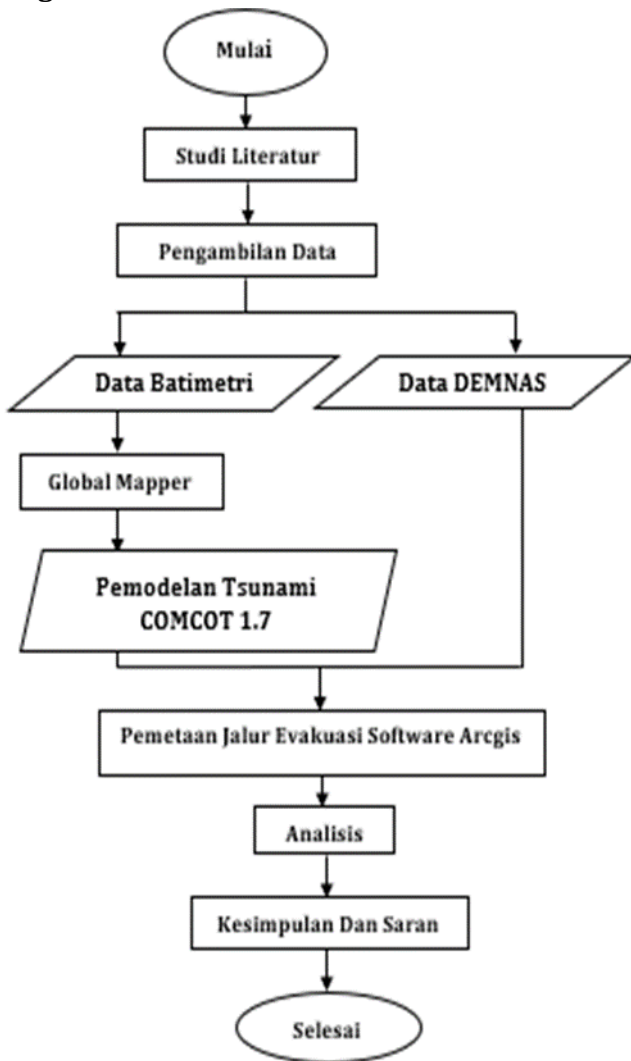


Gambar 3.8 Data topografi

## E. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pemodelan tsunami dilakukan untuk mendapatkan ketinggian gelombang tsunami dengan pembuatan jalur evakuasi. Dari data gempa bumi mendapatkan nilai kedalaman gempa, magnitude, strike, dip, dan slip. Magnitude mengasumsikan dari Tim Studi Gempa Nasional (2017) yang bernilai 8,9 SR merupakan nilai *magnitude* maksimum. Perhitungan nilai *magnitude* maksimum menggunakan persamaan Well & Coppersmith (persamaan (2.2) dan (2.3)). Setelah mendapatkan nilai dijadikan *input* dalam Comcotctl.

## F. Diagram Alir Penelitian



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

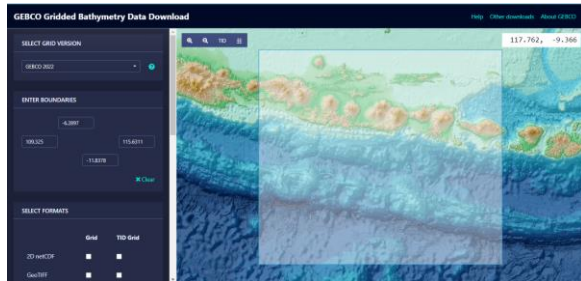
#### A. Hasil

Penelitian ini menghasilkan sebuah peta persebaran *run-up* tsunami di Jember. Peta ini akan digunakan untuk mengestimasi ketinggian tsunami di pantai Jember dan membuat jalur evakuasi sebagai penanggulangan bencana.

##### 1. Penjalaran Gelombang Tsunami

###### a. Data Batimetri

Gambar 4.1 menunjukkan data dari GEBCO (<https://download.gebco.net/>) dan menyimpannya dalam format file \*.asc untuk membuat file batimetri.

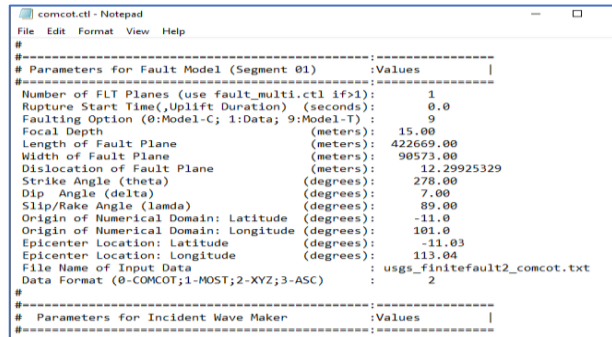


Gambar 4.1 Data Batimetri

###### b. Software comcot.ctl

File data \*.asc dimasukkan ke dalam software Comcot.ctl untuk diubah pada bagian batimetri

dan sumber gempa. Gambar 4.2 menunjukkan tampilan software Comcot.



```


comcot.ctl - Notepad
File Edit Format View Help
#-----#
# Parameters for Fault Model (Segment 01) :Values |
#-----#
Number of FLT Planes (use fault_multi.ctl ifs=1): 1
Rupture Start Time(,Uplift Duration) (seconds): 0.0
Faulting Option (0:Model-C; 1:Data; 9:Model-T) : 9
Focal Depth (meters): 15.00
Length of Fault Plane (meters): 422669.00
Width of Fault Plane (meters): 90573.00
Dislocation of Fault Plane (meters): 12.29925329
Strike Angle (theta) (degrees): 278.00
Dip Angle (delta) (degrees): 7.00
Slip/Rake Angle (lambda) (degrees): 89.00
Origin of Numerical Domain: Latitude (degrees): -11.0
Origin of Numerical Domain: Longitude (degrees): 101.0
Epicenter Location: Latitude (degrees): -11.03
Epicenter Location: Longitude (degrees): 113.04
File Name of Input Data : usgs_finitefault2_comcot.txt
Data Format (0-COMCOT;1-MOST;2-XYZ;3-ASC) : 2
#-----#
# Parameters for Incident Wave Maker :Values |
#-----#

```

Gambar 4.2 Software Comcot

### c. Menjalankan program Comcot.exe

Setelah software comcot telah siap kemudian running program comcot.exe tunggu hingga selesai. Berikut gambar 4.3 merupakan tampilan program Comcot.exe.



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
.: \wagang\comcot\Comcotbengulu\comcot.exe
-----
COMCOT
*
*
Cornell Multi-grid Coupled Tsunami
*
*
version 1.7dev8
*
updated on 2017-10-10
*
*
Developed by
*
*
Dr Xiaoming Wang
*
Email:
*
*
xwang80@hotmail.com
*
xu4@cornell.edu
*
x.wang@gns.cri.nz
*
-----
READING PARAMETERS FOR SIMULATION...
READING GENERAL INFORMATION.....
READING PARAMETERS FOR FAULT MODEL.....
READING PARAMETERS FOR GRID LAYER.....
READING PARAMETERS FOR GRID LAYER ID 1
PROCESSING INPUT PARAMETERS.....
PROCESSING BOUNDARY SETUP FOR GRID LAYERS ...
CHECKING SURF COORDINATES OF GRID LAYERS ...
READING GRID LAYERS AND NESTED GRID SETUP.....
CREATING OUTERMOST GRID LAYER - LAYER 1

```

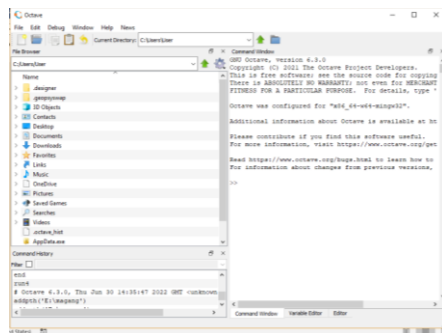
Gambar 4.3 Program Comcot.exe

Data yang akan dihasilkan proses running comcot dapat dilihat dalam folder hasilnya.

#### d. Menampilkan Aplikasi dengan Octave

Data hasil dari running `comcot.exe` untuk menampilkan data tersebut dengan cara menggunakan aplikasi Octave dapat di lihat pada gambar 4.4.

- 1) Copy alamat folder `comcot` ke Octave
- 2) Setelah alamat folder sudah tercopy kemudian di paste dalam Octave, maka ketik perintah berikut di console Octave:  
`>> addpath ('alamat folder Octave codes')`



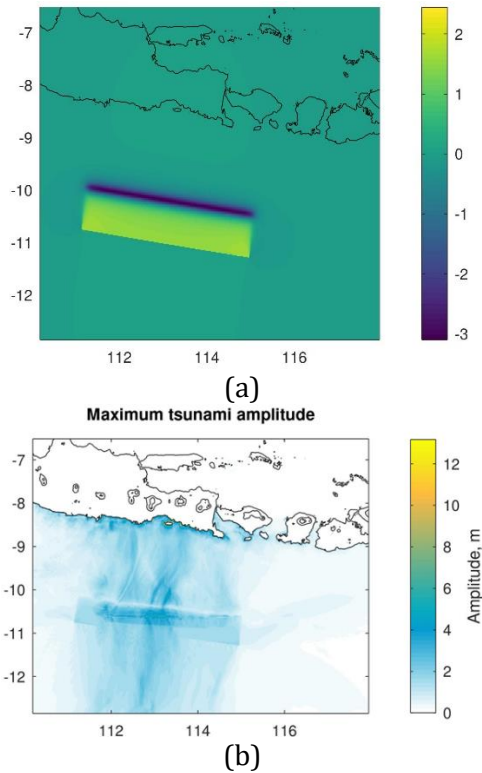
Gambar 4.4 Tampilan awal Octave

Masukkan perintah untuk menampilkan sumber tsunami.

```
>> comcot_plot_init ('01')
```

Masukkan perintah untuk menampilkan hasil simulasi

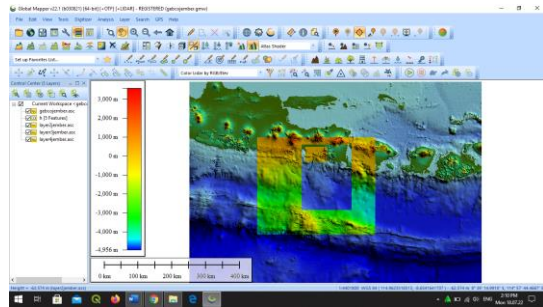
```
>> comcot_plot_zmax ('01')
```



Gambar 4.5 Pengaplikasian Aplikasi Octave (a) Hasil plot init (b) Hasil plot maksimal.

e. Membuat Grid/Layer Dengan Global Mapper

Membuat grid dapat dilihat pada teknik dan instrumen pengumpulan data. Gambar 4.6 menunjukkan hasil pemotongan grid terdapat 4 grid. Semakin banyak grid yang dibuat, maka pemodelan tsunami akan semakin detail.



Gambar 4.6 pemotongan grid

## f. plot snapshot

Gambar 4.7 menunjukkan proses program plot snapshot memperlihatkan datangnya gelombang tsunami dengan cara ketik perintah di console Octave:

```
>> addpath ('alamat folder Octave codes')
```

Blok perintah yang akan di run >> klik kanan >> Evaluate Selection atau Blok perintah yang akan di run >>F9

```

Octave
File Edit Debug Window Help News
Current Directory: D:\lampa_jember

MacBrowser
Name
  Desktop
  Documents
  Downloads
  Favorites
  Links
  Music
  OneDrive
  Pictures
  Saved Games
  Searches
  Values
  octave_hist
  AppData.exe

Command History
# Octave 6.3.0, Tue Jul 12 14:26:08 2022 GMT custom
# Octave 6.3.0, Wed Jul 13 09:10:22 2022 GMT custom

addpath('E:\vaagang')
addpath('E:\vaagang')
octave_6.3.0, Tue Jul 12 14:26:08 2022 GMT custom
# Octave 6.3.0, Wed Jul 13 09:10:22 2022 GMT custom

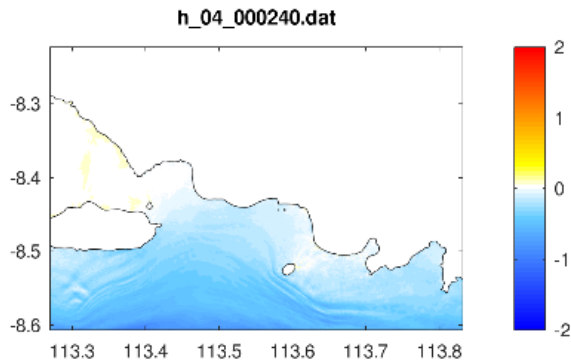
>> addpath ('alamat folder Octave codes')
>> klik kanan >> Evaluate Selection
>> F9

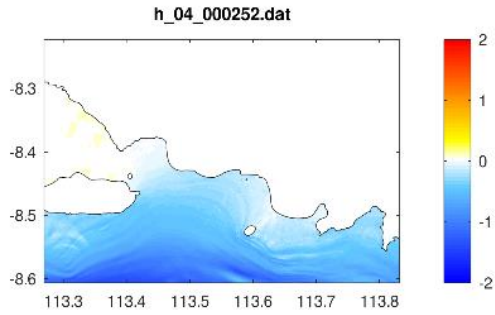
```

Gambar 4.7 program plot snapshot

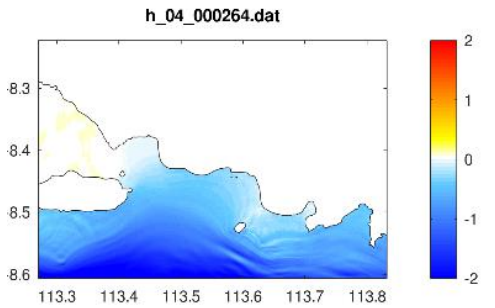


Penjalaran gelombang tsunami menunjukkan bahwa tsunami merambat ke segala arah dari sumber gempa. Gambar 4.8 Hasil penelitian ini menunjukkan waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami pada menit ke 04.00 memasuki beberapa wilayah yaitu Kecamatan Wuluhan, Kecamatan Ambulu, dan Kecamatan Tempurejo. Menit ke 04.02 memasuki wilayah Kecamatan Puger. Menit ke 04.04 memasuki area Kecamatan Gumukmas dan menit ke 06.08 memasuki Kecamatan Kencong dari waktu tempuh saat penjalaran gelombang tsunami adalah 37.08 menit.

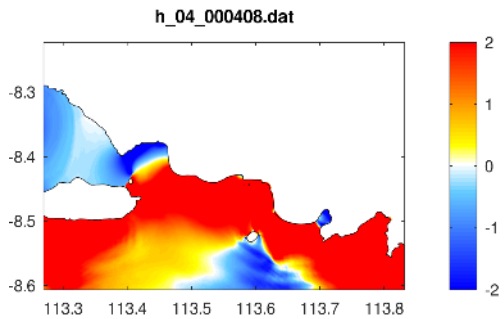




Waktu = 4,2 menit



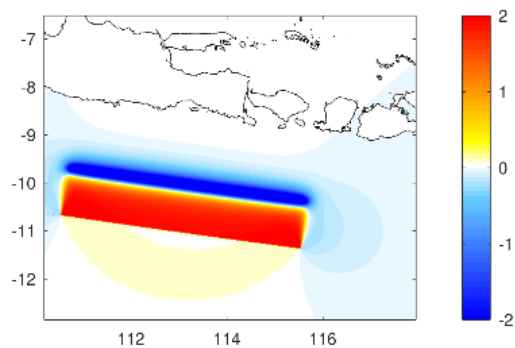
Waktu = 4,4 menit

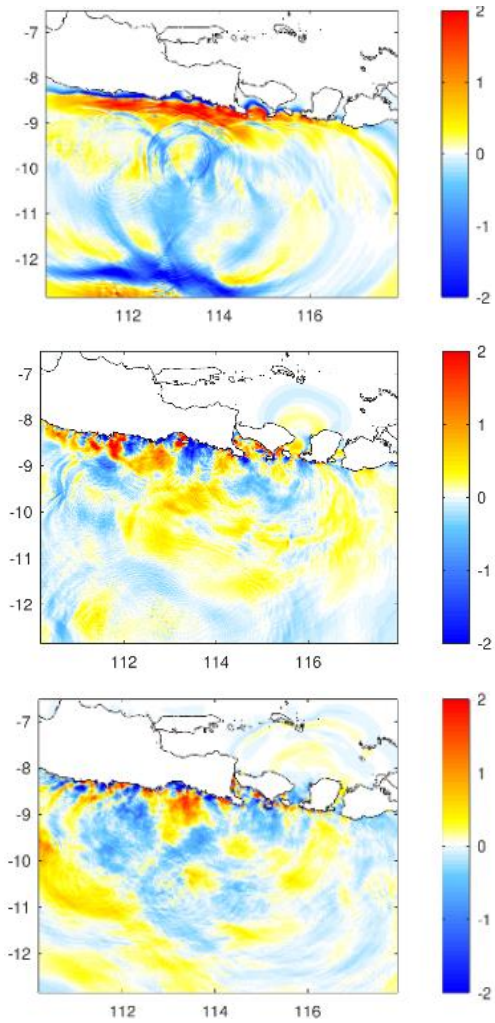


Waktu = 6,8 menit

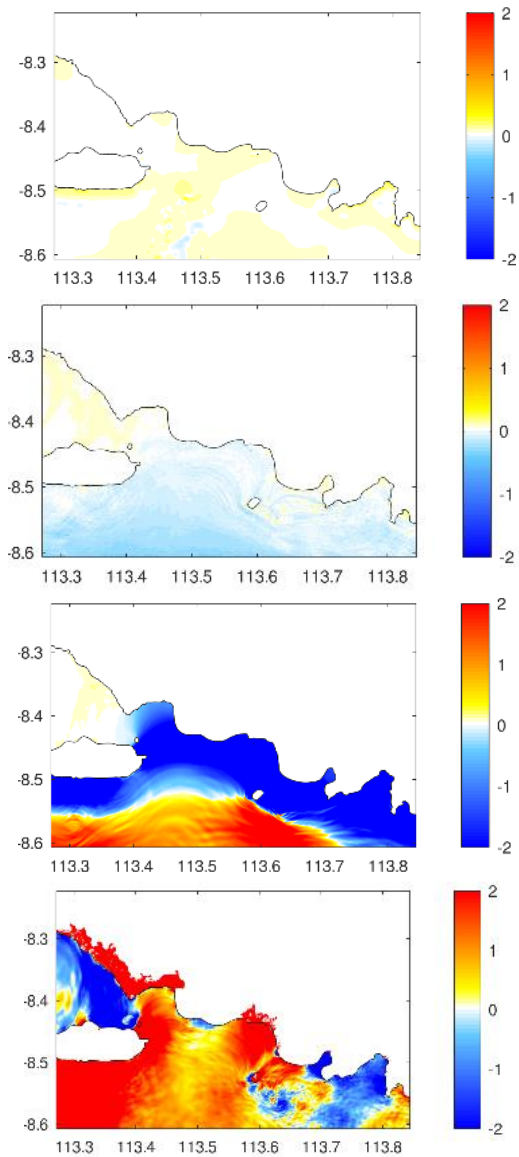
Gambar 4.8 Waktu tempuh penjarangan gelombang

Adanya perbedaan waktu dalam penjaralan gelombang tsunami yang disebabkan beberapa faktor antara lain kondisi kedalaman permukaan laut wilayah persebarannya yang berbeda-beda dan ketinggian lereng pantai di berbagai daerah sebaran. Ada Beberapa grid yang dihasilkan dalam penelitian ini yaitu grid 1 sampai grid 4 untuk grid 1 merupakan proses awal pemodelan gelombang tsunami ditunjukkan pada Gambar 4.9. grid 2 dan 3 ditunjukkan pada bagian lampiran. Sedangkan grid 4 merupakan titik fokus penelitian pemodelan penjaralan gelombang ditunjukkan pada gambar 4.10.





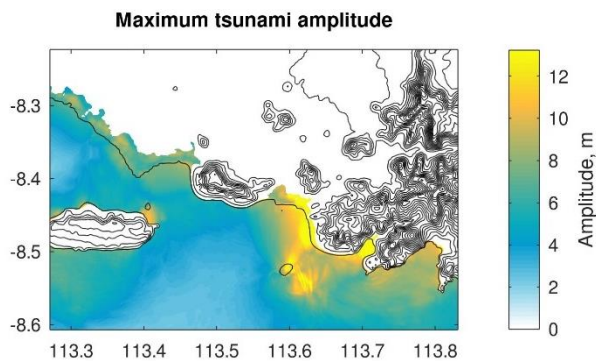
Gambar 4.9 Snapshot grid 1



Gambar 4.10 Snapshot layer 4

## 2. Ketinggian Gelombang Tsunami

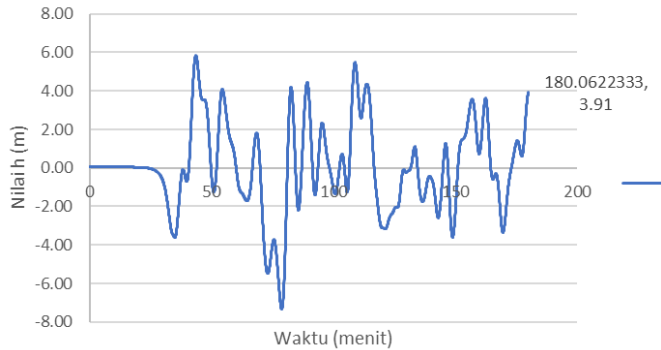
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai tsunami maksimum untuk berwarna kuning menunjukkan hasil 12 m dan untuk yang berwarna putih adalah 0 m menunjukkan bahwa amplitudo tsunami relatif terhadap titik nol permukaan laut semakin besar nilai amplitudo maka semakin besar tinggi gelombang, dan sebaliknya semakin kecil nilai amplitudo maka semakin kecil tinggi gelombang.



Gambar 4.11 nilai maximum tsunami amplitudo wilayah Jember

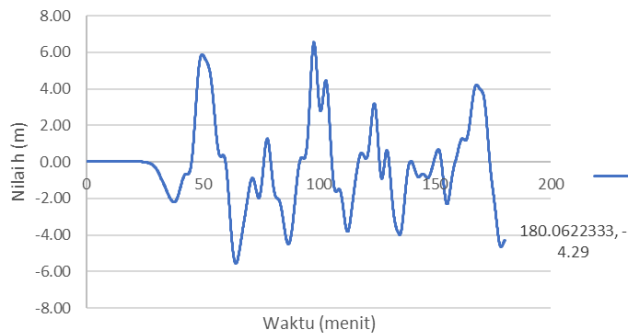
Data tersebut terdapat 6 area yaitu Kecamatan Kencong, Kecamatan Gumukmas, Kecamatan Puger, Kecamatan Ambulu dan Kecamatan Tempurejo yang menghasilkan nilai run-up tsunami. Dengan koordinat  $113,3 LS - 8,4 BT$ , dapat dilihat dalam

gambar 4.12 - 4.17 dan tabel data ketinggian air Tsunami 4.1.



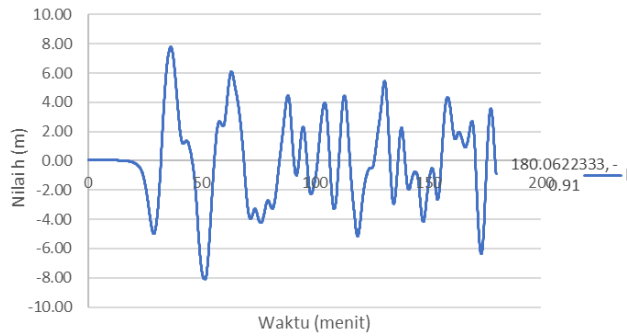
Gambar 4.12 Ketinggian air Kecamatan Kencong

Gambar 4.12 menunjukkan hasil data Ketinggian air dengan nilai maksimum h 5,58 m.



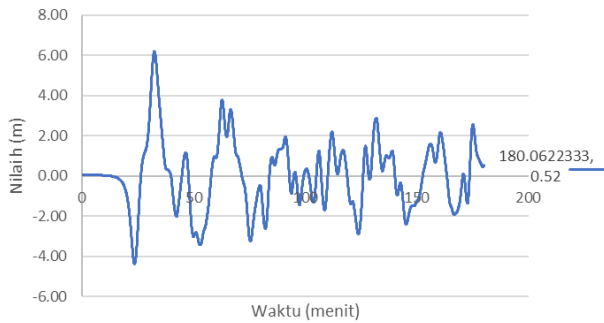
Gambar 4.13 Ketinggian air Kecamatan Gumukmas

Gambar 4.13 menunjukkan data Ketinggian air dengan nilai maksimum h 6,55m.



Gambar 4.14 Ketinggian air Kecamatan Puger

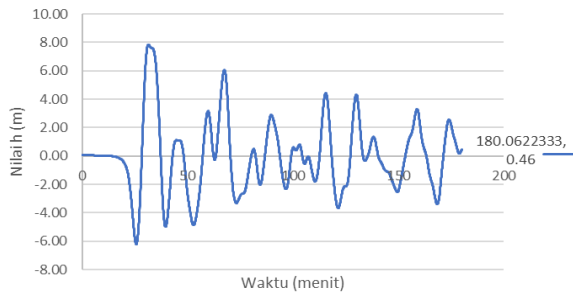
Gambar 4.14 menunjukkan data Ketinggian air dengan nilai maksimum  $h$  7,78 m.



Gambar 4.15 Ketinggian air Kecamatan Wuluhan

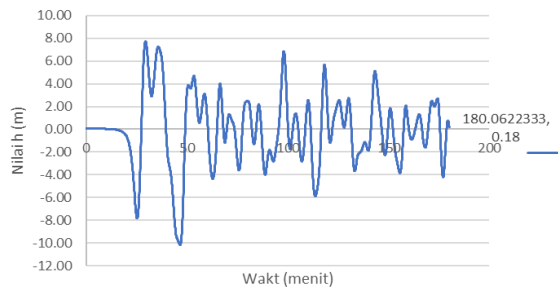
Gambar 4.15 menunjukkan data Ketinggian air dengan nilai maksimum  $h$  6,20 m.





Gambar 4.16 Ketinggian air Kecamatan Ambulu

Gambar 4.16 menunjukkan data Ketinggian air dengan nilai maksimum  $h$  7,83 m.



Gambar 4.17 Ketinggian air Kecamatan Tumpurejo

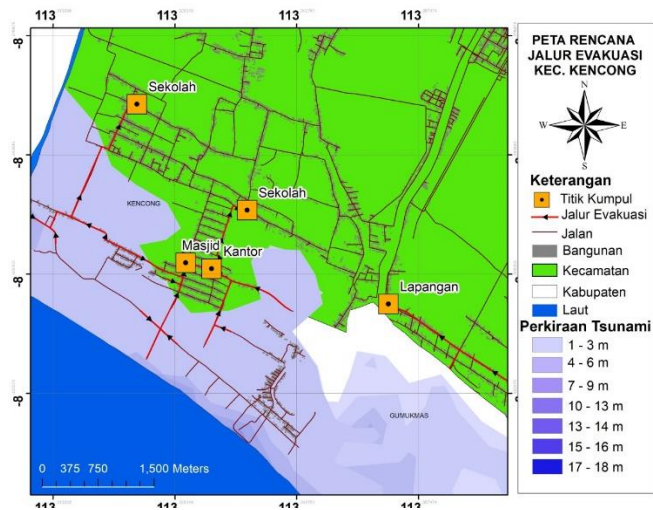
Gambar 4.17 menunjukkan data Ketinggian air dengan nilai maksimum  $h$  7,73 m

Tabel 4.1 Titik Ketinggian air *tsunami*

Titik	Bujur	Lintang	Run-up (m)
h 1	113.3084	-8.3284	5,58
h 2	113.3655	-8.3836	6,55
h 3	113.4168	-8.3983	7,78
h 4	113.5503	-3.4544	6,20
h 5	113.6055	-8.4555	7,83
H 6	113.6944	-8.5081	7,73

### 3. Rencana Jalur Evakuasi

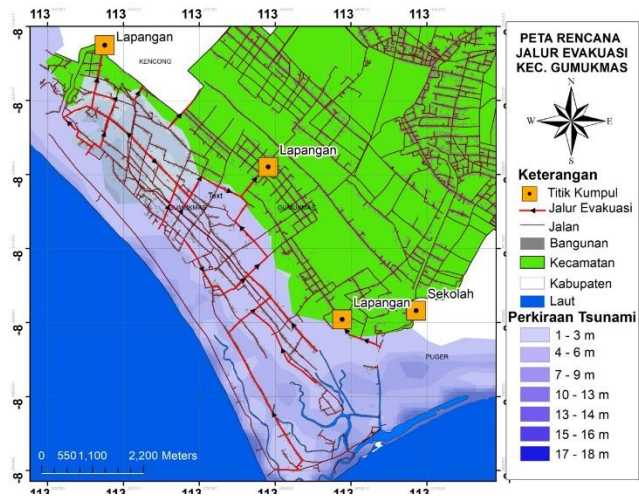
Gambar 4.18-4.21 menunjukkan jalur evakuasi untuk kota Jember dibagi menjadi 4 peta jalur. Evakuasi dilakukan dengan menjauhi pantai menuju dataran yang lebih tinggi atau daerah tidak terendam bagian barat, utara, Timur Kota Jember. Titik kumpul (simbol kuning garis hitam) berupa sekolah, masjid, lapangan, dan gedung pemerintahan. Data titik kumpul ditampilkan dalam Lampiran 1.



Gambar 4.18 Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Kencong

Gambar 4.18 menunjukkan 4 tempat titik Kumpul, yaitu Masjid, Sekolah, Kantor desa dan Lapangan. Jika terjadi tsunami masyarakat dapat bergerak ke arah

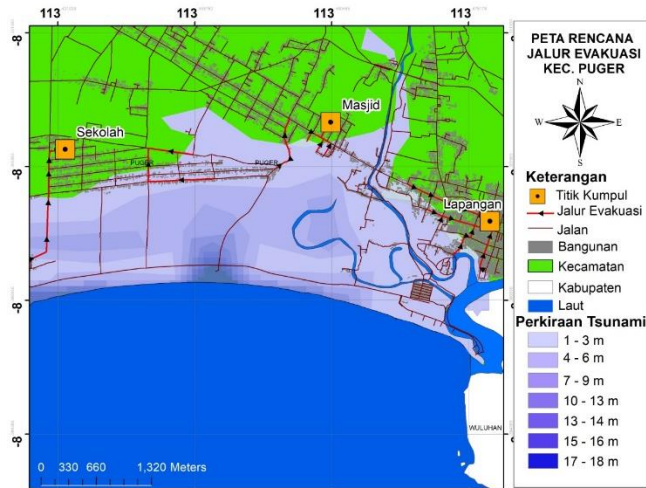
barat, utara menuju titik kumpul Majid Baitussalam dan Kantor desa Paseban yang berada di Jalan Kyai Nasrini. Kedua dapat menuju titik kumpul SDN 03 cakru yang berada di desa Cakru. Ketiga dapat menuju arah barat menuju titik kumpul SDN Cakru 02 yang berada di Jalan Sidomulyo paseban Kencong.



Gambar 4.19 Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Gumukmas

Gambar 4.19 menunjukkan 2 tempat titik kumpul, yaitu Lapangan Mayangan dan Lapangan Kalimantan. Jika terjadi tsunami masyarakat dapat bergerak ke arah barat dengan melewati Jalan Diponegoro dan Jalan An-Nisa Untuk menuju Lapangan Mayang. Saat dikawasan di Desa Mayangan, dan desa yang berada pada perbatasan Kecamatan Puger jika terjadi

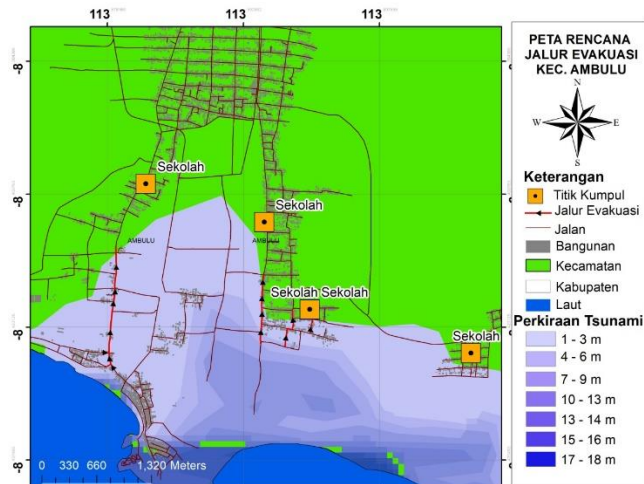
tsunami masyarakat dapat bergerak ke arah barat ke Jalan Tambak udang menuju Lapangan Mayangan atau menuju dataran tinggi.



Gambar 4.20 Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Puger

Gambar 4.20 menunjukkan 4 titik kumpul, yaitu lapangan/ alun-alun Puger, Sekolah, masjid At-taqwa, dan Puskesmas Saat di Kawasan desa Puger Wetan, Jika terjadi tsunami masyarakat dapat bergerak ke arah utara terdapat Jalan Pantai timur, Jalan Pantai bar, dan Jalan kali ba'an menuju Jalan Pantai, kemudian ke titik kumpul lapangan atau alun-alun yang berada di Jalan Mayor Adi Dharma. Saat berada di Kawasan Desa krajan jika terjadi tsunami masyarakat dapat bergerak ke arah Timur Menuju

Jalan Ketut Adi Sanyoto, kemudian menuju Masjid At-taqwa atau ke daratan yang tinggi. Saat di Kawasan desa Jadukan, desa Mojomulyo jika terjadi tsunami masyarakat dapat bergerak ke arah barat terdapat Jalan Jadungan dan komando Tk Dewi Masyito atau menuju tempat yang tinggi.



Gambar 4.21 Peta Rencana jalur Evakuasi Kecamatan Ambulu

Gambar 4.21 menunjukkan 4 titik kumpul, yaitu SDN Sumberejo 05, SDN Sumberejo 03, Tk Al hidayah, dan SDN Sabrang 05. Saat berada di kawasan objek wisata sekitar desa Sumberejo, jika terjadi tsunami masyarakat dapat bergerak ke arah utara ke Jalan Payangan, kemudian bergerak Menuju Jalan Raya Watu Ulo menuju titik kumpul di SDN Sumberejo 05.

Jika terjadi tsunami di desa Sidomulyo masyarakat dapat bergerak ke arah Jalan Sumberejo menuju titik kumpul di TK Alhidayah dan SDN Sumberejo 03. Kemudian jika terjadi tsunami di Desa Sabrang Masyarakat dapat bergerak menuju titik kumpul SDN Sabrang 05 atau dapat ke daratan tinggi dan bergerak ke utara.

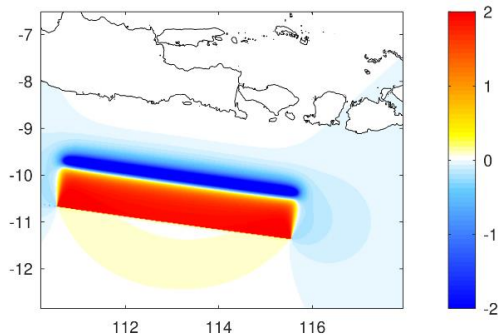
## **B. Pembahasan**

Tsunami dimodelkan menggunakan data batimetri, data topografi dan data parameter gempa. Data batimetri dan data topografi yang digunakan dalam simulasi tersebut diperoleh data batimetri dari GEBCO (General Bathymetric Chart of The Ocean), USGS (United States Geological Survey), dan data topografi dari Digital Elevation Model (DEM Nasional).

COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model) merupakan proses pemodelan mensimulasikan gelombang, dari pembangkitan, perambatan dan kenaikan/ penurunan muka air di pesisir (Mendrofa, 2020). Tsunami memiliki periode 100-2000 detik, yang dikenal sebagai jendela tsunami. Gelombang dapat dihasilkan melalui simulasi gelombang solitary, model patahan, longsor, atau muka air laut. Gelombang tsunami dapat disimulasikan menggunakan dengan persamaan air

dangkal seperti persamaan 2.7 (Yanagisawa, 2011). Gempa bumi Banyuwangi 1994 menimbulkan deformasi ketinggian pusat gempabumi yang ditunjukkan dalam gambar 4.21. Daerah yang berwarna merah menunjukkan terjadinya pengangkatan atau kenaikan permukaan air laut.

Pengolahan data dapat diketahui bahwa pengaruh ketinggian suatu wilayah dan kemiringan pantai cukup signifikan terhadap luas daerah jangkauan tsunami. Data titik pengukuran, didapatkan *tim series* tinggi gelombang tsunami. Waktu tempuh yang dihasilkan merupakan 37,8 menit dengan ketinggian air tsunami 12 m.



Gambar 4.22 Deformasi ketinggian pusat gempabumi

Nilai run-up yang dihasilkan tergantung pada jarak dari pusat gempa ke daerah yang terkena, tetapi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain seperti bentuk topografi, Batimetri, dan tinggi gelombang. Bencana

tersebut akan diikuti adanya refreksi, refleksi, dan difraksi yang mengakibatkan tsunami berdampak tinggi. Saat gelombang dangkal mendekati pantai, kecepatan gelombang melambat, yang dikompensasi oleh pemendekan periode gelombang dan peningkatan gelombang yang menyertainya. Hal ini akan semakin meningkatkan ketinggian run-up tsunami.

Mitigasi bencana merupakan serangkaian upaya mengurangi resiko bencana. Tujuan evakuasi adalah langsung menuju titik kumpul seperti sekolah, balai desa, lapangan, rumah sakit atau lahan yang cukup lebar. Berdasarkan analisis pemodelan gelombang tsunami menunjukkan peta jalur evakuasi terdapat 4 peta jalur evakuasi dengan jumlah 14 titik kumpul. Kecamatan Kencong 4 titik kumpul, Kecamatan Gumukmas 2 titik kumpul, Kecamatan Puger 4 titik kumpul, dan Kecamatan Ambulu 4 titik kumpul.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan tsunami dengan data gempa banyuwangi 1994 menghasilkan ketinggian gelombang 12 m dengan waktu tempuh 37,8 menit setelah terjadinya gempa.
2. Ketinggian gelombang tsunami hasil pemodelan bervariasi. Ketinggian gelombang di Kecamatan Kencong mencapai 5,85 m, Kecamatan Wuluhan 6,20 m, Kecamatan Gumukmas 6,55 m, Kecamatan Puger 7,78 m, Kecamatan Tempurejo 7,73 m dan Kecamatan Ambulu 7,83 m.
3. Hasil pemodelan tsunami menghasilkan 4 peta dengan jumlah 14 titik kumpul di pesisir pantai Jember terbagi menjadi 4 Kecamatan yaitu Kecamatan Kencong, Kecamatan Gumukas, Kecamatan Puger, dan Kecamatan Ambulu.

#### **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan kendala yang dihadapi, penulis menyarankan sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan dalam data parameter gempa yang pernah terjadi sesuai dengan tujuan yang akan dicapai.
2. Perlu menambahkan skenario tsunami dengan mempertimbangkan riwayat gempa yang pernah ada dan yang mungkin terjadi di masa mendatang.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut di daerah rawan bencana, terutama tsunami dan metode mitigasi yang tepat.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adha, I., Kurniasih, A., Nugroho, H., & Rachwibowo, P. (2018). Kajian Analisis Sesar di Perbukitan Jiwo Barat, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1(1), 8-18.
- Alfaris, L., Baswantara, A., & Suhernalis, S. (2020). Analisa Numerik Tsunami Pangandaran Dan Implikasinya Terhadap Mitigasi Bencana. *MARLIN*, 1(1), 39-45.
- Aperus, R., Pujiastuti, D., & Billyanto, R. (2016). Pemodelan Tinggi dan Waktu Tempuh Gelombang Tsunami Berdasarkan Data Historis Gempa Bumi Bengkulu 4 Juni 2000 di Pesisir Pantai Bengkulu. *Jurnal Fisika Unand*, 5(4), 364-370.
- An, C., Sepúlveda, I., & Liu, P. L. F. (2014). Tsunami source and its validation of the 2014 Iquique, Chile, earthquake. *Geophysical Research Letters*, 41(11), 3988-3994.
- Baskara, B., Sukarasa, I. K., & Septiadhi, A. (2017). Pemetaan Bahaya Gempa Bumi Dan Potensi Tsunami Di Bali Berdasarkan Nilai Seismisitas. *Buletin Fisika*, 18(1), 20-26.
- Chaeroni, W. Hendriyono dan W. Kongko. 2013. Pemodelan Tsunami dan Pembuatan Peta Mitigasi di Teluk Teleng Pacitan. *Jurnal Penanggulangan Bencana*, 4(2): 23 – 33
- Departemen Geofisika BMKG. (2019). Katalog Tsunami Indonesia pada website departemen BMKG <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/katalog-gempabumi-signifikan.bmkg> diakses pada tanggal 05 November 2021 pukul 03:45 WIB
- Dewi, R. S. (2019). Mitigasi Bencana Pada Anak Usia Dini. *Early Childhood: Jurnal Pendidikan*, 3(1), 68-77

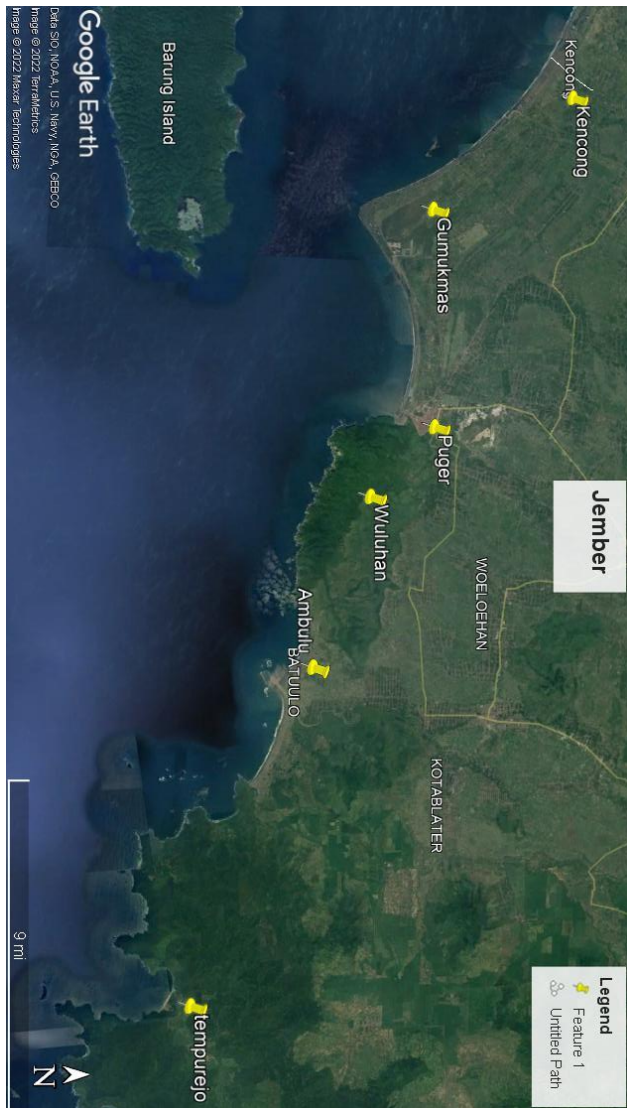
- Diposapto S., dan Budiman. 2006. Tsunami. Buku Ilmiah Populer, Jakarta.
- Faiqoh, I., Gaol, J. L., & Ling, M. M. (2013). Vulnerability level map of tsunami disaster in Pangandaran Beach, West Java. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 10(2).
- Hadi, S., Heni, S., & Totok, Y. (2019). Identification of tsunami hazard potentials in candidate of NPP site in Rakit Island, Kec. Plampang, Sumbawa Besar, NTB.
- Imamura, F., Yalciner, A. C., dan Ozyurt, G., 2006, Tsunami Modelling Manual (Tsunami model).
- Intergovernmental Oceanographic Commission. (2014). International Tsunami Survey Team (ITST) Post-Tsunami Survey Field Guide. In *IOC Manuals and Guides* (Vol. 37). UNESCO France.
- Jannah, I. N., Anggono, T., & Yulianto, T. (2016). Aplikasi Metode Double Difference Dalam Relokasi Hiposenter Untuk Menggambarkan Zona Transisi Antara Busur Banda dan Busur Sunda. *Youngster Physics Journal*, 5(3), 113-122.
- Jayadi, H., & Soehaimi, A. (2016). Analisis Seismotektonik Untuk Penanggulangan Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi. *Jft: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 3, 110-116.
- Kongko, W., & Schlurmann, T. (2010). The Java tsunami model: using highly-resolved data to model the past event and to estimate the future hazard. In *Proceedings of the Coastal Engineering Conference (2010)*. Reston: American Society of Civil Engineers.
- Kurniawan, T., & Laili, A. F. (2019). Penentuan Area Terdampak" Ketinggian Maksimum Tsunami" di Pulau Bali Berdasarkan Potensi Gempabumi Pembangkit Tsunami Pada Segmen Megathrust Sumba. *Jurnal Dialog dan Penanggulangan Bencana*, 10(1), 93-104.
- Laksono, F. A. T., Widagdo, A., Aditama, M. R., Fauzan, M. R., & Kovács, J. (2022). Tsunami Hazard Zone and Multiple

- Scenarios of Tsunami Evacuation Route at Jetis Beach, Cilacap Regency, Indonesia. *Sustainability*, 14(5), 2726.
- Li, L., Qiu, Q., & Huang, Z. (2012). Numerical modeling of the morphological change in Lhok Nga, west Banda Aceh, during the 2004 Indian Ocean tsunami: understanding tsunami deposits using a forward modeling method. *Natural hazards*, 64(2), 1549-1574.
- Mansinha, L., & Smylie, D.E., (1971): The displacement fields of inclined faults. *Bull Seismol. Soc.Am.*, 61, 1433-1440
- Muqoddas, Muhammad Mahfud. (2018). Skripsi *Pengaruh Kekasaran Manning Terhadap Pemodelan Inundasi Di Cilacap*. Tangerang: Program Diploma IV Geofisika Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Tangerang Selatan.
- Mutmainah, H., Christiana, D. W., & Kusumah, G. (2016). Tsunami Mentawai 25 Oktober 2010 (Simulasi Comcot 1.7) Dan Dampaknya Kini Terhadap Pantai Barat Mentawai. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 175-187
- Nandasari, P. L. (2020). Penentuan Tegangan Normal Di Sekitar Sesar Flores Menggunakan Software Stressinverse. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 125-132.
- Nasir, M., Ikhsan, M., & Amir, A. (2018). Estimasi Waktu Dan Tinggi Gelombang Tsunami Di Lhok Kruet Kabupaten Aceh Jaya. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 1(1).
- Okada, Y. (1985), Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 75(4), 1135-1154
- Pandey, F., Pasau, G., & Tongkukut, S. H. (2015). Simulasi Penjalaran Tsunami Di Beberapa Pantai Di Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana. *Jurnal MIPA*, 4(2), 103-107.
- Pratama, W. A. (2017). *Simulasi Penjalaran Gelombang Tsunami Akibat Gempa Tektonik di Pantai*

- Jember* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Prasetya G, Wang X, Palmer N, Grant G. 2013. Tsunami Inundation Modelling For Riverton and New River Estuary Southland. GNS Science Consultancy Report. pp87
- Purnama, A. A. D. S., Paramarta, I. A. B., & Rahman, M. S. S. (2019). Estimasi Run Up dan Waktu Tiba Tsunami di Daerah Bali Berdasarkan Simulasi TOAST. *Buletin Fisika*, 20(1), 29-35.
- Purwasih, R. R. I. (2011). Studi Identifikasi Gempa Bumi Pembangkit Tsunami di Selatan Pulau Jawa Periode 2005-2009.
- Puspito, Nanang T, 2010. Mengelola Resiko Bencana Di Daerah Maritim, Jurusan Geofisika dan Meteorologi ITB, Bandung
- Rahmawati, N. I. (2017). *Pemodelan Tsunami di Sekitar Laut Banda dan Implikasi Inundasi di Area Terdampak* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Saputri, M. A. P. (2020). Pengaruh Karakteristik Pantai Terhadap Risiko Tsunami di Pesisir Kota Bengkulu.
- Sari, P. M., Ahyuni, A., & Purwaningsih, E. (2014). Daya Tampung Shelter Evakuasi Tsunami di Universitas Negeri Padang Air tawar Barat: Studi kasus untuk Masyarakat di dalam Lingkungan Kampus Universitas Negeri Padang Air Tawar Barat. *Jurnal Geografi*, 3(1), 64-73.
- Setyowidodo, I. (2015). Inversi waveform tiga komponen gempa bumi tanggal 10 Januari 2010 dan 18 Mei 2010 untuk menentukan pola bidang patahan yang berkembang di pulau Jawa melalui analisis momen tensor. *Nusantara of Research: Jurnal Hasil-hasil Penelitian Universitas Nusantara PGRI Kediri*, 2(2).

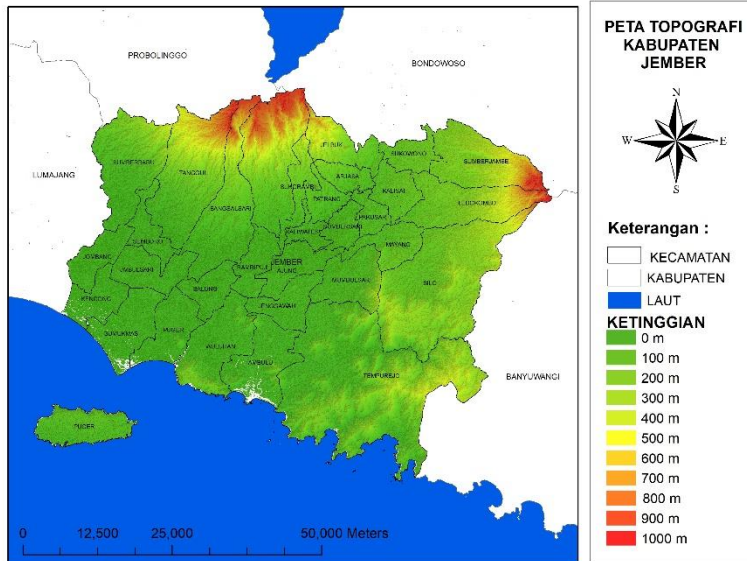
- Sulistiawaty, S., Tiwow, V. A., & Saleh, S. (2020, November). Mitigasi Bencana Gempabumi dan Tsunami. In *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*.
- Susanto, E., Arsyad, M., Subaer, S., & Setyahagi, A. R. (2020, May). Pemodelan Waktu Tiba Gelombang Tsunami di Wilayah Pesisir Provinsi Sulawesi Barat. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika PPs Universitas Negeri Makassar* (Vol. 2, pp. 80-83).
- Sutrisnawati, N. K. (2018). Dampak bencana alam bagi sektor pariwisata di Bali. *Jurnal Ilmiah Hospitality Management*, 9(1), 57-66.
- Umami, L. D. (2020). *Pengaruh Variasi Peninggian Kaki Bangunan (Piloti Building) Terhadap Kedalaman Aliran Dan Gaya Tsunami The Impact of Piloti Building on Flow Depth and Tsunami Force* (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Wanda, G. R. (2018). *Pemetaan Jalur Evakuasi Tsunami Dengan Metode Network Analisis (Studi Kasus: Kota Maumere)* (Doctoral Dissertation, Itn Malang).
- Wardani, L. (2018). *Perkiraan Daerah Rawan Tsunami Di Pesisir Kota Mataram Berdasarkan Skenario Gempa Di Lepas Pantai Utara Lombok Approximation Of Tsunami-Prone Areas In The Coastal City Of Mataram Based On The Earthquake Scenario On The North Coast Of Lombok* (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Wells, D., dan Coppersmith, K., 1994, New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 4, 84, 974-1002
- Yanagisawa, H. (2011). Numerical Simulation of Tsunami and its Application. *Tohoku-Gakuin University, Tohoku*.

# LAMPIRAN 1 Lokasi Penelitian





## LAMPIRAN 2 Peta Topografi Kabupaten Jember



**LAMPIRAN 3 Titik kumpul evakuasi**

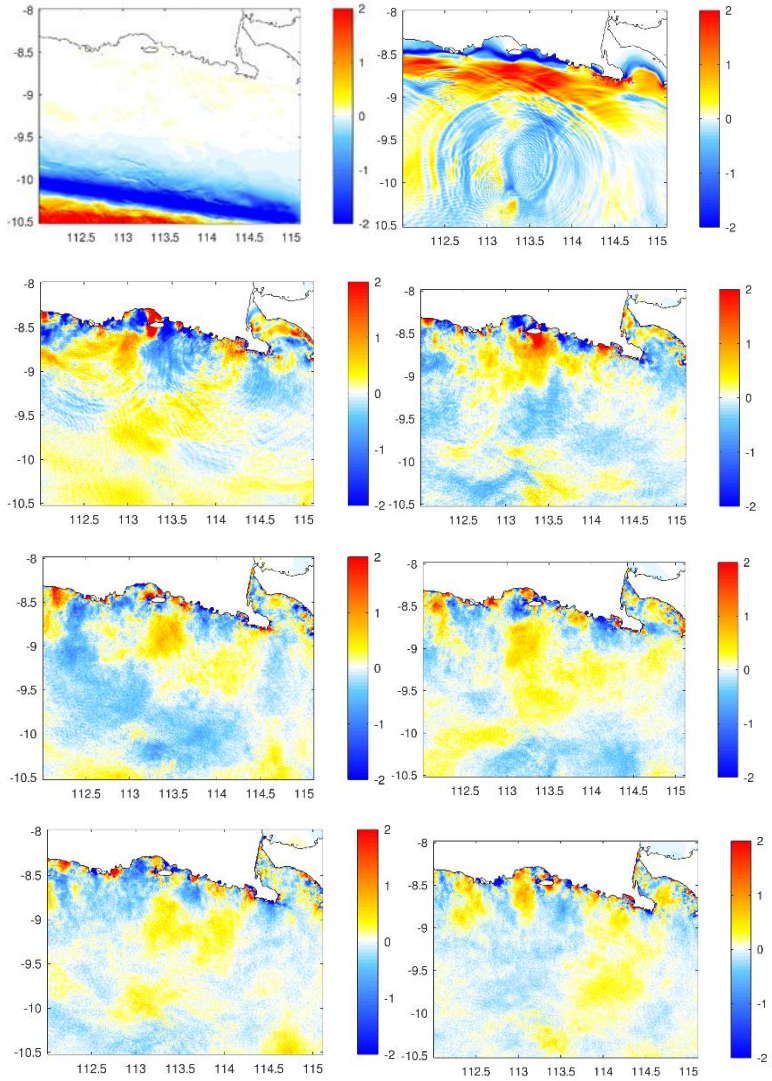
Bujur	Lintang	Nama	Alamat	Mdpl (m)
- 8.2876 6	113.3231 19	SD Negeri 3 Cakru	Dusun Gondangrejo, Desa Cakru, Kec. Kencong, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68167	9,75
- 8.0306 4	113.3292 20	Masjid Baitussala m	Sidomulyo, Paseban, Kec. Kencong, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68167	7,62
- 8.0308 1	113.3335 88	Kantor Desa Paseban	Balekambang, Paseban, Kec. Kencong, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68167	5,48
- 8.3002 9	113.3364 77	SD Negeri 03 Cakru	Gondangrejo, Cakru, Kec. Kencong, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68167	9,72
- 8.3347 6	113.3859 94	Lapangan Mayangan	Muneng, Mayangan, Kec. Gumukmas, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68165	9,44
- 8.3654 3	113.3998 73	Lapangan Kalimalan g	Unnamed Road, Kalimalang, Mayangan, Kec. Gumukmas, Kabupaten	6,29

- 8.3619 7	113.4310 35	TK Dewi Masyithoh 70	Jember, Jawa Timur 68165 Kalimalang, Mojomulyo Kec. Puger, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68164	8,53
- 8.3628 0	113.4143 23	Masjid At- taqwa mojosari	Krajan, Mojosari Kec. Puger Kabupaten Jember, Jawa Timur 68164	6,09
- 8.3638 3	113.4314 62	TK Dewi Masyithoh 80	jadukan rt 002 rw 025 mojosari pujer Jadukan, Mojosari Kec. Puger Kabupaten Jember, Jawa Timur 68164	9,44
- 8.3712 0	113.4747 78	Lapangan /alun-aun	Kauman, Puger Kulon Kec. Puger	5,88
- 8.4072 6	113.5825 19	SDN Sumberej o 05	Curah Rejo, Sumberrejo Kec. Ambulu Kabupaten Jember, Jawa Timur 68172	7,94
- 8.4211 4	113.5980 76	TK Al hidayah 78	Sidomulyo, Sumberrejo Kec. Ambulu Kabupaten Jember, Jawa Timur 68172	7,90

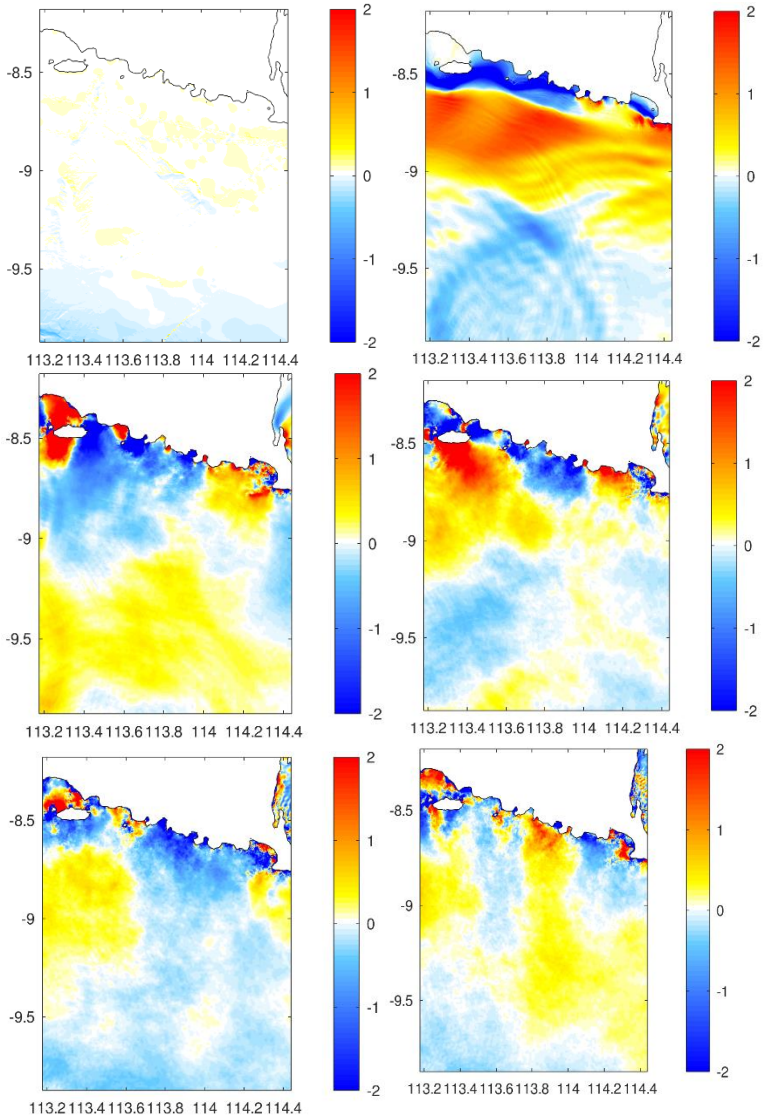
- 8.4117 6	113.5953 32	SDN Sumberej o 03	Sido Mulyo, Sumberrejo Kec. Ambulu Kabupaten Jember, Jawa Timur 68172	8,53
- 8.4260 4	113.6177 90	SDN Sabrang 05	Kebonsari, Sabrang Kec. Ambulu Kabupaten Jember, Jawa Timur 68172	7,62

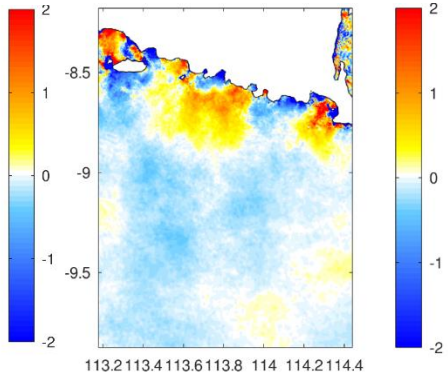
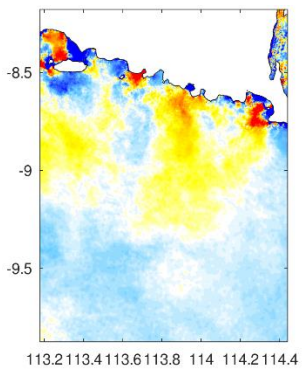
---

## Lampiran 4 Simulasi penjalaran grid/layer 2



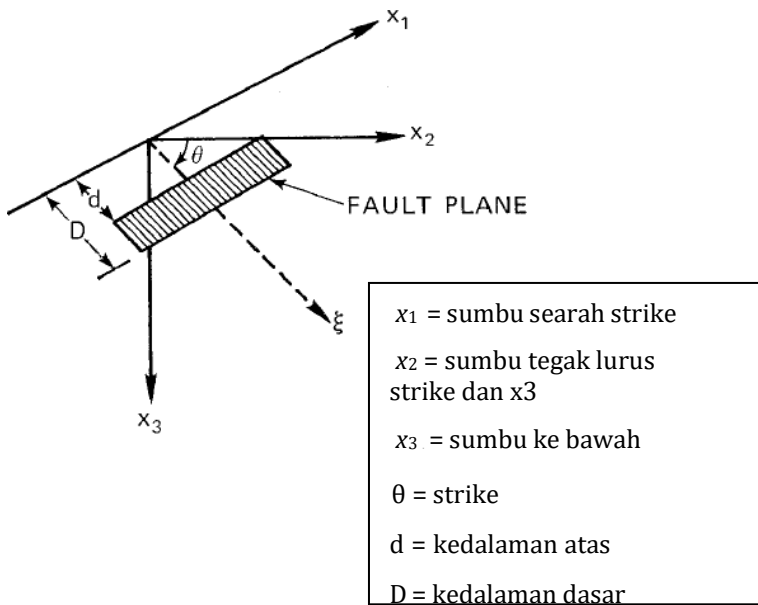
### Lampiran 5 Simulasi penjalaran grid/layer 3





## Lampiran 6 Deformasi Vertikal

Deformasi yang terjadi di lantai samudera ditarik ke permukaan laut untuk menjadi input dalam pemodelan tsunami. Deformasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan program yang dibuat oleh Imamura berdasarkan persamaan elastisitas dalam Mansinha dan Smylie (1971).



Gambar Geometri sesar dan system koordinat  
 (Mansinha dan Smylie, 1971)

Persamaan Volterra menunjukkan medan deformasi (*displacement field*) yang disebabkan oleh dislokasi  $\Delta u_j$  sepanjang  $\Sigma$  pada *half-space* elastic seragam:



$$u_i = \int_{\Sigma} \Delta u_j \left[ \delta_{jk} \lambda \frac{\partial u_i^l}{\partial \xi_l} + \mu \left( \frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] V_k d\Sigma$$

Keterangan:

$v_k$  = arah vector normal bidang  $\Sigma$

$\lambda$  = lebar sesar (km)

$\mu$  = konstanta Lamé

$u_i^j$  = komponen dislokasi ke-I pada  $(x_1, x_2, x_3)$  akibat sumber titik pada  $(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$  yang bekerja pada arah j

Dengan slip bidang persegi Mansinha dan Smylie menunjukkan deformasi untuk strike-slip fault (dislokasi  $U_1$  searah sumbu  $x_1$ ) menjadi:

$$u_i = uU_1 \int_{\Sigma} \left[ \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \sin \theta - \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_3} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_1} \right) \cos(\theta) \right] d\Sigma$$

Dan untuk dip-slip fault (dislokasi U searah sumbu  $\xi$ )

$$u_i = uU \int_{\Sigma} \left[ \left( \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_3} \right) \sin(2\theta) - \left( \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_3} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_2} \right) \cos(2\theta) \right] d\Sigma$$

Dengan menggunakan system koordinat  $\xi$ , dimana permukaan bidang sesar berada pada kisaran  $-L \leq \xi_1 \leq L$  dan  $-d \leq \xi \leq D$  maka persamaan *Strike-slip* menjadi:

$$u_i = uU_1 \int_d^D \int_{-L}^L \left[ \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \sin(\theta) - \left( \frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \cos(\theta) \right] d\xi_1 d\xi$$

Dan untuk *dip-slip*

$$u_i = uU_1 \int_d^D \int_{-L}^L \left[ \left( \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_2} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_3} \right) \sin(2\theta) - \left( \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_3} + \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_2} \right) \cos(2\theta) \right] d\xi_1 d\xi$$

Hasil integrasi untuk deformasi vertical (arah  $x_3$ ) untuk *skrike-slip*:

$$\begin{aligned}
 12\pi \frac{u_3}{U_1} &= \cos \theta [\ln(R + r_3 - \xi) + (1 + 3 \tan^2 \theta) \ln(Q + q_3 + \\
 &\xi) - 3 \tan \theta \sec \theta \ln(Q + x_3 + \xi_3)] + \frac{2r_2 \sin \theta}{R} + \\
 2 \sin \theta \frac{q_2 + x_2 \sin \theta}{Q} - \frac{2r_2^2 \cos \theta}{R(R+r_3-\xi)} + \\
 \frac{4q_2 \sin^2 \theta - 2(q_2 + x_2 \sin \theta)(x_3 + q_3 \sin \theta)(x_3 q_3 \sin \theta)}{Q(Q+q_3+\xi)} + \\
 4q_2 x_3 \sin \theta \frac{[(x_3 + \xi_3) - q_3 \sin \theta]}{Q^3} - 4q_2^2 q_3 x_3 \cos \theta \sin \theta \frac{(2Q + q_3 + \xi)}{Q^3(Q+q_3+\xi)^2}
 \end{aligned}$$

Hasil Integrasi untuk deformasi vertical (arah  $x_3$ ) untuk dip *slip*:

$$\begin{aligned}
 12\pi \frac{u^3}{U} &= \sin \theta \left[ (x_2 + \xi_2) \left\{ \frac{2(x_3 - \xi_3)}{R(R+x_1-\xi_1)} + 4 \frac{x_3 - \xi_3}{Q(Q+x_1+\xi_1)} - \right. \right. \\
 &4\xi_3 x_3 (x_3 + \xi_3) \left. \left. \left( \frac{2Q+x_1+\xi_1}{Q^3(Q+x_1+\xi_1)^2} \right) \right\} - 6 \tan^{-1} \left\{ \frac{(x_1 - \xi_1)(x_2 + \xi_2)}{(h+x_3+\xi_3)(Q+h)} \right\} + \right. \\
 &3 \tan^{-1} \left\{ \frac{(x_1 - \xi_1)(r_3 + \xi)}{r_2 R} \right\} - 6 \tan^{-1} \left\{ \frac{(x_1 + \xi_1)(q_3 + \xi)}{q_2 Q} \right\} \left. \right] + \cos \theta \left[ \ln(R + \right. \\
 &x_1 + \xi_1) - \ln(Q + x_1 + \xi_1) - 2 \frac{(x_3 + \xi_3)^2}{R(R+x_1+\xi_1)} - 4 \frac{\{(x_3 + \xi_3)^2 - \xi_3 x_3\}}{Q(Q+x_1+\xi_1)} - \\
 &4\xi_3 x_3 (x_3 + \xi_3)^2 \left. \left( \frac{2Q+x_1+\xi_1}{Q^3(Q+x_1+\xi_1)^2} \right) \right] + 6x_3 \left[ \cos \theta \sin \theta \left\{ \frac{2(q_3 + \xi)}{Q(Q+x_1+\xi_1)} + \right. \right. \\
 &\left. \left. \frac{x_1 + \xi_1}{Q(Qq_3 + \xi)} \right\} - q_2 \frac{\sin^2 \theta \cos^2 \theta}{Q(Q+x_1+\xi_1)} \right]
 \end{aligned}$$

Dengan penyingkatan:

$$\begin{aligned}
 R^2 &= (x_1 - \xi_1)^2 + (x_3 + \xi_3)^2 + (x_3 - \xi_3)^2 = (x_1 - \xi_1)^2 + \\
 &r_2^2 + (r_1 - \xi)^2 \\
 Q^2 &= (x_1 - \xi_1)^2 + (x_3 + \xi_3)^2 + (x_3 - \xi_3)^2 = (x_1 - \xi_1)^2 + \\
 &q_2^2 + (q_1 - \xi)^2 = (x_1 - \xi_1)^2 + h^2 = k^2(q_3 - \xi)^2
 \end{aligned}$$

$$r_2 = x_2 \sin(\theta) - x_3 \cos(\theta)$$

$$r_3 = x_2 \cos(\theta) - x_3 \sin(\theta)$$

$$q_2 = -x_2 \sin(\theta) - x_3 \cos(\theta)$$

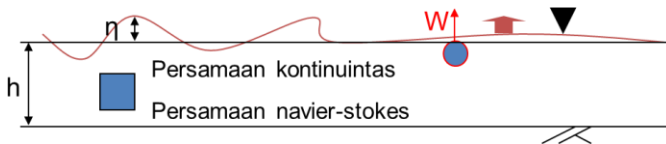
$$q_3 = -x_2 \cos(\theta) - x_3 \sin(\theta)$$

## Lampiran 7 Penurunan Persamaan Penggerak Tsunami

Tsunami diklasifikasikan sebagai gelombang panjang karena perbandingan antara kedalaman air terhadap panjang gelombang sangat kecil, sehingga percepatan vertikal dari partikel air dapat diabaikan dan orbit dari partikel sangat kecil. Kemudian kecepatan horizontal dari air dianggap seragam secara vertikal.

1. Gelombang panjang (tinggi gelombang  $\ll$  panjang gelombang)
2. Percepatan vertikal dari partikel air  $\cong 0$  (Kecepatan horizontal adalah konstan secara vertikal)
3. Tekanan air adalah tekanan gravitasi
- A. Persamaan Batas:

1. Batas Permukaan ( $Z = \eta$ )



Kondisi batas dinamis

$$p_{surface} = 0$$

Kondisi batas kinematis

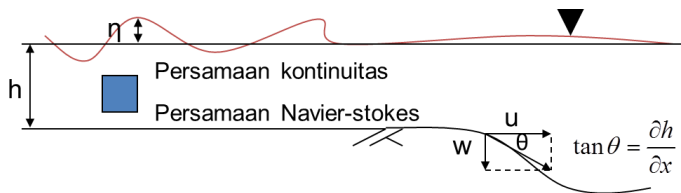
$$\left( \frac{\partial \eta}{\partial t} + u_{surface} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \Delta t = w_{surface} \Delta t$$

$$w_s = \left( \frac{\partial \eta_s}{\partial t} + u_s \frac{\partial \eta_s}{\partial x} \right)$$

$u$  : kecepatan air arah horizontal (m/s)  
 $w$  : kecepatan air arah vertical (m/s)  
 $p$  : tekanan air (Pa)  
 $g$  : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 $\eta$  : elevasi muka air laut (m)  
 $h$  : kedalaman perairan (m)  
 $D$  : total kedalaman  $D = (h + \eta)$  (m)

## 2. Batas dasar ( $Z = -h$ )

Rasio antara kecepatan vertikal dan kecepatan horizontal adalah sama dengan gradient kemiringan di dasar



Kondisi Batas Kinematis

$$\tan \theta = \frac{w_b}{u_b} = -\frac{\partial h}{\partial x}$$

$M$  : fluks arah-x =  $u \times d$  (m<sup>2</sup>/s)N

$N$  : fluks arah-y =  $v \times d$  (m<sup>2</sup>/s)

## Skripsi

## ORIGINALITY REPORT

22%

SIMILARITY INDEX

20%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	4%
2	<a href="http://webblogkn.unsyiah.ac.id">webblogkn.unsyiah.ac.id</a> Internet Source	2%
3	<a href="http://ojs.unm.ac.id">ojs.unm.ac.id</a> Internet Source	1%
4	<a href="https://repository.ub.ac.id">repository.ub.ac.id</a> Internet Source	1%
5	<a href="https://ar.scribd.com">ar.scribd.com</a> Internet Source	1%
6	Submitted to Universitas Jenderal Soedirman Student Paper	1%
7	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Internet Source	1%
8	Submitted to Universitas Pertamina Student Paper	1%
9	<a href="http://www.meteo.itb.ac.id">www.meteo.itb.ac.id</a> Internet Source	1%
10	<a href="http://jfu.fmipa.unand.ac.id">jfu.fmipa.unand.ac.id</a> Internet Source	1%

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

Bahwa yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sephia Firdaus Dilla  
NIM : 1808026003  
Tempat, Tanggal Lahir : Bekasi, 25 September 2001  
Alamat : Kp. Sukamantri Rt. 001/003 Desa  
Sukaraya Kecamatan  
Karangbahagia Kabupaten Bekasi.  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Email : [sephia587@gmail.com](mailto:sephia587@gmail.com)

**Riwayat Pendidikan**

- SD Negeri Sukaraya 03 (2006-2012)
- SMP Negeri 3 Cikarang Utara (2012-2015)
- SMA Negeri 1 Karangbahagia (2015-2018)

Hormat Saya,

Sephia Firdaus Dilla