

Skripsi Geofisika

**PERHITUNGAN *RUN-UP* DAN INUNDASI TSUNAMI AKIBAT GEMPA
TOLI-TOLI 1996 PADA PESISIR DONGGALA UTARA**

OLEH :

Wa Ode Siti Nur Rahmadaningsi

H221 13 028



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2017

Skripsi Geofisika

**PERHITUNGAN *RUN-UP* DAN INUNDASI TSUNAMI AKIBAT GEMPA
TOLI-TOLI 1996 PADA PESISIR DONGGALA UTARA**

OLEH :

Wa Ode Siti Nur Rahmadaningsi

H221 13 028



PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2017

**PERHITUNGAN *RUN-UP* DAN INUNDASI TSUNAMI AKIBAT GEMPA
TOLI-TOLI 1996 PADA PESISIR DONGGALA UTARA**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Program Studi Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

Oleh :

Nama : Wa Ode Siti Nur Rahmadaningsi

Stambuk : H221 13 028

Prog. Studi : Geofisika

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2017

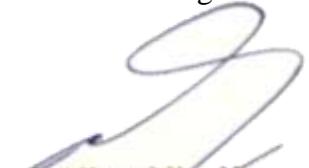
LEMBAR PENGESAHAN

**PERHITUNGAN *RUN-UP* DAN INUNDASI TSUNAMI AKIBAT GEMPA
TOLI-TOLI 1996 PADA PESISIR DONGGALA UTARA**

Makassar, November 2017

Disetujui Oleh :

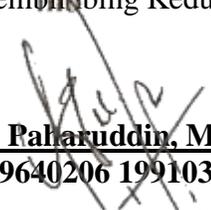
Pembimbing Utama


(Dr. M. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng)
NIP. 19670929 1993 03 1 003

Pembimbing Pertama


(Wiko Setyonegoro, S.Si, M.Kom)
NIP. 19800617 200502 1 001

Pembimbing Kedua


(Dr. Paharuddin, M.Si)
NIP. 19640206 199103 1 002

ABSTRACT

The Northern Arm of Sulawesi potentials to generate earthquake and Tsunami due to the existence of the subduction zone of Sulawesi sea. It makes the North Donggala as an area with active seismicity in Indonesia. One of the earthquake and Tsunami events occurred is the earthquake and Tsunami of Toli-Toli 1996 (M 7.9) causing 9 people are killed and severe damage in Bangkir, Toli-Toli, and Donggala. This earthquake induced tsunami runup of 3.4 m and inundated as far as 300 meters. Therefore, modeling of tsunami in the area an important as mitigation effort of tsunami in the future. The aims of this study is to modeling the source, wave propagation, and run up Tsunami of Toli-Toli on January 1, 1996 in North Donggala and simulation of width inundation in affected areas taking into account the coastal morphology aspect. The research used bathymetry data of Etopo2 obtained from NOAA, the earthquake focal mechanism data from GCMT on 01 January 1996 based on epicenters scenario of the main shock earthquake of Toli-Toli in 1996 and Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30 Arc-Second Global. Single fault model is the used to predict the high of tsunami run-up and to inundation area use Arcgis 10.1, around North Donggala coastal area. The compute result then compared with the field measurement. Tsunami modeling results show the value of vertical displacement of approximately 1.59 meters, propagation tsunamis in all directions and first entered the West Balukang minute to 05.20. Run Up the highest found in Tonggolobibi about 3.52 meters and inundation of tsunami ranges from 28.64 hectare in Tonggolobibi, Balukang and Siwalempu as well as 25.45 hectare in Ponggerang, Sioyong etc.

Key word: Toli-toli tsunami , runup, inundation, Tsunami Modeling

SARI BACAAN

Sulawesi merupakan wilayah yang berpotensi menimbulkan bencana gempa bumi dan Tsunami salah satunya yaitu keberadaan zona subduksi laut Sulawesi. Membuat Kabupaten Donggala Utara merupakan salah satu kawasan seismik aktif di Indonesia. Salah satu Gempabumi dan Tsunami Toli-Toli 1996 (M7.9), menyebabkan 9 orang tewas, serta kerusakan parah di Desa Bangkir, Tonggolobibi, dan Donggala. Gempabumi ini juga memicu tsunami dengan ketinggian 3.4 meter dengan limpasan air laut ke daratan sejauh 300 meter. Oleh karena itu, pemodelan tsunami di wilayah tersebut penting dilakukan sebagai upaya mitigasi tsunami di masa datang. Tujuan dari penelitian ini adalah Membuat desain sumber tsunami (*source modelling*), penjalaran gelombang tsunami (*ocean modelling*), dan luapan (*run-up modelling*) tsunami Toli-toli pada tanggal 1 Januari 1996 di Donggala Utara dan menentukan luas area Inundasi atau serangan di area terdampak dengan mempertimbangkan aspek morfologi pantai. Penelitian ini menggunakan data batimetri Etopo2 dari NOAA, data mekanisme fokus gempa bumi utama dari GCMT pada 1 Januari 1996. Dan data SRTM resolusi 30 Arc-Second. Model satu patahan digunakan untuk memprediksi tinggi *Run-Up* Tsunami dan untuk luas inundasi menggunakan Arcgis 10.1 di sekitar pantai Donggala Utara. Hasil pemodelan tsunami menunjukkan nilai *vertical displacement* maksimal sekitar 1,59 m, penjalaran tsunami ke segala arah dan pertama kali memasuki daerah Balukang bagian barat pada menit ke 05.20. Run up tertinggi dijumpai di Tonggolobibi sekitar 3,52 m dan luas inundasi tsunami berkisar antara 28.64 hektar di Tonggolobibi, Balukang and Siwalempu serta 25.45 hektar di Ponggerang, Sioyong dan sebagainya.

Kata Kunci : Tsunami Toli-Toli, *Run-Up*, Inundasi, Pemodelan Tsunami

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Penulis memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena pada akhirnya dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir yang berjudul **“Perhitungan *Run-Up* dan Inundasi Tsunami Akibat Gempa Toli-Toli 1996 pada Pesisir Donggala Utara”**. Tugas akhir merupakan salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa yang akan menyelesaikan studi Program Sarjana di Program Studi Geofisika Universitas Hasanuddin (UNHAS).

Selesainya proses penggarapan tugas akhir ini pun didukung oleh berbagai pihak yang memberikan semangat, ide, dukungan moril, dan doa tentunya. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih ke pada Allah SWT, terkhusus untuk orang tua tercinta penulis **Bapak' Muhammad Adhar, A.Md.T** dan **Ibu' Hartina** yang selama ini menjadi pemacu semangat juang penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, terima kasih untuk selalu ada dan selalu memunajatkan doa untuk kelancaran segala urusan penulis. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Kakek **Ld. Wetti** dan Nenek tercinta **Desina** yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis, terima kasih untuk tetap ada untuk penulis. Untuk Saudara-saudara penulis, Kakak **Yulan Saharaen Golobe & Adik Ld. Muhammad Asrul Adhar** yang sering memberikan saya bantuan nasehat serta

tambahan uang jajan serta kemenakan **Baim**, tante dan om serta sepupu penulis yang selalu menyemangati.

Tidak lupa pula penulis sampaikan Terima Kasih kepada ;

1. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng**, Bapak **Wiko Setyonegoro, S.Si, M.Kom** serta Bapak **Dr. Paharuddin, M.Si** selaku pembimbing utama, pertama dan kedua yang sabar dan tulus memberikan bimbingan, serta menuntun penulis hingga selesainya skripsi ini.
2. Ibu **Sulastri S.Si, M.Si** dan Bapak **Bambang Sunardi, M.T** yang setia memberikan bimbingan kepada penulis selama berada di PUSLITBANG BMKG, serta Bapak/Ibu karyawan di Puslitbang Geofisika, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang telah membantu selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Dr. Supriyanto Rohadi, M.Si** selaku kepala bidang litbang Geofisika BMKG Jakarta yang telah mengizinkan peneliti untuk melakukan penelitian tugas akhir di BMKG Jakarta.
4. Bapak **Prof. Dr. Dadang Ahmad Surimiharja, M.Eng**, Bapak **Dr. Sakka, M.Si** dan Bapak **Dr. Muh. Altin Massinai, MT.Surv** selaku tim penguji skripsi geofisika yang telah memberi masukan serta saran kepada penulis.
5. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

6. Bapak **Dr. Muh. Altin Massinai, MT.Surv** selaku Ketua Program Studi Geofisika FMIPA UNHAS.
7. Bapak **Dr. Sakka, M.Si** selaku Penasehat Akademik yang banyak memberikan nasehat kepada penulis.
8. Dosen-dosen pengajar yang telah membagikan ilmunya serta memberi bimbingan selama perkuliahan.
9. Teman seperjuangan **TA-Jakarta Tim, Eunike Else, Oktavia Sriastuti Bamba, S.Si dan Muhammad Khaeran Ali, S.Si** yang telah lebih dahulu Sarjana, serta **Nur Arfa Sarifuddin** yang penelitian ulang semoga cepat menyusul sarjana.
10. Teman ‘**pertama dan kedua**’ saat menjadi mahasiswi Geofisika, **Jamriani, S.Si** yang sarjana lebih dulu dan **Nur Asryanti Bagenda** yang sarjannya bersamaan.
11. Teman-teman **PT. Armina Grop** alias pondok Armina, ‘**Arminah’s Girls**’ **Dwi Marfiani Fidayatullah, S.Si, Akramunnisa, Jamriani, S.Si, Nurwahidah, Ikawati Basri** Terima kasih untuk kebersamaannya di pondokan maupun di Kampus.
12. Teman-teman **PSL- Squad** alias “**Mau Sekalimi Wisuda**”, **Nurul Miftasari** yang mager sekali sarjana bulan 12, **Rahmi Rizki Amalia, Reski Kurniawan, Bahrul Ulum, Anwar Sadat, S.Si** yang lagi menghadapi hidup sesungguhnya, **Muh. Rizal Basri, Dewi Rahmawati** dan **Akramunnisa**.
13. Teman-teman seangkatan Fisika dan Geofisika “**ANGKER 2013**” atas kebersamaannya dari Maba hingga sekarang. Maaf tak dapat disebutkan satu-satu, terima kasih untuk menjadi **88 orang saudara tak sedarah**.

14. Teman-teman Se-MIPA 2013.
15. Teman-teman Seperjuangan di **Geofisika 2013** , **Ajriah, Odah, Uyung, Opi, Nike, Arfah, Ika, Ewi, Ida, Akra, Yanti, Tiara, Ami, Minu, Nunu, Rista, Hilda, Pia (Semoga segera pulih) , Hena, Jenifer, Zuhaa, Dera, Pur, dan Fitrah, Olid, Maher, Baso, Eko, Asnur, Bahrul, Anca, Wahyudin, Ali, Reskur, Iqbal, Dhika, Mus, Mugni, Ichal, Jayadi, Iqlal, Ullah, Takdir, Zul, Kanda, Fitrawan, Sudar.**
16. Teman-teman “**Geng Anak Batu**” alias **Geofisika girls**, **Ajriah, Odah, Uyung, Opi, Nike, Arfah, Ika, Ewi, Ida, Akra, Yanti, Tiara, Ami, Minu, Nunu, Rista, Hilda, Pia (Semoga segera pulih) , Hena, Zuhaa, Dera.**
17. Teman – teman Tarbiyah, **Tina, Ros, dan Nia**, serta Murabbi penulis **kak Izzah** terima kasih untuk selalu menjadi pendengar setia serta guru rohani yang selalu memberikan nasihat-nasihat dan pelajaran berharga lainnya serta **Kak Cahyani** selaku Murabbi Tahsin.
18. Teman- teman **KKN Gel.93 Kab. Soppeng, Kec. Marioriawa** Terkhusus untuk Posko Desa Tellulimpoe : **Kak Rahma, S.T, Nova, Valeriana, S.H , Kak Geri dan Kak Ical**
19. Kanda- kanda ,Teman-teman serta Adik-adik Pengurus **HIMAFI UNHAS** dan **Society of Petroleum Engineers Hasanuddin University Student Chapter**
20. Teman-teman **SMA NEGERI 2 RAHA angkatan 2013**

21. Kakak-kakak Senior maupun Adik-adik Junior Fisika maupun Geofisika, terkhusus untuk alias sepupu **Aulia Kahar, S.Si** terima kasih sudah menemani penulis pada awal Maba sampe tau seluk beluk kampus dan Makassar.

Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu terima kasih untuk semuanya.

Makassar, November 2017

Penulis

Bismillah....

**Allah, Izinkan hambamu bersujud di belahan bumi yang
lainnya menyebut namamu terutama Jepang.**

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRACT	iv
SARI BACAAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xvix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup	2
I.3 Kerangka Berpikir.....	3
1.4 Tujuan.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kondisi Tektonik Regional.....	5
II.2 Pengertian Tsunami.....	8
II.3 Gempa Pembangkit Tsunami	10
II.4 Parameter Gelombang Tsunami	10
II.4.1 Tinggi Tsunami.....	11
II.4.2 <i>Run-Up</i> Tsunami.....	11
II.4.3 Genangan (Inundas).....	12
II.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tinggi Tsunami	13
II.6 Metode Pendekatan Numerik Gelombang Tsunami.....	16
II.6.1 Teori Perairan Dangkal.....	16
II.7 Deformasi Bawah Laut.....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian.....	22
III.2 Bahan dan Peralatan Pengolahan Data.....	23
III.2.1 Bahan	23

III.2.2 Alat.....	23
III.3 Metode Penelitian	24
III.3.1 Metode Pengolahan Data.....	24
III.3.1.1 Pemodelan Tsunami.....	24
III.3.1.1.1 Desain Sumber Tsunami (<i>Source Modeling</i>).....	24
III.3.1.1.2 Penjalaran Gelombang tsunami (<i>Ocean Modeling</i>).....	28
III.3.1.1.3 <i>Run-Up Modeling</i>	28
III.3.1.1.4 Simulasi Inundasi Area Terdampak.....	29
III.4 Bagan Alir Penelitian.....	31
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Analisa Desain Model Sumber Tsunami (<i>Source Modeling</i>)	32
IV.2 Analisa Penjalaran Gelombang (<i>Ocean Modeling</i>)	34
IV.3 Analisa Pemodelan Run-Up (<i>Run-Up Modeling</i>)	41
IV.4 Analisis Inundasi Tsunami Daerah Terdampak.....	53
 BAB V PENUTUP	
V.1 Kesimpulan.....	58

V.2 Saran.....59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1 Kondisi Tektonik Jawa dan Indonesia Timur	5
Gambar II-2 Propagasi Tsunami	9
Gambar II-3 Parameter Tsunami.....	11
Gambar III-I Lokasi Penelitian.....	22
Gambar III-2 Episenter Gempa Bumi Utama,Sebelum dan Sesudah.....	26
Gambar III-3 Setting Parameter untuk <i>Source Modeling</i>	27
Gambar III-4 Peta Tutupan Lahan Tahun 1996.....	29
Gambar IV-1 Setting Parameter untuk <i>Source Modeling</i>	33
Gambar IV-2 <i>Vertical Displacement</i> dari Hasil Perhitungan Pemodelan.....	34
Gambar IV-3 Penjalaran Gelombang Tsunami Menit ke 5 Lewat 20 detik.....	36
Gambar IV-4 Penjalaran Gelombang Tsunami Memit ke 7 lewat 20 detik	37
Gambar IV-5 Penjalaran Gelombang Tsunami Menit ke 11.....	38
Gambar IV-6 a Penjalaran Gelombang Tsunami Menit ke 18.....	39
Gambar IV-6 b Penjalaran Gelombang Tsunami Menit ke 28	39

Gambar IV-7 Model Penjalaran Gelombang Tsunami Toli-Toli saat Mencapai Waktu Maksimum.....	40
Gambar IV-8 Propagasi Penjalaran Tsunami Berdasarkan Kedalaman.....	41
Gambar IV-9 Sebaran <i>Run-Up</i> Wilayah I.....	46
Gambar IV-10 Sebaran <i>Run-Up</i> Wilayah II.....	47
Gambar IV-11 Sebaran <i>Run-Up</i> Wilayah III	48
Gambar IV-12 Sebaran <i>Run-Up</i> Wilayah IV	49
Gambar IV-13 Waktu Tiba Gelombang Tsunami di Beberapa Wilayah	51
Gambar IV-14a Validasi antara Simulasi dan Pengukuran.....	52
Gambar IV-14b Validasi antara Model menggunakan Software L-2008 dan Model oleh Baeda menggunakan SiTpros	52
Gambar IV-15 Koefisien Korelasi antara Model dan Pengukuran	52
Gambar IV-16 Rekam Jejak Hasil Simulasi Inundasi Tsunami Wilayah I.....	53
Gambar IV-17 Rekam Jejak Hasil Simulasi Inundasi Tsunami Wilayah II...54	
Gambar IV-18 Rekam Jejak Hasil Simulasi Inundasi Tsunami Wilayah III..55	
Gambar IV-19 Grafik Hubungan antara Jarak Inundasi dan Tinggi <i>Run-Up</i>56	

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Nilai Koefisien Manning/Kekasaran	13
Tabel II-2 Indikator Kelerengan Pantai	15
Tabel III-1 Parameter Mekanisme Sumber Gempa.....	25
Tabel III-2 Nilai Koefisien Manning.....	30
Tabel IV-1 Pendekatan Empiris dengan Scaling Law.....	32
Tabel IV-2 Hasil Distribusi <i>Run-Up</i> dari Pemodelan Sumber Tsunami.....	42
Tabel IV-3 Nilai Parameter Gelombang Tsunami.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

1. Hasil pemodelan Penjalaran gelombang tsunami

LAMPIRAN B

1. Perhitungan parameter gempa bumi

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara dengan aktifitas seismik teraktif di dunia. Dikelilingi oleh lempeng Indo-Australia dan pelat laut Filipina yang meretas dibawah lempeng Eurasia, akibatnya Indonesia telah mengalami ribuan gempa bumi dan tsunami pada rentang empat ratus tahun terakhir. Sumatera dan Jawa adalah dua pulau yang paling rentan dampak tsunami karena terletak langsung didepan Lempeng Indo-Australia. Papua dan Sulawesi juga pernah mengalami beberapa tsunami, walaupun tidak sesering Sumatera dan Jawa. Tapi belakangan ini, Sulawesi dengan beberapa daerah rawan subduksi-nya telah menjadi lebih aktif yang mengakibatkan banyaknya aktivitas kegempaan, terutama gempa dengan episenter di laut (Baeda, Yasir. A., 2011).

Area Sulawesi yang memiliki potensial gempa bumi dan Tsunami adalah North Arm (Lengan Utara) Pulau Sulawesi, khususnya pantai Utara, Selatan dan Timur dari North Arm, dua (tahun 1968 dan 1996) dari keseluruhan data berada di North Arm, yang merupakan Seismic Prone Area yang tertinggi tingkat aktifitasnya . Semuanya juga dihasilkan dari gempa bumi dangkal dari pergerakan patahan Palu-Koro, Palung Sulut dan SC-NMS (Spreading Center at North Makassar Strait) (Baeda, Yasir. A., 2011).

Gempa bumi tahun 1996 yang berpusat di Selat Makassar akibat dari zona Subduksi laut Sulawesi, mengakibatkan gelombang tsunami di bibir pantai barat kabupaten Donggala Utara dan Kabupaten Toli-Toli. Sebanyak 9 orang tewas, 63 luka-luka dan menghancurkan 400 rumah penduduk, fasilitas umum dan kantor pemerintahan (Pelinovsky et al, 1997).

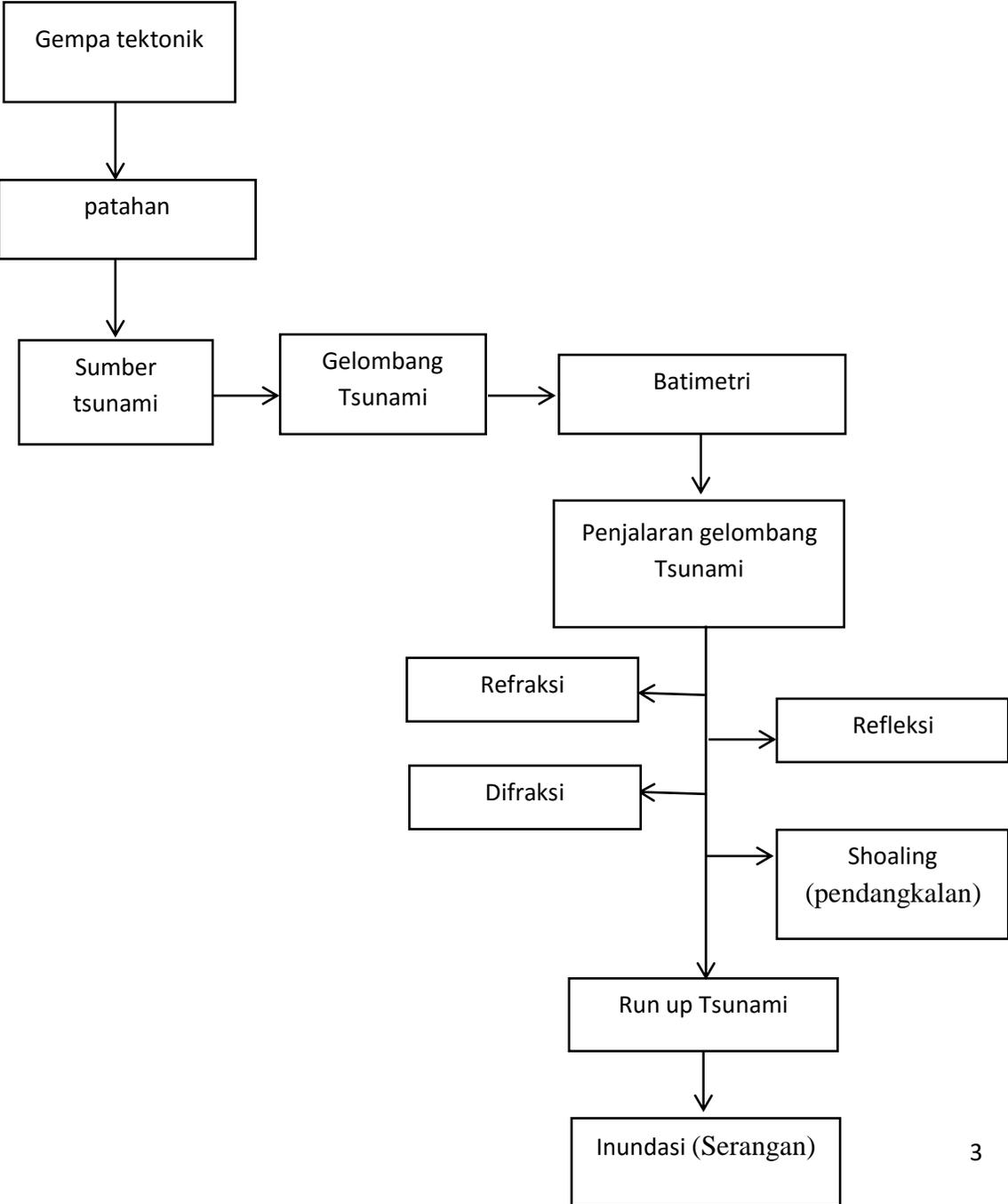
Oleh karena itu penelitian ini akan difokuskan untuk membuat permodelan numerik tsunami yang dibangkitkan oleh gempa bumi tektonik yang dapat dipetakan dengan memperhatikan pengaruh morfologi pantai terhadap gelombang tsunami sebagai upaya mitigasi bencana tsunami di wilayah pesisir, karena dari penelitian pemodelan tsunami sebelumnya belum ada penelitian mengenai korelasi tsunami terhadap morfologi pantai dan simulasi luas area inundasi. Maka dari itu penelitian ini mencoba mengembangkan dari penelitian sebelumnya dengan hasil akhir dari penelitian ini adalah simulasi run up dan inundasi tsunami.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas, permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membuat desain sumber tsunami (*source modelling*), penjalaran gelombang tsunami (*ocean modelling*), dan luapan (*run-up modelling*) tsunami Toli-toli pada tanggal 1 Januari 1996 di Donggala Utara ?
2. Bagaimana menentukan luasan inundasi atau serangan di area terdampak dengan mempertimbangkan aspek morfologi pantai ?

I.3 Kerangka Berpikir



I.3 Tujuan

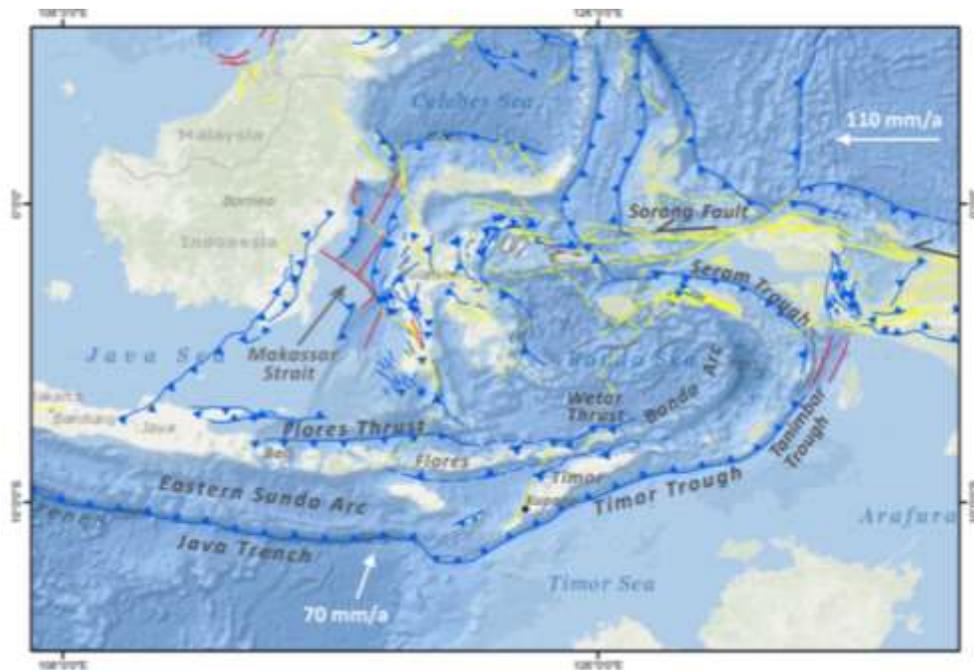
1. Membuat desain sumber tsunami (*source modelling*), penjalaran gelombang tsunami (*ocean modelling*), dan luapan (*run-up modelling*) tsunami Toli-toli pada tanggal 1 Januari 1996 di Donggala Utara.
2. Untuk menentukan luas area Inundasi atau serangan di area terdampak dengan mempertimbangkan aspek morfologi pantai.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kondisi Tektonik Regional

Di kawasan Pulau Sulawesi terdapat sedikitnya 9 unsur tektonik dan struktur yang dapat memicu terjadinya gempa dan tsunami yaitu patahan Walanae, patahan Palu-Koro, patahan MatanoLawanoppo, patahan Kolaka, patahan Paternoster, patahan Gorontalo, patahan naik Batui-Balantak, subduksi lempeng Laut Sulawesi dan subduksi lempeng Maluku. Struktur – struktur tersebut diatas merupakan dampak dari pada aktivitas tektonik Neogen yang bekerja di kawasan Sulawesi gambar II-1 (Hamilton,1979)



Gambar II-1 Kondisi Tektonik Jawa dan Indonesia a Timur (Harris & Major,2016)

1. Patahan Walanae berada di bagian selatan Sulawesi Selatan membentang dari selatan (sebelah timur Pulau Selayar) ke utara melalui Bulukumba, Sinjai, Bone, Soppeng, Sidrap, Pinrang dan Majene - Mamuju dan berakhir di Selat Makassar. Sifat pergerakan adalah sinistral atau mengiri. Patahan Walanae merupakan percabangan dari lanjutan patahan Palu-Koro yang melalui Teluk Bone dan di ujung barat laut menerus hingga patahan Paternoster di Selat Makassar.
2. Patahan Palu-Koro memanjang dari utara (Palu) ke selatan (Malili) hingga teluk bone sepanjang ± 240 km. Bersifat sinistral dan aktif dengan kecepatan sekitar 25-30 mm/tahun (Kertapati, 2001 dan Permana, 2005). Patahan Palu-Koro berhubungan dengan patahan Matano-Sorong dan Lawanoppo-Kendari, sedang di ujung utara melalui Selat Makassar berpotongan dengan zona subduksi lempeng Laut Sulawesi.
3. Patahan Matano dan Lawanoppo berpotongan atau menyatu di ujung utara dengan patahan PaluKoro, yang mendapat energi dari perpanjangan patahan Sorong dan Tukang Besi di Laut Banda. Kedua patahan ini bersifat sinistral dan aktif, berhubungan dengan pembentukan danau Matano, Towuti dan beberapa depresi kecil lainnya.
4. Patahan Kolaka Dampak dari pada perkembangan tektonik Kuartar Laut Banda membentuk patahan geser Kolaka yang bersifat sinistral dan aktif. Patahan ini memanjang dari tenggara ke barat laut melalui Kolaka hingga

Teluk Bone memotong patahan Palu-koro (bawah laut) berlanjut ke kota Palopo ke arah puncak Palopo-Toraja.

5. Patahan Paternoster Patahan ini terbentang memanjang dari tenggara ke barat laut di Selat Makassar bersifat destrak (menganan) dan aktif. Patahan ini berhubungan dengan patahan Walanae di daratan Sulawesi. Pada bagian selatannya sejajar dengan patahan Flores Barat yang memotong patahan naik Selat Makassar yang juga sifatnya destrak.
6. Patahan Gorontalo terbentang melalui kota Gorontalo dari tenggara ke barat laut. Pembentukannya berhubungan dengan keaktifan subduksi lempeng Laut Sulawesi. Sifatnya destrak dan aktif.
7. Patahan Batui-Balantak terbentuk oleh pengaruh pergerakan lempeng Pasifik Barat ke barat melalui patahan Sorong dan Matano membentuk patahan naik yang aktif.
8. Subduksi lempeng Laut Sulawesi Terletak di laut Sulawesi sebelah utara Pulau Sulawesi memanjang dari barat ke timur. Subduksi lempeng ini menunjam masuk ke selatan di bawah Sulawesi Utara dan Gorontalo. Subduksi lempeng laut Sulawesi yang aktif diduga membentuk gunung api Una-una dan deretan gunungapi Manado-Sangihe.
9. Zona subduksi lempeng Laut Maluku terbentang di utara Sulawesi dari utara ke selatan di sebelah timur Manado. Lempeng Laut Maluku menunjam ke barat masuk di bawah busur Manado-Sangihe, berhubungan dengan vulkanisme dan gempa di kawasan ini.

II.2 Pengertian Tsunami

Tsunami berasal dari bahasa Jepang, dengan *tsu* = pelabuhan, *nami* = gelombang, secara harafiah berarti “ombak besar di pelabuhan” adalah perpindahan badan air yang di sebabkan oleh perubahan permukaan laut secara vertikal dengan tiba-tiba. Gelombang tsunami dapat merambat ke segala arah. Tenaga yang di kandung dalam gelombang tsunami adalah tetap terhadap fungsi ketinggian dan kelajuannya. Di laut dalam, gelombang tsunami dapat merambat dengan kecepatan 500-1000 km/jam. Istilah tsunami lebih tepatnya diartikan sebagai gelombang laut yang terjadi secara mendadak yang disebabkan karena terganggunya kestabilan air laut yang diakibatkan oleh gempa bumi tektonik (Wawanwae, 2011).

Berikut adalah persamaan perambatan gelombang tsunami yang dirumuskan oleh gangguan yang berasal dari lantai samudra. Gelombang massa air laut yang menjalar dari koordinat tempat terjadinya gangguan sampai ke garis pantai yang sangat dipengaruhi oleh kondisi *bathymetri* dasar samudra (Setyonegoro, 2011).

$$v = \sqrt{gh} \quad (2.1)$$

Keterangan :

v = Kecepatan gelombang (m/s)

g = Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

H = Ketinggian gelombang (m)

Propagasi gelombang tsunami akan memiliki puncak gelombang yang rendah di pusat gangguan (dalam hal ini gempa bumi) di tengah samudera, dan akan

mengalami kenaikan amplitude puncak gelombangnya saat mencapai daratan. Hal ini disebabkan penjalaran gelombang yang dipengaruhi oleh stuktur *bathymetri* dasar laut dari pusat gempa bumi ke daratan gambar II-2 (Setyonegoro, 2011)

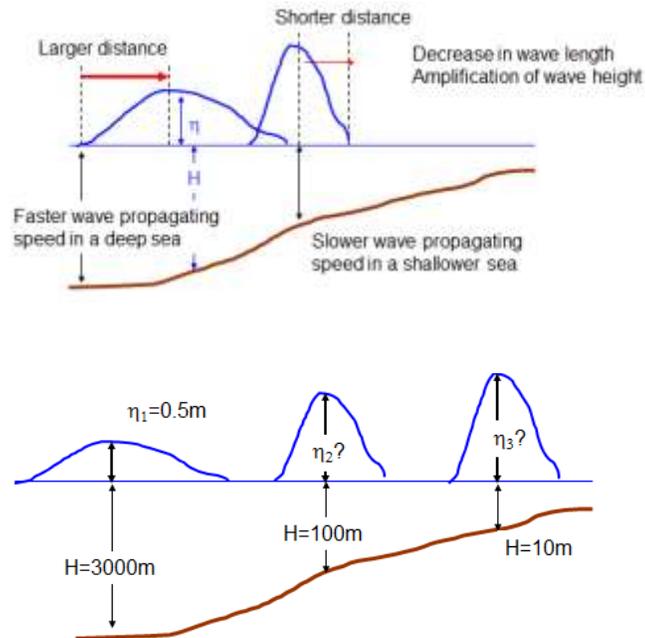
$$\eta H^{1/4} = const. \tag{2.2}$$

$$\eta = \eta_1 \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1/4} \tag{2.3}$$

Keterangan :

H: Kedalaman (m)

η : Tinggi gelombang (m)



Gambar II-2 Propagasi Gelombang Tsunami (Setyonegoro, 2011).

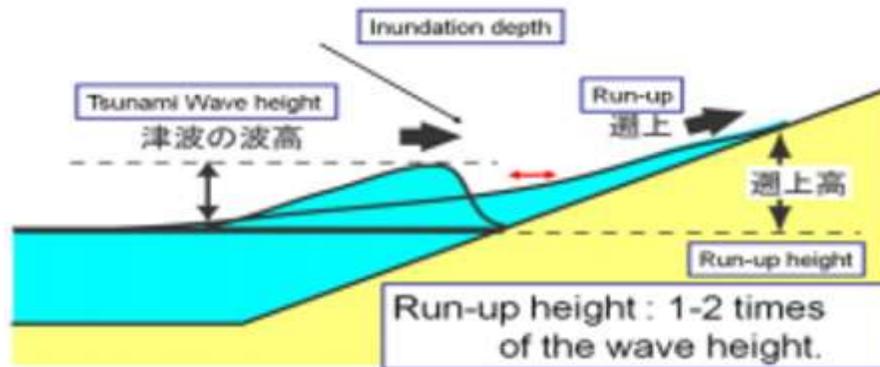
II.3 Gempa Pembangkit Tsunami

Secara umum karakteristik gempa yang dapat menimbulkan tsunami adalah sebagai berikut (Disaptono dan Budiman, 2006) :

1. Episenter (Pusat gempa) berada di laut
2. Kedalaman pusat gempa (hiposenter) adalah dangkal, pada umumnya kurang dari 60 km dari permukaan
3. Mekanisme patahan gempa tektonik bertipe sesar naik (*reverse fault*) atau sesar turun (*normal fault*)
4. Magnitudo gempa besar, pada umumnya di atas $M=7$ SR
5. Batimetri, kelandaian, dan bentuk dari pantai yang sesuai.
6. Gerakan vertikal ini dapat terjadi pada patahan bumi atau sesar ketika hal ini terjadi air laut akan berupaya untuk kembali pada kondisi seimbang mengikuti gravitasi. Sehingga gerakan ini akan menyebabkan terjadinya energi yang dapat mendorong gelombang laut naik secara vertikal dan memunculkan tsunami.

II.4 Parameter Gelombang Tsunami

Bencana tsunami biasanya dibangkitkan di perairan yang dalam kemudian menjalar ke perairan yang lebih dangkal. Saat telah memasuki perairan yang dangkal tsunami kemudian akan mengalami transformasi gelombang, sehingga akan menghasilkan beberapa parameter. Parameter-parameter akibat transformasi tersebut adalah:



Gambar II-3 Parameter Tsunami (Nakamura, 2006)

II.4.1 Tinggi Tsunami

Didefinisikan sebagai jarak vertikal antara puncak gelombang dengan titik nol muka laut (*mean sea level*) yang membesar pada saat tsunami menjalar dari pusat tsunami ke garis pantai. Tinggi tsunami akan mencapai nilai maksimum di pantai-pantai yang berbentuk seperti huruf U atau V, misalnya di teluk atau di muara sungai. Pantai yang terbentuk seperti pelabuhan, teluk atau muara sungai tergolong sebagai pantai yang rawan terhadap bencana tsunami

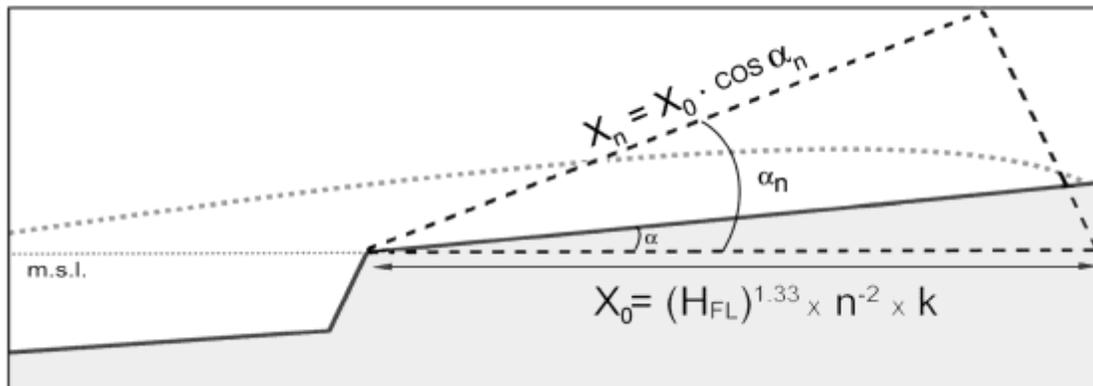
II.4.2 Run up Tsunami

Merupakan jarak vertikal antara ujung tsunami di pantai dengan titik nol muka laut atau mean sea level. Tinggi run up dan tinggi tsunami bergantung pada magnitude gempa, morfologi dasar laut, dan bentuk pantai. Limit atas run up merupakan parameter yang sangat penting untuk menentukan profil pantai.

II.4.3 Genangan (Inundation)

Inundasi atau genangan adalah hasil tsunami yang menempuh jarak jauh ke pedalaman dan merupakan pengukuran horizontal jalur tsunami. Genangan bisa terjadi hingga 300 meter atau lebih menutupi daerah dengan puing-puing. Saat tsunami tiba di garis pantai, gelombang pecah dan menjalar ke daratan. Efek tsunami ditentukan oleh beberapa faktor: tinggi gelombang Tsunami, tinggi *run-up* dan jarak *run-up*. Luasan inundasi bergantung pada struktur topografi daratan dekat pantai,

Gambar II-4



Gambar II-4 Estimasi perembesan daratan untuk sektor pesisir (Pignatelli et. al, 2009).

melalui perumusan inundasi berdasarkan *run-up* tsunami dihitung oleh Hills, J. G. & Mader, C. L. 1997, dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_{\max} = (H_s)^{1.33} n^{-2} k \cos S \quad (2.4)$$

Keterangan :

X_{\max} : Inundasi maksimum (m),

H_s : Run-up tsunami maksimum (m),

k : konstanta (0,06 selama bertahun-tahun tsunami)

S : Kemiringan Pantai

n : Koefisien Manning

Tabel II-1 nilai koefisien Manning/kekasaran (Berryman,2006)

Jenis Penggunaan/Penutupan lahan	Nilai Koefisien Manning
Badan Air	0,007
Belukar/Semak	0,040
Hutan	0 .070
Perkebunan	0.035
Lahan Kosong	0.015
Lahan pertanian	0.025
Pemukiman	0.045
Mangrove	0.025
Tambak/empang	0.010

II.5 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Tinggi Tsunami

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi ketinggian tsunami yakni (Natawidjaja, 2007) :

1. Bentuk Pantai atau Morfometri Pantai

Refraksi adalah transformasi gelombang akibat adanya perubahan geometri dasar laut. Di tempat dimana terjadi penyempitan maka akan terjadi

konsentrasi yang lebih, sehingga timbul gelombang di tempat itu akan membesar.

2. Kelandaian Pantai

Jarak jangkauan terjadinya tsunami ke daratan juga ditentukan oleh terjal dan landainya morfologi pantai dimana pada pantai terjal tsunami tak akan terlalu jauh mencapai daratan karena tertahan dan dipantulkan kembali oleh tebing pantai, sementara dipantai landai, tsunami menerjang sampai beberapa kilometer masuk ke daratan. Bila tsunami menjalar ke pantai maka ia akan mengalami perubahan kecepatan, tinggi dan arah, suatu proses yang sangat kompleks meliputi shoaling, refraksi, difraksi, dan lain-lain. *Shoaling* adalah proses pembesaran tinggi gelombang karena pendangkalan dasar laut. Gempa bumi biasanya terjadi di dekat pertemuan lempeng benua dan samudera di laut dalam, lalu menjalar ke pantai yang lebih dangkal. Aliran ini akan teramplifikasi ketika mendekati daratan akibat efek *shoaling*. Sedangkan difraksi merupakan perubahan gelombang akibat ada struktur penghalang atau bangunan. Ini terjadi bila gelombang terintangi sehingga dipantulkan kembali. Suatu bangunan tegak dan padat akan lebih mampu memecah daripada yang miring dan tembus air. Bangunan tembok laut (breakwater) seperti di Jepang, memang efektif menghalangi terjangan tsunami.

Tabel II.2 Indikator kelerengan pantai (Van Zuidam ,1983)

Satuan	Sudut (%)
Datar	0-2
Miring Landai	3-7
Miring	8-13
Miring Sedang	14-20
Miring Terjal	21-55
Miring Sangat Terjal	55-140
Pegunungan Miring sangat terjal	>140

3. Vegetasi Dan Struktur Penghalang Di Sekitar Pantai

Kekuatan hutan pantai meredam tsunami makin terbukti jika hutan semakin tebal, misalnya hutan dengan lebar 400 meter dihantam tsunami dengan ketinggian 3 meter maka jangkauan Run up tinggal 57%, tinggi genangan setelah melewati hutan pantai tersisa 18%, arus tinggal 2%.

4. Arah Gelombang Tsunami

Gelombang tsunami yang datang dengan arah tegak lurus dengan pantai tentu akan menyebabkan tinggi gelombang tsunami lebih tinggi jika dibandingkan tinggi gelombang tsunami dengan arah sejajar atau dengan sudut tertentu. Seperti datang dari arah barat, timur, barat daya ataupun dari arah tenggara.

5. Efek Pemantulan Dari Pulau Lain

Gelombang tsunami yang terjadi tidak langsung berasal dari sumbernya, akan tetapi terjadi karena akibat adanya pemantulan gelombang dari sekitar pulau yang terkena dampak gelombang tsunami.

II.6 Metode Pendekatan Numerik Pemodelan Tsunami

II.6.1 Teori Perairan Dangkal

Tsunami yang disebabkan oleh pergerakan vertikal dasar laut akibat gempa bumi didekati dengan teori gelombang perairan dangkal, yaitu bahwa kedalaman perairan relatif pendek dibandingkan dengan panjang gelombangnya. Teori ini mengabaikan percepatan partikel air arah vertikal karena nilainya lebih kecil dari percepatan gravitasi, akibatnya gerakan vertikal partikel air tidak berpengaruh pada distribusi tekanan. Berdasarkan pendekatan ini maka didapat persamaan konservasi massa dan momentum dalam tiga dimensi, seperti berikut (Nakamura , 2006)

Berdasarkan persamaan ini memberikan hubungan antara momentum masa gelombang air *bathymetri* di dasar samudera terhadap ketinggian gelombang dari

mean sea level. Berdasarkan pendekatan ini maka didapat persamaan konservasi massa dan momentum dalam tiga dimensi, seperti berikut (Nakamura , 2006) :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right)\right) \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right)\right) \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = -g, \text{ maka dapat di tulis}$$

$$\partial P = \rho g \partial z, \text{ dapat di tulis}$$

$$P = \rho g h \quad (2.8)$$

Keterangan :

g : percepatan gravitasi (9.8 m/s²)

t : waktu (s)

u, v, w : kecepatan partikel air arah sumbu x, y, z (m/s)

x dan y : sumbu horizontal

z : sumbu vertikal

η : perubahan vertikal permukaan air (m)

P : tekanan (Pa)

ρ : massa jenis air (kg/m³)

h : ketinggian gelombang diukur dari MSL (m)

Persamaan (2.5) diatas menunjukkan bahwa perubahan vertikal permukaan air ekuivalen terhadap perubahan kecepatan partikel air arah sumbu x y dan z. Perubahan

kecepatan partikel air arah sumbu x terhadap waktu ekuivalen terhadap suku aliran/adveksi, suku gradien tekanan dan suku gesekan, yang dapat dilihat pada persamaan (2.6). Hal ini juga berlaku pada perubahan kecepatan partikel air arah sumbu y yang dapat dilihat pada persamaan (2.7) dengan dua kondisi batas, yaitu kondisi batas dinamis dan kinetik permukaan dan bawah. Hal tersebut dapat diekspresikan dengan persamaan sebagai berikut (Nakamura , 2006):

$$P = 0 \quad \text{di } z = \eta \quad (2.9)$$

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad \text{di } z = \eta \quad (2.10)$$

$$w = -\left(u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \quad \text{di } z = \eta \quad (2.11)$$

Dengan kondisi dinamis dan kinetik persamaan (2.9) sampai dengan (2.11), didapat persamaan dua dimensi yang disebut dengan persamaan gelombang Tsunami perairan dangkal , maka persamaan (2.5) sampai (2.7) yaitu (Nakamura , 2006) :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2.14)$$

Keterangan :

g : Percepatan gravitasi (9.8 m/s²)

x, y : Sumbu Horizontal

t : Waktu (s)

M, N : fluks debit dalam arah x dan y (m³/s)

D : perpindahan vertikal permukaan air di atas permukaan air (m)

Jika η/h mendekati nol, maka pengaruh non linear dapat diabaikan maka persamaan

2.13 dan persamaan 2.14 di reduksi menjadi

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (2.16)$$

Keterangan :

h : perpindahan vertikal permukaan air di atas permukaan laut

D : Total kedalam laut

g : Percepatan gravitasi

x, y : arah horisontal

t : Waktu

M, N : fluks debit dalam arah x dan y

II.7 Deformasi Bawah Laut

Pemodelan sumber tsunami yang ditimbulkan oleh deformasi dasar laut akibat gempa menggunakan metode Mansinha dan Smylie (1971) dengan masukan parameter gempa. Parameter gempa berupa patahan dalam hubungannya terhadap pembentukan

tsunami terdiri dari : momen seismik (M_o), lokasi dan kedalaman pusat gempa (episentrum dan hiposentrum), panjang patahan (L), lebar patahan (W), dislokasi (D), dan geometri sesar (*Dip, Strike, Slip*). *Dip* (δ) adalah sudut yang menjelaskan kemiringan dari permukaan patahan. *Strike* (θ) merupakan sudut yang digunakan untuk menjelaskan patahan dan dihitung searah jarum jam dari utara, sedangkan *Slip* (λ) adalah parameter yang menjelaskan pergerakan dari satu sisi ke sisi lainnya. dilakukan analisis deformasi permukaan untuk mengetahui besarnya *slip / displacement* (m) yang terjadi akibat gempa tersebut. Deformasi yang terjadi direpresentasikan sebagai besar *slip* yang dapat dihitung dari momen seismik. Momen seismik merupakan besaran yang diukur secara langsung yang menunjukkan besar energi yang dilepaskan pada saat terjadinya gempa (Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. 1994).

$$D = \frac{M_o}{\mu A} \quad (2.17)$$

Keterangan :

M_o = Momen seismik (Nm)

μ = modulus rigiditas kerak bumi (N/m^2)

A = Luasan sesar (Km^2)

D = *Slip* atau *displacement* (meter)

Dilakukan scaling laws melalui persamaan wells and copper smith untuk mencari nilai slip (m) dan luasan fault (m^2) dari nilai magnitudo (M_w) yang diketahui (Hanks, Thomas C., Kanamori, H. 1979).

$$\text{Log } M_0 = (6,08 + M_w) * 3/2 \quad (2.18)$$

Keterangan :

M_0 = momen seismik (Nm)

M_w = magnitudo momen (SR)

Untuk panjang dan lebar dari deformasi dapat ditentukan dari daerah distribusi gempa bumi utama (*mainshock*), gempa-gempa kecil sebelum gempa bumi utama (*foreshock*), dan gempa-gempa susulan (*aftershock*). Magnitude dari *foreshock* dan *aftershock* selalu lebih kecil dari *mainshock*. Secara empiris panjang, lebar dan panjang dari sesar dapat ditentukan dengan melakukan kalkulasi berdasarkan persamaan Papazachos, B. C., Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B., and Karakaisis, G.F., 2004 sebagai berikut :

a) Panjang patahan (L)

$$\text{Log } L = 0.55 M_w - 2.19 \quad (2.19)$$

b) Lebar Patahan(W)

$$\text{Log } W = 0.31 M_w - 0.63 \quad (2.20)$$

$$A = L \times W \quad (2.21)$$

Keterangan :

L = Panjang patahan

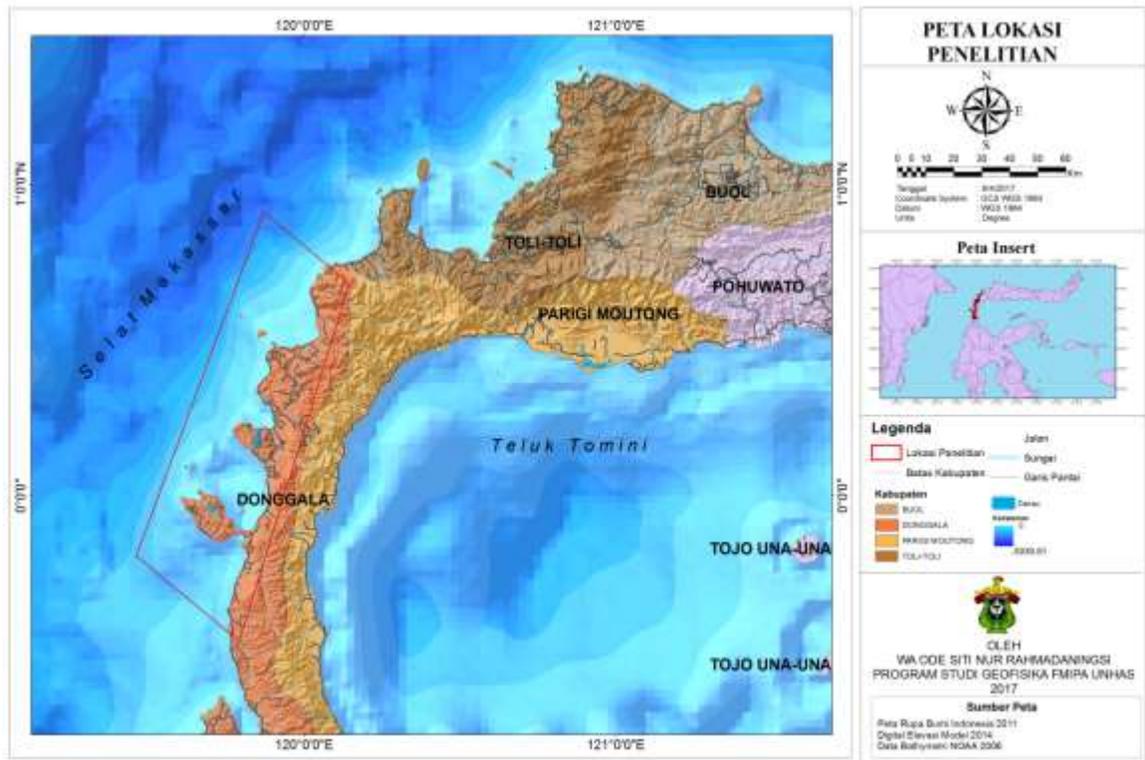
W = Lebar patahan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada koordinat 0.35° N- 0.704° S sampai $(119.76^{\circ}$ - $119.99^{\circ})$ E wilayah pantai barat Donggala Utara



Gambar III-1 Lokasi Penelitian

III.2 Bahan dan Peralatan Pengolahan Data

III.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Data mekanisme fokus gempa bumi Toli-Toli tanggal 1 Januari 1996 yang diperoleh dari katalog gempa bumi GCMT.
2. Data Batimetri Etopo 2 yang diperoleh dari http://www.blumarblegeo.com/Products/global-mapper-formats_elevation.php
3. Data SRTM resolusi 30 meter (*NASA Shuttle Radar Topographic Mission*) yang menampilkan peta elevasi digital
4. Data penutupan lahan tahun 1996
http://geoportal.menlhk.go.id/arcgis/rest/services/KLHK/Penutupan_Lahan_Tahun_1996/MapServer?f=nmf

III.2.2 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam proses pengolahan data:

1. Software Tsunami L-2008 yang dikembangkan oleh Nakamura,2006.
2. ArcGIS 10.1 (Lisensi FMIPA UNHAS)
3. Microsoft Excel 2013
4. Geodas NASA
5. Origin 8
6. Matlab 2015b

III.3 Metode Penelitian

Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari katalog GCMT, merupakan data episenter gempa bumi utama. Pemodelan Tsunami Dimulai dengan menentukan skenario episenter gempa Toli-Toli tahun 1996 berdasarkan gempa bumi utama pada 0.60°N , 119.92°E . Kemudian menghimpun data batimetri online melalui NOAA, di wilayah dengan panjang koordinat 2°LU - 2°LS sampai 118° - 112°BT dengan 7.9 SR dan kedalaman 15 km serta mendownload data batimetri etopo 2 di <http://www.blumarblegeo.com/products/global-mapper-formats-elevation.php>

III.3.1 Metode Pengolahan Data

III.3.1.1 Pemodelan Tsunami

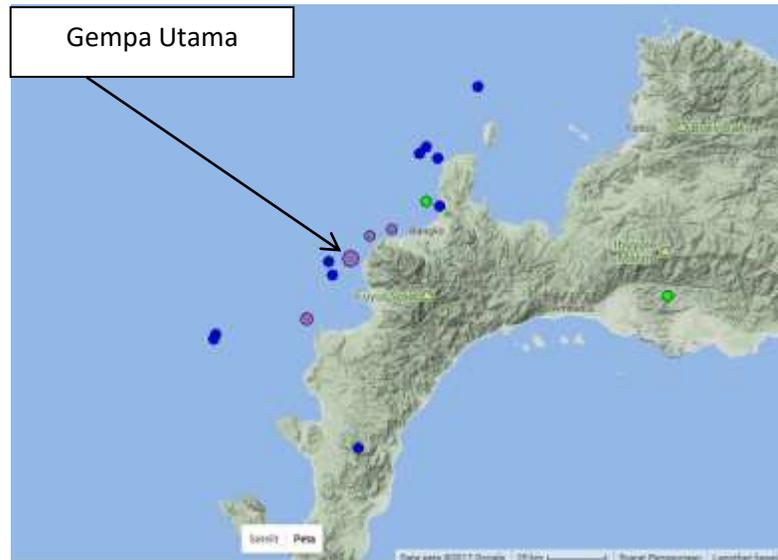
III.3.1.1.1 Desain sumber tsunami (*Source Modelling*)

Profil awal sumber tsunami dapat diperoleh dengan menganggapnya sebagai deformasi dasar laut dengan parameter patahan yang ditentukan berdasarkan data solusi mekanisme sumber gempa. penelitian ini akan dilakukan simulasi Tsunami yang dibangkitkan oleh gempa bumi Toli-Toli 1 Januari 1996. Penentuan *source parameter* di dasarkan pada data mekanisme sumber gempa yang diperoleh dari katalog *Global CMT*. Rincian parameter dan mekanisme gempa bumi Toli-Toli (1996) dapat dilihat dengan menggunakan Magnitudo gempa sebesar 7.9 Mw. Pada Tabel III.1

Tabel III-1 Parameter Mekanisme Sumber Gempa

Parameter		GCMT
<i>Depth</i>		15.4
NP 1	<i>Strike</i>	36
	<i>Dip</i>	6
	<i>Rike</i>	54
NP 2	<i>Strike</i>	252
	<i>Dip</i>	85
	<i>Rike</i>	94
Mw		7.9
<i>Origin Time</i>		8:05:11
Jenis Patahan		
Koordinat	<i>Latitude</i>	0.74
	<i>longitude</i>	119.93

Panjang dan lebar patahan dapat di tentukan dari daerah distribusi gempa utama (*main shock*), gempa-gempa kecil sebelum gempa utama (*fore shock*) dan gempa-gempa susulan (*after shock*). Gambar episenter gempa sebelum dan sesudah gempa utama dapat di lihat pada gambar III.1



Gambar III.2 Episentris Gempa Bumi Utama, Sebelum dan Sesudah (IRIS, 2017) .

Secara empiris panjang dan lebar patahan dapat di tentukan dengan Scaling law dari Papazachos 2004 sebagai berikut:

Luasan Repture berdasarkan persamaan an Papazachos et. Al (2004)

$$\text{Log } L = 0.55 M_w - 2.19 \quad (3.3)$$

$$\text{Log } W = 0.31 M_w - 0.63 \quad (3.4)$$

Menghitung luas patahan

$$A = L \times W \quad (3.5)$$

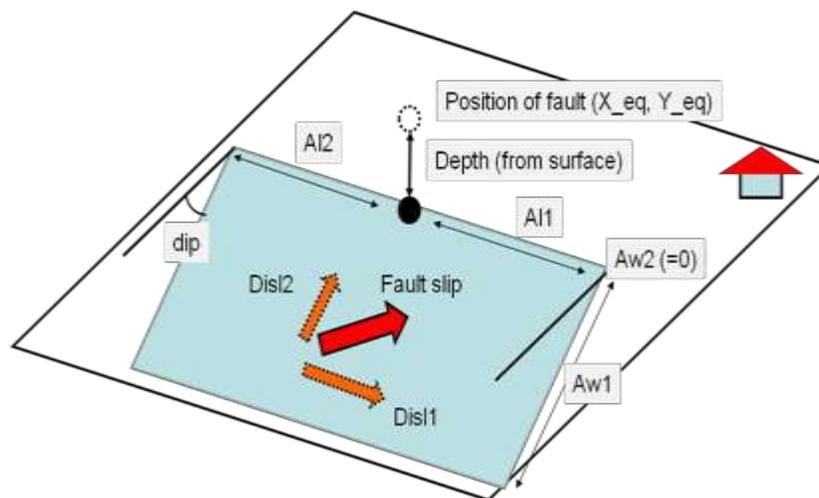
Momen seismik (M_0) berdasarkan berdasarkan persamaan Hanks, Thomas C and Kanamori, H. (1979).

$$\text{Log } M_0 = (6,08 + M_w) * 3/2 \quad (3.6)$$

Besar Slip atau perpindahan badan air berdasarkan berdasarkan persamaan Well and Copper Smith (1994)

$$S = \frac{M_0}{\mu A} \quad (3.7)$$

Setting parameter dalam model Nakamura seperti terlihat pada gambar III.2 memperlihatkan panjang A_{11} (km) dan A_{12} (km) merupakan panjang patahan, A_{w1} merupakan lebar patahan. Posisi patahan X_{eq} merupakan letak bujur dan Y_{eq} merupakan letak lintang dari epicenter sedangkan Z_{eq} merupakan depth (kedalaman), pada gambar III.2 memperlihatkan bahwa arah strike atau dislokasi sejajar dengan garis pantai. Hasil perhitungan scaling law menggunakan pendekatan empiris dipakai sebagai masukan dalam source modeling dengan memperhatikan setting parameter yang berlaku di model Nakamura. Output dari *Source Modeling* berupa vertikal *displacement* yaitu deformasi yang terjadi di dasar laut



Gambar III-3 Setting Parameter Untuk *Source Modeling*

III.3.1.1.2 Penjalaran Gelombang Tsunami (*Ocean Modelling*)

Data yang di butuhkan dalam *ocean modeling* adalah *source modelling* dan data batimetri daerah penelitian. Pada *ocean modelling* ini, parameter simulasi yang menjadi *input software* tsunami L-2008 adalah

1. *Max Time*, merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi, dimana dalam penelitian ini *Max Time* yang digunakan adalah 3600 detik dengan asumsi tipe tsunami di Indonesia merupakan near field tsunami.
2. *Data Save Interval* diisi 20 maka output yang dihasilkan adalah 1 output untuk setiap 20 detik. Kemudian, klik “Save CSV, Save BMP dan Time” semua dicentang (✓). Lalu, klik “TSUNAMI”, maka program akan berjalan (*running*).
3. Setelah program selesai *dirunning*, maka tutup semua program kembali ke menu utama seperti (form1) dan simpan hasil *running*, berupa *result 1*, *result 2*, dan seterusnya dengan format 1:2:181, yang berarti hasil *output* akan tersimpan mulai dari *result 1*, interval yang diinginkan tiap gambar, dan jumlah yang akan disimpan.

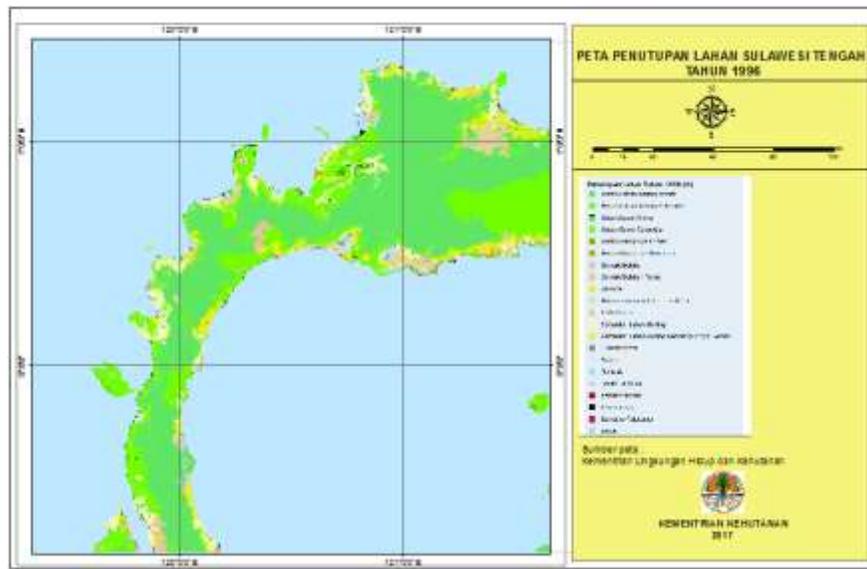
III.3.1.1.3 Run Up Modelling

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan ketinggian tsunami (*run up modelling*), dimana pada *run up modeling* ini dilakukan digitasi pada daerah-daerah yang telah ditentukan, untuk diketahui nilai *run up nya*. Dalam penelitian ini daerah-daerah yang

dilakukan digitasi untuk pemodelan *run up* tsunami adalah desa-desa yang letaknya di pantai barat donggala Utara .

III.3.1.1.4 Simulasi Inundasi Area Terdampak

Setelah dilakukan *run up modeling*, maka dilakukan analisis inundasi untuk area terdampak tsunami wilayah Donggala Utara menggunakan data SRTM resolusi 30 meter dan data penutupan lahan 1996 dapat dilihat pada gambar III.3 dengan menggunakan Arcgis 10.1.



Gambar III-4 Peta Tutupan lahan tahun 1996

Analisis inundasi dilakukan dengan menggunakan perumusan inundasi berdasarkan *run up* tsunami dihitung oleh Hills, J. G. & Mader, C. L. 1997, dengan persamaan sbb. :

$$X_{max} = (H_s)^{1,33} \times n^{-2} \times k \cos S \quad (3.1)$$

dimana :

X_{max} : Inundasi maksimum (m),

H_s : Run-up tsunami maksimum (m),

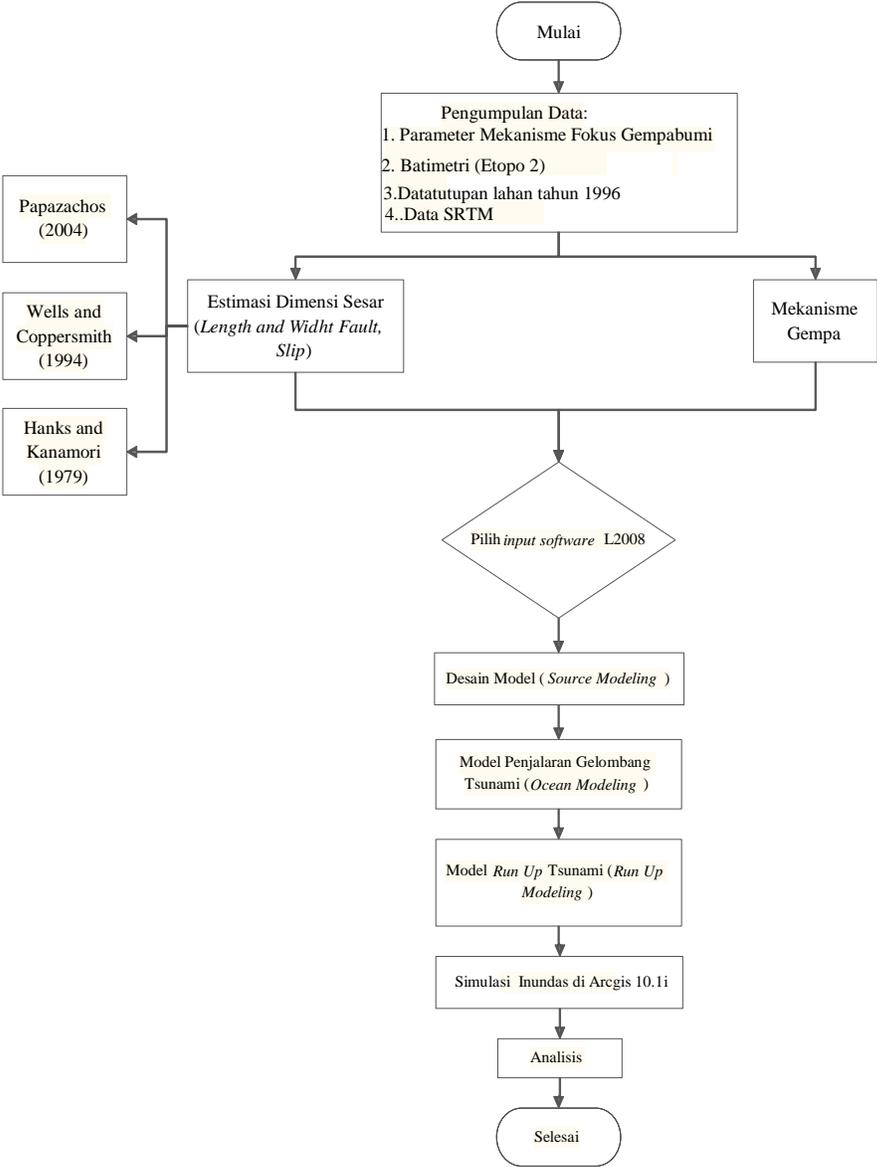
k : konstanta (0,06 selama bertahun-tsunami),

n : Koefisien Manning

Tabel III-2 nilai koefisien Manning/kekasaran (Berryman,2006)

Jenis Penggunaan/Penutupan lahan	Nilai Koefisien Manning
Badan Air	0.007
Belukar/Semak	0.040
Hutan	0.070
Perkebunan	0.035
Lahan Kosong	0.015
Lahan pertanian	0.025
Pemukiman	0.045
Mangrove	0.025
Tambak/empang	0.010

III.4 Bagan Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Analisa Desain Model Sumber Tsunami (*Source Modelling*)

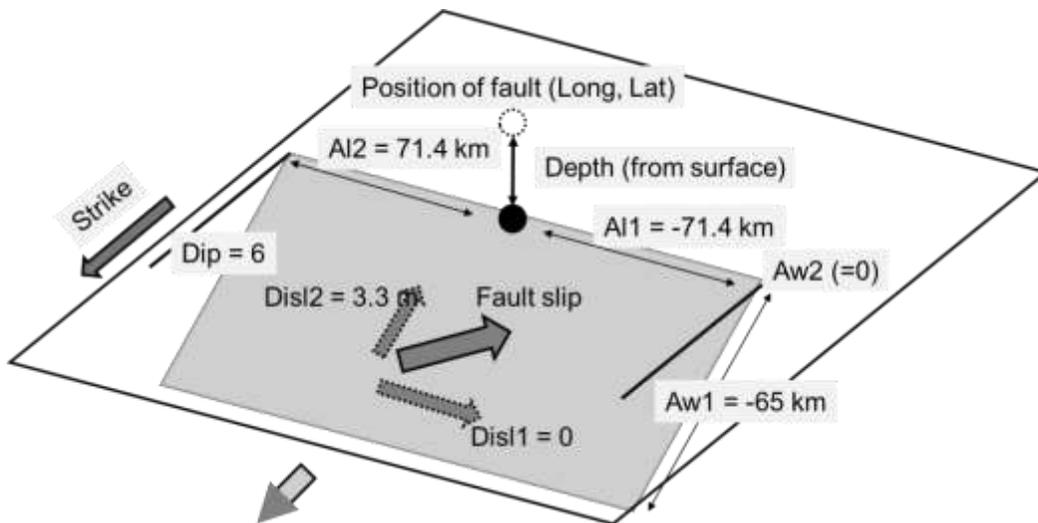
Pada pemodelan sumber tsunami, Input parameter yang dibutuhkan untuk desain sumber tsunami (*source modelling*) berupa dimensi *fault* (panjang dan lebar) serta slip diperoleh berdasarkan perhitungan empiris menggunakan persamaan Papazachos et. al (2004) untuk menghitung luasan Rupture, Wells and Coppersmith (1994) untuk Momen seismik, dan Hanks and Kanamori (1997) untuk menghitung besar nilai slip. Skenario pemodelan tsunami disesuaikan *inputnya* dengan mengikuti kaidah hubungan luasan fault (A) dengan jalur batas lempeng (*plate boundary*). Melalui persamaan 2.18 (Hanks, Thomas C., Kanamori, H. 1979), dapat dilakukan penyesuaian luasan fault pada input model dengan melakukan penyesuaian pada parameter lainnya slip (m). Sehingga hubungan luasan dan slip yang berbanding lurus dan tidak mempengaruhi nilai moment magnitude (Mo).

Table IV-1 Pendekatan Empiris dengan Scaling law

Mw	L (km)	W (km)	A(km ²)	A (m ²)	Mo (Nm)	μ(N/m ²)	S(m)
7.9	142.8894	65.91739	9.42E+03	9.42E+09	9.33254E+20	3.00E+10	3.30E+00

Seting parameter sumber tsunamipada gambar IV.2, dalam penelitian ini gempa dengan besar 7.9 Mw diperoleh panjang dan lebar *fault* sekitar 142.8894 km x 65.91739 km, magnetudo seismik (Mo) sebesar $9.3 \cdot 10^{20}$ Nm, regiditas batuan (μ)

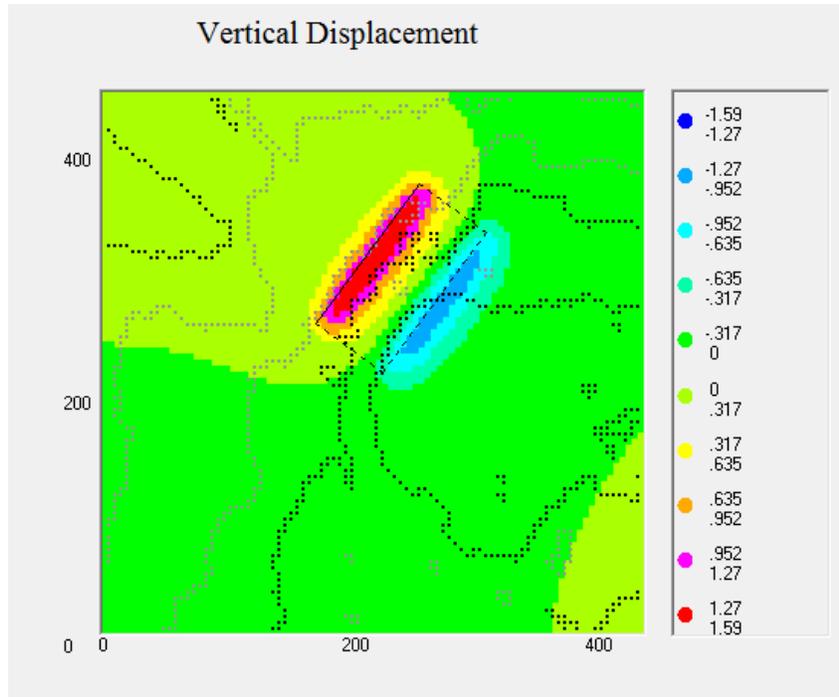
sebesar 3×10^{10} Dengan demikian diperoleh luas *fault* sebesar $9.42 \times 10^3 \text{ km}^2$ atau $9.42 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ N/m}^2$ dengan besarslip sebesar 3.3 m. Dapat dilihat pada table IV.1



Gambar IV-1 Setting Parameter Untuk *Source Modeling*

permukaan sesar dapat mempunyai keadaan yang berbeda dan demikian pula gerakannya dapat mempunyai arah yang berlainan sepanjang permukaannya disebabkan oleh gesekan dasar yang dialami secara vertical. Setting parameter dalam model Nakamura seperti terlihat pada gambar IV.2 memperlihatkan panjang Al1 (km) dan Al2 (km) merupakan panjang patahan, Aw1 merupakan lebar patahan. Posisi patahan X_{eq} merupakan letak bujur dan Y_{eq} merupakan letak lintang dari epicenter sedangkan Z_{eq} merupakan depth (kedalaman), pada gambar IV.2 memperlihatkan bahwa arah strike atau dislokasi sejajar dengan garis pantai. Hasil perhitungan scaling law menggunakan pendekatan empiris dipakai sebagai masukan

dalam source modeling dengan memperhatikan setting parameter yang berlaku di model Nakamura. Output dari *Source Modeling* berupa vertikal *displacement* yaitu deformasi yang terjadi di dasar laut



Gambar IV-2 *Vertical Displacement* dari hasil perhitungan pemodelan

Hasil dari desain model (*source modelling*) berupa *vertical displacement*, yang menunjukkan deformasi yang terjadi di dasar laut. Dimana pergerakan yang terjadi di kerak samudera dasar laut ini diikuti oleh pergeseran permukaan air laut yang mengikuti gerakan deformasinya. Hasil *source modelling* ditunjukkan pada Gambar IV.2 yang menggambarkan variasi nilai *maximum vertical displacement* untuk *event* ini adalah 1.59 meter dan nilai *minimum vertical displacement* sebesar -1.59 m. Dari nilai (+) *maximum vertical displacement* menunjukkan terjadinya pergerakan vertikal

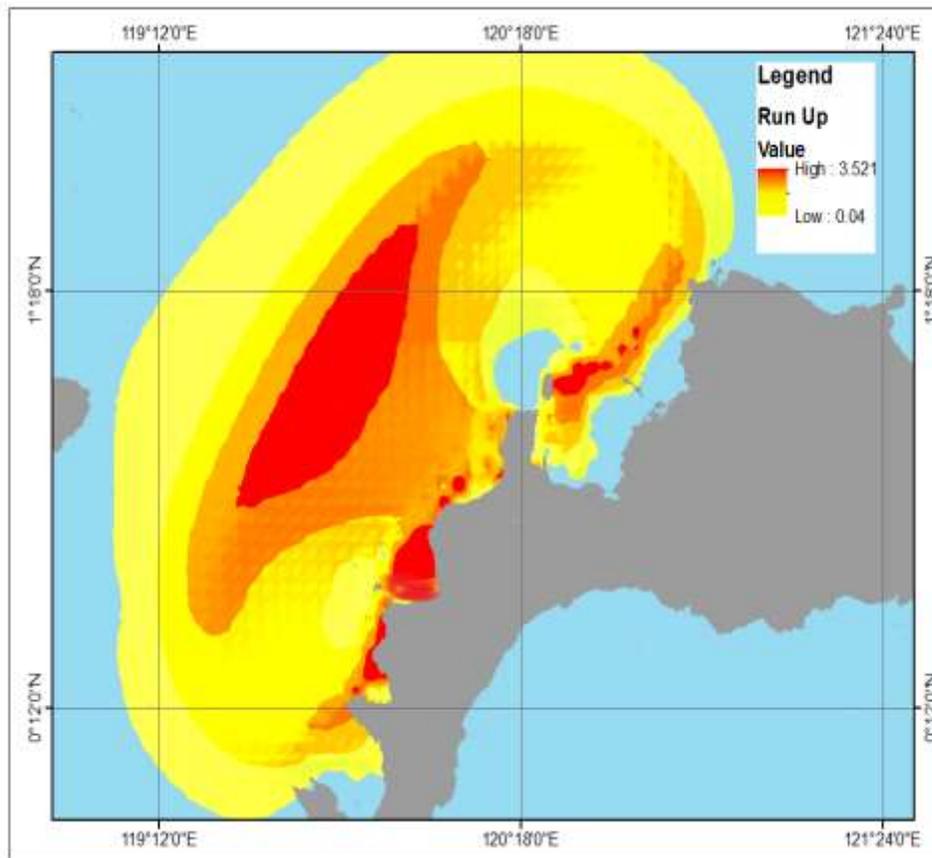
lantai samudera naik, sedangkan untuk nilai (-) *minimum vertical displacement* menunjukkan terjadinya pergerakan vertikal lantai samudera turun.

Hal ini dapat dipahami, sebab pergerakan vertikal lantai samudera dapat menyebabkan perubahan massa air diatas lantai samudra yang bergerak tersebut. Jika lantai samudra naik (uplift) atau turun dengan cepat sebagai respon terhadap gempa bumi, maka akan menaikkan dan menurunkan air laut dalam skala besar, mulai dari lantai samudra sampai permukaan. Dengan kata lain, apa yang terjadi di dasar akan dicerminkan di permukaan laut.

Besar kecilnya nilai *strike* memiliki hubungan dengan arah patahan (*fault*). ketika Stike ini mengarah pada daerah yang morfologinya lebih dangkal maka nilai gelombang tsunami semakin tinggi, sedangkan apabila arah *strike* ini mengarah pada daerah yang morfologi dasar lautnya dalam maka tinggi gelombang tsunami kecil.

IV.2 Analisa Penjalaran Gelombang (*Ocean Modeling*)

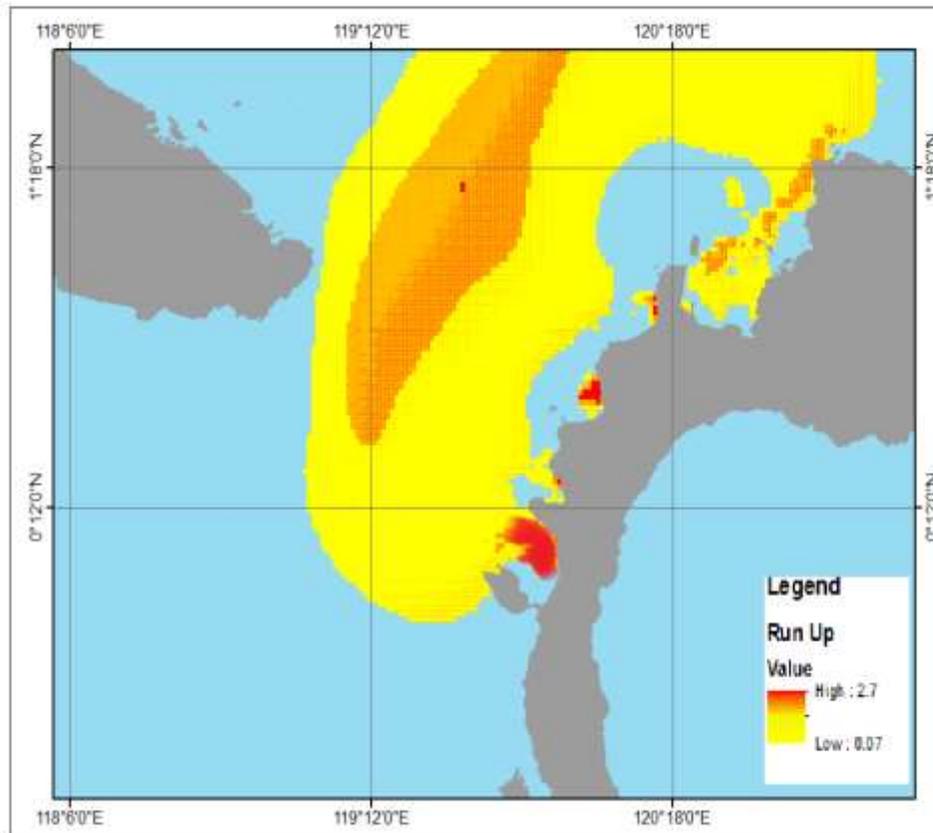
Hasil analisa penjalaran gelombang (*ocean modeling*) menunjukkan gelombang tsunami menjalar dari sumber gempa ke segala arah karena adanya dislokasi atau pergeseran kulit bumi dibawah laut sering menyebabkan energi potensial maupun energy kinetik air. Energi potensial dan kinetik tersebut kemudian menyebar kesegalah arah ke seluruh bagian dari zona air sehingga memindahkan massa air di atasnya. Massa air tersebut bergerak ke segala arah dan menimbulkan Tsunami .
Output dalam *ocean modelling* menggambarkan propagasi gelombang tsunami hingga waktu maksimum yang telah ditentukan sebelumnya yaitu 36000 detik



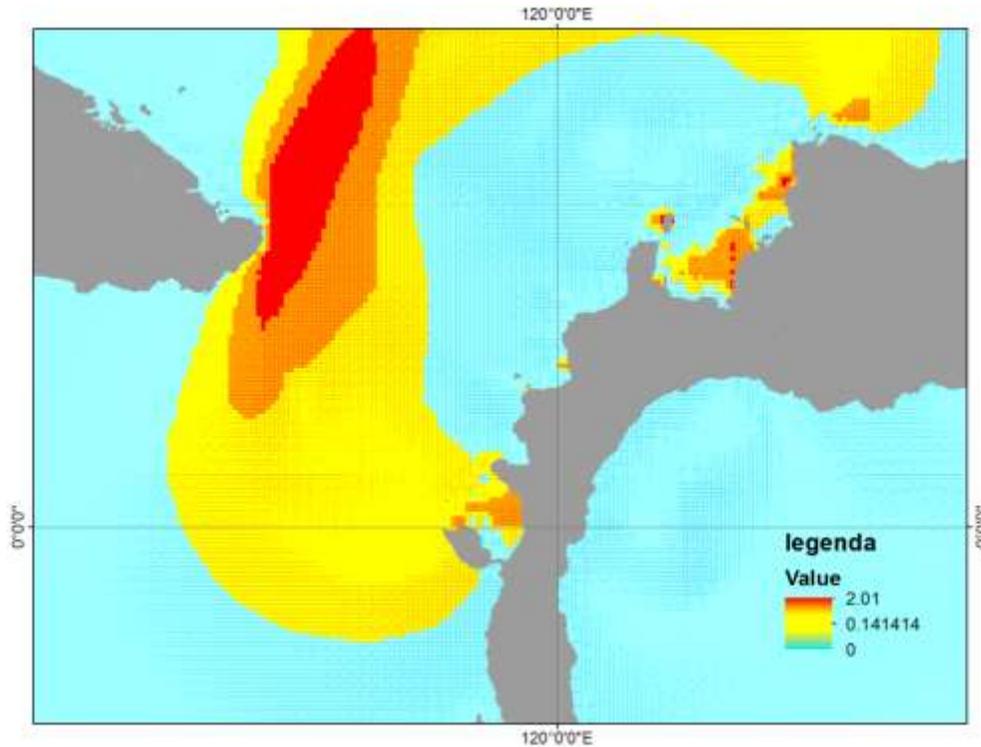
Gambar IV-3 Penjalaran gelombang Tsunami menit ke 5 lewat 20 detik

Data hasil dari *ocean modelling* di simpan pada propagasi wave form untuk setiap menit, sehingga dapat di ketahui waktu tiba gelombang tsunami untuk setiap wilayah. Hasil penelitian menunjukkan arahpenjalaran gelombang tsunami mengarah ke timur, Barat daya maupun tenggara, mulai memasuki kabupaten donggala Utara pada pesisir pantai barat dengan arah penjalaran tsunami mengarah ke timur pada pada menit ke 05 lewat 20 detik memasuki desa Balukang, Desa Tonggolobibi, desa Taipah, desa pangalaseang dan lembah Mukti dalm penjalaran ke wilayah tsunami mengalami refleksi atau pemantulan karena memasuki wilayah teluk, tinggi tsunami

semakin tinggi saat mendekati garis pantai disebabkan penjalaran tsunami mengalami proses pendangkalan dapat di lihat pada gambar IV.3.

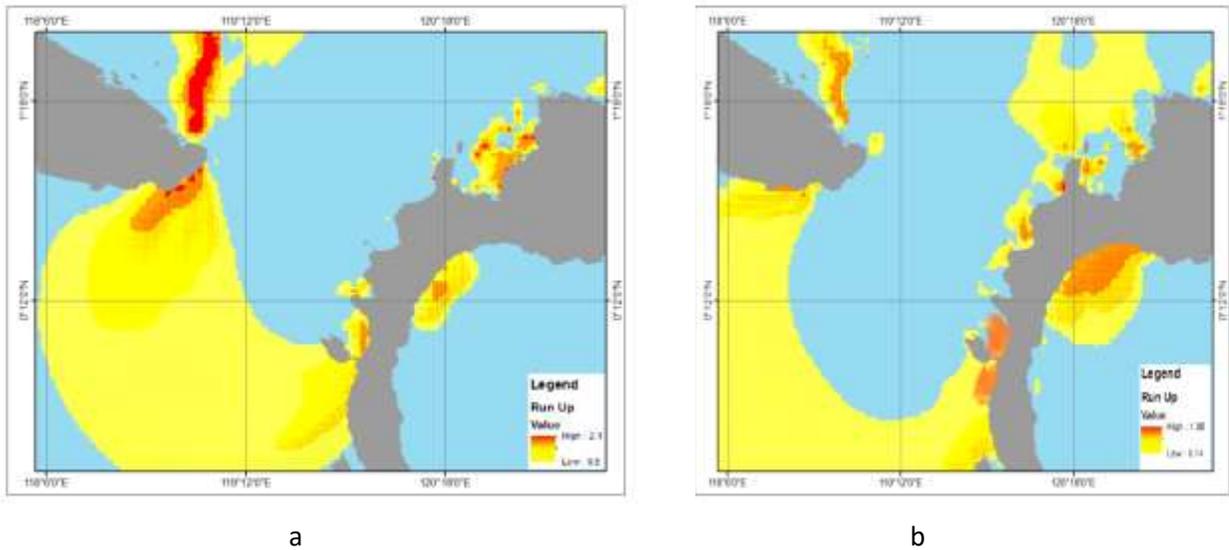


Gambar IV-4 Penjalaran gelombang Tsunami menit ke 7 lewat 20 detik hingga menit ke 07.20 dapat di lihat pada gambar IV.4 memasuki Ponggerang dan Talaga, dan desa sioyong dan sabang, sama halnya pada menit ke 6 tsunami mengalami proses refleksi atau pemantulan gelombang karena memasuki area teluk.



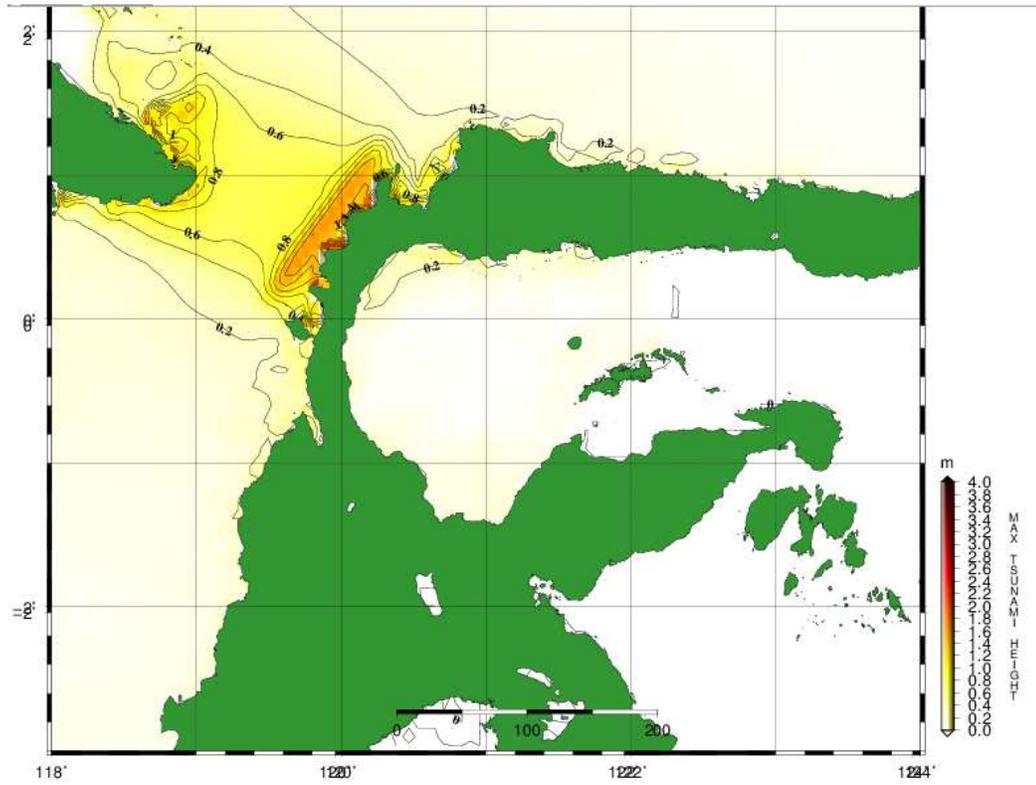
Gambar IV-5 Penjalaran gelombang Tsunami menit ke 11

pada menit ke 11.00 gelombang tsunami menjalar ke arah barat laut mengalami proses difraksi sehingga masuk pesisir pantai Kalimantan timur dan sebagian pesisir pantai di Desa sekitar teluk tambu dapat di lihat pada gambar IV.5. Pada menit ke 18.00 dan 28.00 gelombang tsunami mulai mejalar memasuki seluruh desa di pesisir sekitar teluk Tambu dan Wilayah Donggala Utara bagian bawah dekat kota Palu dapat di lihat pada gambar IV.6

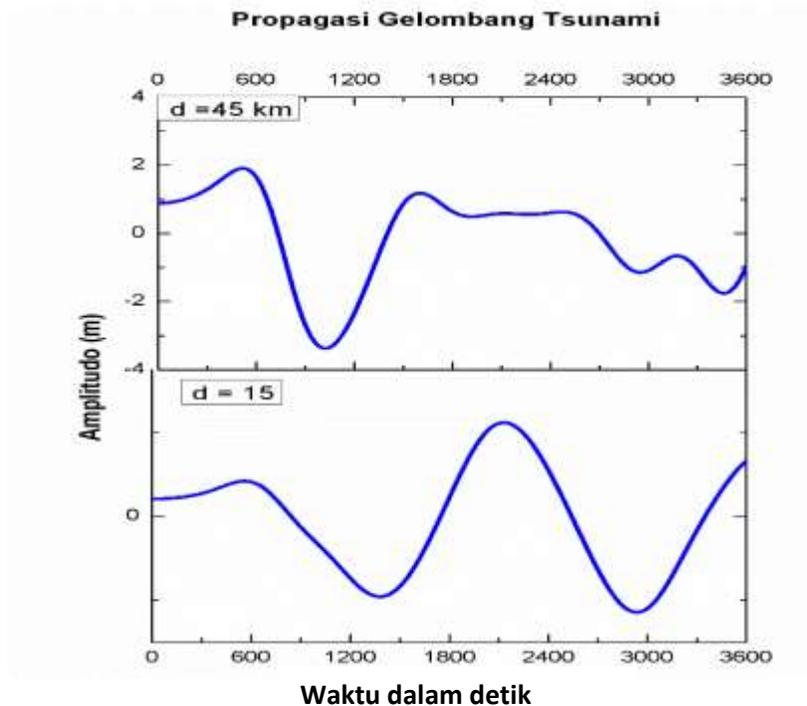


Gambar IV-6 a Penjalaran gelombang Tsunami menit ke 18 dan b menit ke 28

Adanya perbedaan waktu dalam penjalaran gelombang tsunami ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kondisi batimetri bawah permukaan laut wilayah persebaran tsunami yang berbeda-beda dan tingkat kelandaian pantai. Pada gambar IV.7 disajikan model penjalaran gelombang tsunami Toli-Toli setelah mencapai waktu maksimum. Berdasarkan model penjalarnya setelah mencapai waktu maksimum dapat dilihat bahwa daerah Tonggolobibi, Taipah dan Sibolang memiliki run-up tertinggi di dibandingkan wilayah sekitarnya. Berdasarkan kedalamannya tsunami akan semakin cepat menjalar ketika menjalar ke laut dalam dan kecepatannya akan berkurang ketika melewati perairan dangkal sehingga waktu tempuhnya akan semakin cepat pula, dan Amplitudonya akan semakin besar, hal ini sesuai dengan perumusan kecepatan gelombang pada laut dangkal. Grafik hubungan antara Amplitudo dan waktuh tempuh gelombang tsunami pada ke dalaman yang berbeda dapat dilihat pada gambar IV.8



Gambar IV-7 Model penjaralan gelombang tsunami Toli-Toli 1996 saat mencapai waktu maksimum



Gambar IV-8 Propagasi penjalaran Tsunami berdasarkan kedalaman

IV.3 Analisa Pemodelan *Run Up* (*Run Up Modeling*)

Hasil bentuk pemodelan tinggi run up tsunami (*Run Up Modeling*) pada gempa Toli-Toli 1 Januari 1996 yang dilakukan dengan mendigitasi lokasi yang telah ditentukan yaitu sepanjang pesisir pantai barat Wilayah Donggala utara. Kenaikan run up tsunami ketika mencapai dasar laut yang lebih dangkal atau dalam penjarannya tsunami akan mengalami pendangkalan atau *Shoaling* maka run up tsunami akan semakin besar. Besar Run up tsunami untuk setiap wilayah dapat dilihat pada table IV.2 di mana dalam hal ini run-up tsunami terdapat pada setiap desa di pesisir pantai barat Donggala Utara.

Tabel IV-2 Hasil Distribusi run up dari pemodelan Sumber Tsunami

Longitude	Latitude	H	Titik
120.2374	0.895056	1.98	Simuntu
120.2449	0.820917	2.77	Dongko
120.2044	0.773473	2.1	Soni
120.0367	0.585327	2.7	Balukang
120.0494	0.520936	2.1	Siwalempu
120.0354	0.502564	3.12	Siboang
120.0032	0.482956	2.39	Taipah 3
119.9978	0.48295	3.36	Taipah 2
119.9976	0.482281	3.24	Taipah 1
119.9917	0.481658	2.71	Taipah (river Mouth)
119.9781	0.480986	3.52	desa Tonggolobibi 3
119.9759	0.475939	3.21	desa Tonggolobibi 2
119.9578	0.475631	2.74	desa Tonggolobibi 1
119.9478	0.474539	2.78	Limbosu
119.9311	0.479928	2.72	desa Pangalaseang 2
119.9071	0.480939	2.39	desa Pangalaseang 1
119.8851	0.423511	2.32787	Tonggoloibi 4
119.8869	0.390006	2.09888	Tonggoloibi 5
119.8636	0.368844	2.09402	lemba Mukti 1
119.8452	0.342183	2.25418	lemba Mukti 2

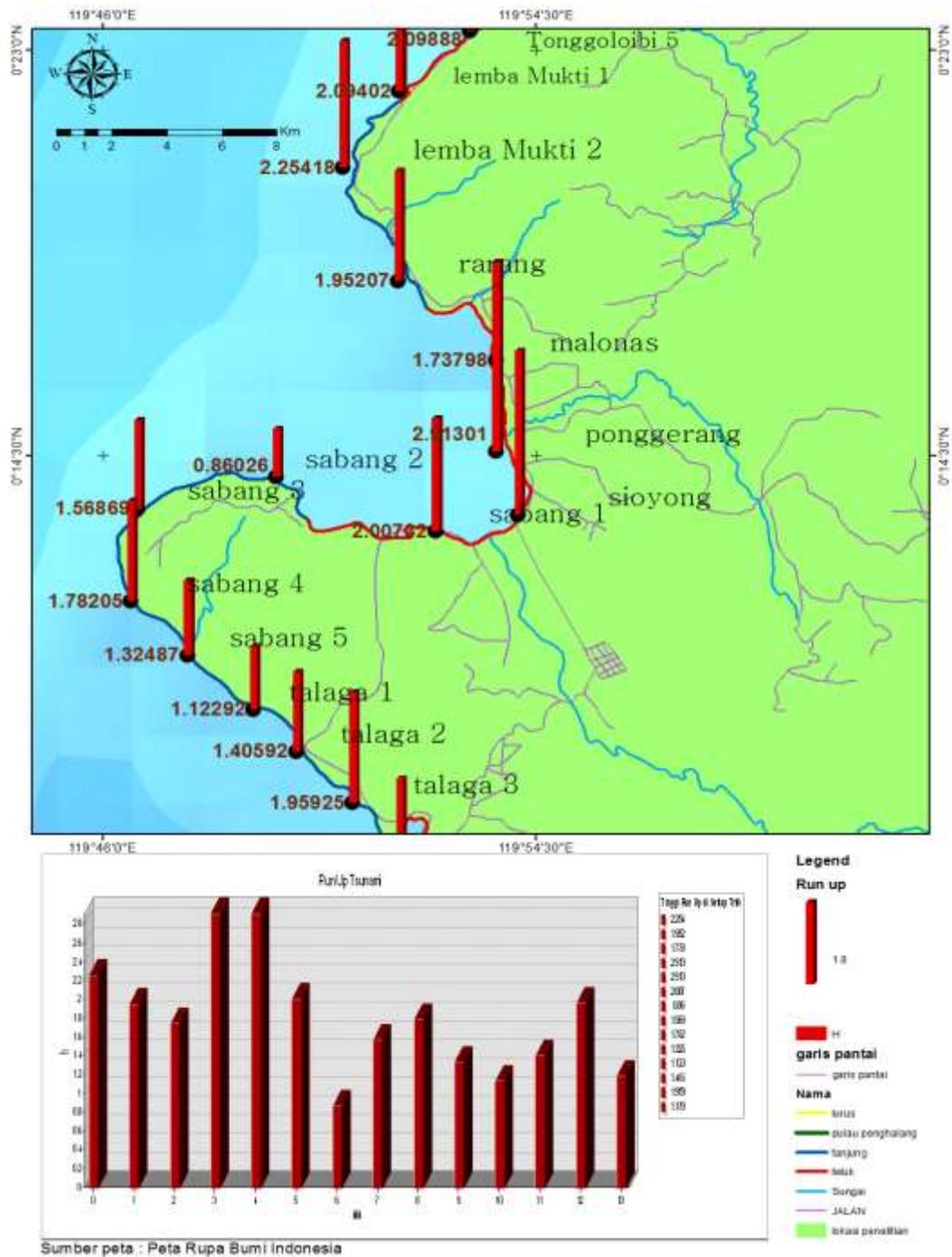
119.8632	0.302658	1.95207	Raring
119.8953	0.275072	1.73798	Malonas
119.8953	0.243244	2.91301	Ponggerang
119.9026	0.221025	2.91301	Sioyong
119.8755	0.215292	2.00732	sabang 1
119.8233	0.234239	0.86026	sabang 2
119.778	0.223275	1.56869	sabang 3
119.7757	0.190889	1.78205	sabang 4
119.7942	0.172072	1.32487	sabang 5
119.8159	0.153217	1.12292	talaga 1
119.8299	0.138581	1.40592	talaga 2
119.8484	0.120611	1.95925	talaga 3
119.8639	0.105978	1.17911	talaga 4
119.8757	0.084031	1.09261	Kambayang
119.8733	0.045586	1.18533	Sibayu
119.8809	0.018439	1.64129	si bualong
119.8837	-0.01334	1.63101	Siweli
119.8724	-0.04091	1.8167	Tambu
119.8635	-0.06252	2.0354	Meli
119.8424	-0.09341	2.0354	Labean
119.8227	-0.11671	0.99161	lambonga 1
119.7949	-0.10536	1.02261	lambonga 2

119.7682	-0.07794	1.02261	pomolulu 1
119.7396	-0.06108	0.42703	pomolulu 2
119.7354	-0.02509	0.45871	pomolulu 3
119.7044	-0.00068	0.81953	pomolulu 4
119.656	-0.01724	0.81953	rano B 1
119.6621	-0.01534	2.03	rano B 2
119.604	-0.00609	0.74642	Ketong
119.6306	-0.0631	0.54718	Kamenji
119.6757	-0.12253	0.54718	Malei
119.7312	-0.14788	0.6128	lambonga 3
119.7971	-0.1282	0.64126	Lompio
119.812	-0.18186	0.56104	Tondo S
119.7695	-0.32173	0.51	Alindau

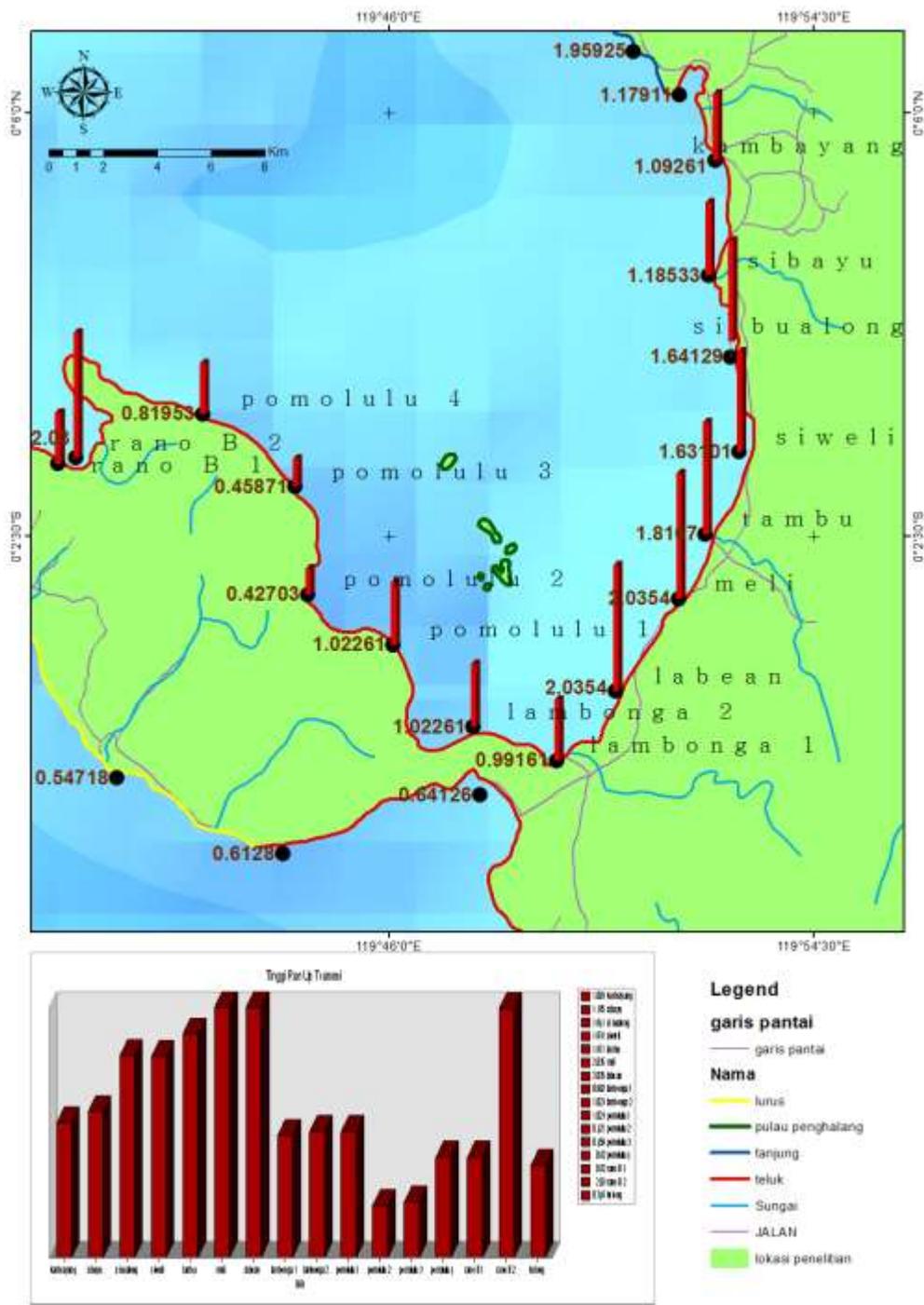
Istilah *run up* tsunami merupakan jarak vertikal antara titik nol muka laut (*mean sea level*) dengan ketinggian tsunami di pantai, Hasil *run up modeling* menunjukkan tsunami menjalar di sepanjang pantai di sekitar wilayah Pesisir pantai barat Donggala utara, seperti ditunjukkan pada gambar IV.8 Nilai *run up* tertinggi berdasarkan model terjadi di sekitar Desa Tonggolobibi, Desa Taipah dan Sibolang dengan kisaran nilai 3,52 m ,3.36 m dan 3.12 m dapat dilihat Tabel IV.2 . Berdasarkan hasil *run up* yang didapat maka untuk lebih jelasnya maka dilakukan pembuatan peta sebaran run up di arcgis dengan membagi empat wilayah dengan memperhatikan pengaruh bentuk garis

pantai tanjung, teluk dan lurus agar mengetahui wilayah-wilayah yang memiliki *run up* tertinggi dan terendah sehingga bisa di analisa dan melihat hubungan bentuk garis atau geometri garis pantai dengan tinggi *run up* tsunami. Dimana pada peta bentuk pantai teluk disimbolkan dengan garis berwarna merah, pantai berbentuk tanjung disimbolkan dengan warna biru sedangkan pantai lurus disimbolkan dengan garis berwarna kuning.

Berdasarkan peta sebaran *run up* pada gambar IV.9 – IV.11 dapat dilihat bahwa nilai *run-up* tertinggi terletak pada daerah dengan garis pantai yang berbentuk teluk, berdasarkan teori gelombang menyatakan bahwa pada daerah tanjung gelombang akan mengalami konvergen atau pengumpulan namun dilain hal atau kasus tsunami memiliki *run-up* tinggi pada bagian teluk karena mengalami proses resonansi dimana gelombang datang bertemu dengan gelombang pantul sehingga menyebabkan daerah teluk menjadi kuat, sebab gelombang laut saling terpantul dan berinteraksi atau bergabung menjadi gelombang yang besar di banding dengan garis pantai lurus dan tanjung. Penelitian ini juga menunjukkan *run-up* paling tertinggi terletak pada ujung teluk yang di sekitarnya terdapat muara sungai seperti desa Tonggolobibi pada gambar IV.9 dimana tonggolobibi memiliki *run-up* tertinggi sebesar 3.52 hal ini di sebabkan karena tonggolobibi merupakan kawasan teluk dan dekat dengan muara sungai Oleh karena itu untuk meghindari kerusakan yang lebih parah apabila tsunami kembali terjadi maka pentingnya menyiapkan evakuasi terutama pada daerah dengan bentuk geometri garis pantai berbentuk teluk.

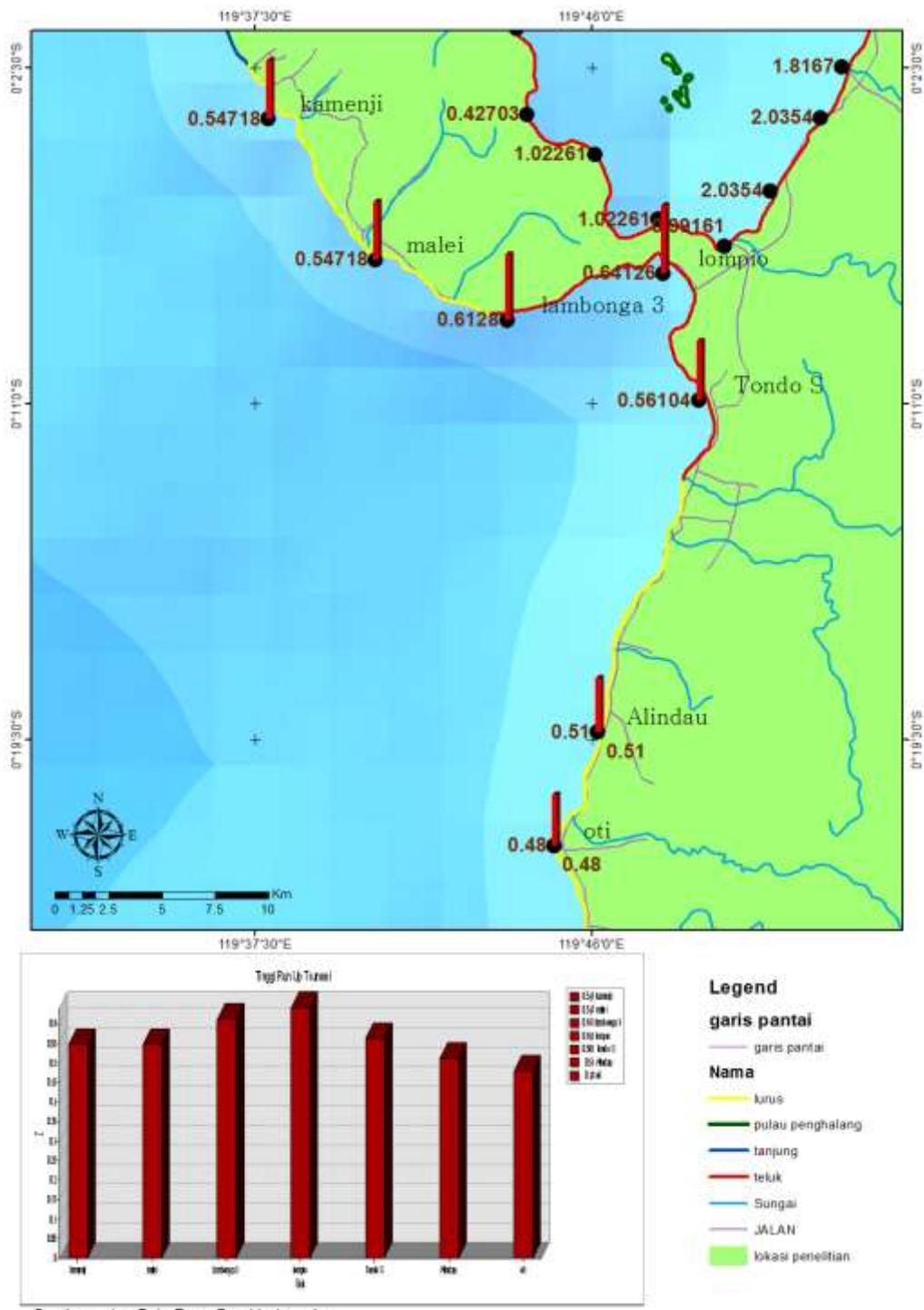


Gambar IV-10 Sebaran run up pada wilayah II



Sumber peta : Peta Rupa Bumi Indonesia

Gambar IV-11 Sebaran run up pada wilayah III



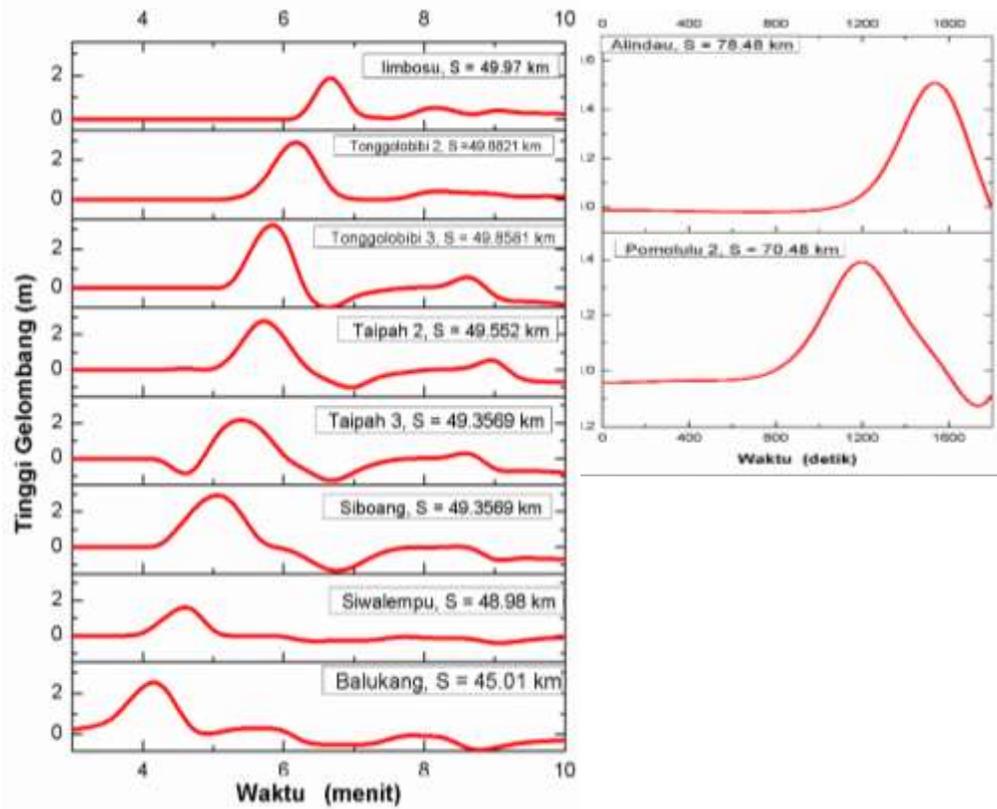
Gambar IV-12 Sebaran run up pada wilayah IV

Tabel IV-3 Nilai Parameter gelombang tsunami

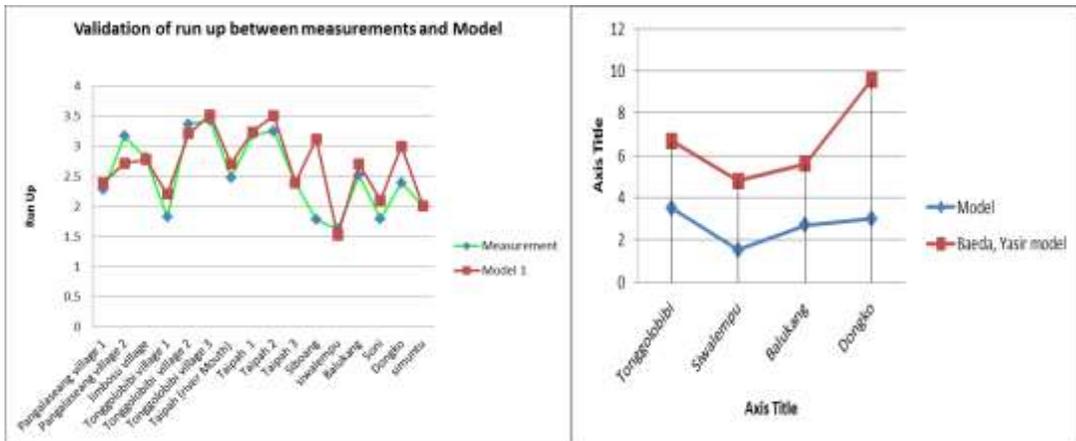
Wilayah	Jarak dari Patahan (Km)	Waktu tiba (menit)	Run-Up tsunami (m)	Kecepatan (m/s)
Balukang	45.01	4.2	2.7	178.5714286
Siwalempu	48.98	4.67	2.1	174.8037116
Siboang	49.3569	5	3.12	164.523
Taipah 3	49.41	5.3	2.39	155.3773585
Taipah 2	49.522	5.67	3.36	145.5673133
desa Tonggolobibi 3	49.8581	6	3.52	138.4947222
desa Tonggolobibi 2	49.8821	6.3	3.21	131.9632275
Limbosu	49.97	6.67	2.78	124.8625687
Pomolulu	70.8614	11	0.4	107.3657576
Alindau	78.048	28	0.5	46.45714286

Jejak rekam hasil simulasi dapat dilihat pada gambar IV.12 Hasil simulasi tersebut memperlihatkan bahwa jika suatu wilayah dekat dengan sumber tsunami, maka wilayah tersebut akan mengalami tsunami pada gelombang pertama, ini terjadi karena jarak tempuh kurang dari 46 km sehingga dapat dikategorikan *near field* atau lokal tsunami yang merupakan tsunami yang terjadi dimana jarak antara sumber dengan pembangkit tsunami dengan pantai sangat dekat. Besar kemungkinan bahwa daerah

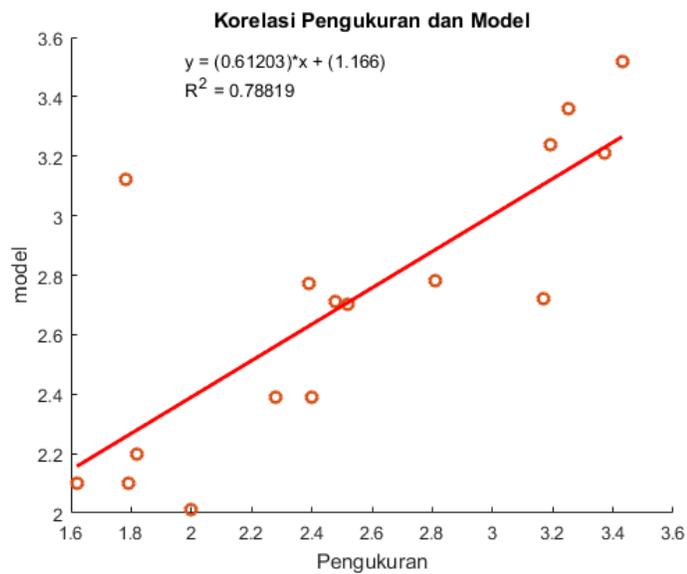
disekitar gempa bumi merasakan atau bahkan merusak bangunan, berdasarkan data tsunami area yang memiliki kerusakan parah yaitu desa Tongolobibi, Balukang dan Sibolang. Daerah-daerah ini merupakan daerah yang dekat dengan sumer patahan sehingga pada wilayah ini sangat penting dilakukan upaya mitigasi bencana apabila kemungkinan tsunami akan terjadi pada suatu waktu di wilayah tersebut. Nilai parameter gelombang tsunami dapat dilihat pada table IV.3 berdasarkan nilai tersebut dapat dilihat bahwa hubungan jarak dan kecepatan berkorelasi negatif atau berbanding terbalik. Serta tidak selamanya jarak berpengaruh terhadap besar run up tsunami karena factor morfolilah dan kondisi batimetri yang memiliki pengaruh besar terhadap besar tinggi run up tsunami



Gambar IV-13 Waktu tiba gelombang tsunami di beberapa wilayah



Gambar IV-14a Validasi antara simulasi dan pengukuran dan **IV-14b** Validasi antara simulasi menggunakan Tsunami L-2008 dan Model oleh Baeda, Yasir menggunakan SiTpros



Gambar IV-15 Koefisien Korelasi antara Model dan Pengukuran

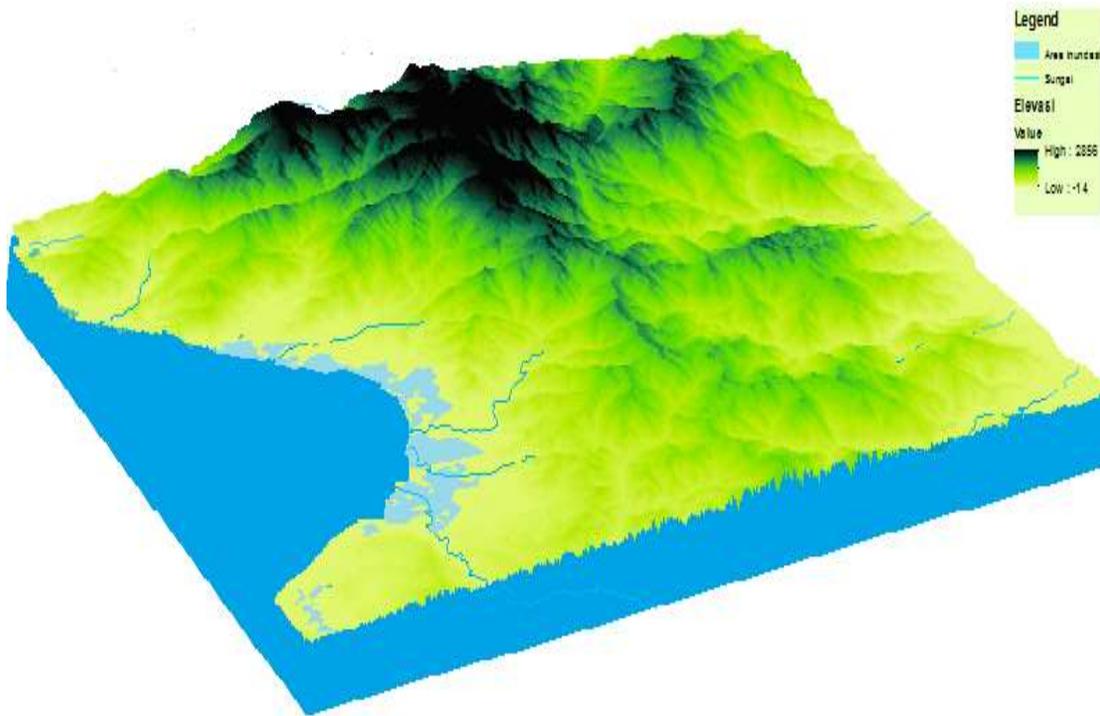
Untuk mengetahui kevalidan model maka perlu dilakukan validasi antara data run-up hasil simulasi dan pengukuran selain itu juga perlu melakukan regresi untuk mengetahui keakuratan dari simulasi adapun hasil yang didapat berupa koefisien korelasi sebesar 0.78, dimana apabila koefisien korelasi semakin mendekati nilai satu maka semakin baik suatu simulasi.

IV.4 Analisa simulasi Inundasi tsunami daerah terdampak

Hasil analisa simulasi Inundasi menunjukkan bahwa inundasi tsunami akan menjalar jauh ketempat yang lebih landai dan akan berbelok apabila menemui topografi yang tinggi serta area inundasi rendah pada vegetasi daratan berupa hutan baik hutan primer, hutan sekunder dan hutan mangrove dan akan semakin besar luasan inundasi apabila melewati daratan dengan vegetasi halus dalam hal ini meliputi lahan kosong atau lahan kering, tubuh air dan tambak. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar IV.15 dan gambar IV.16

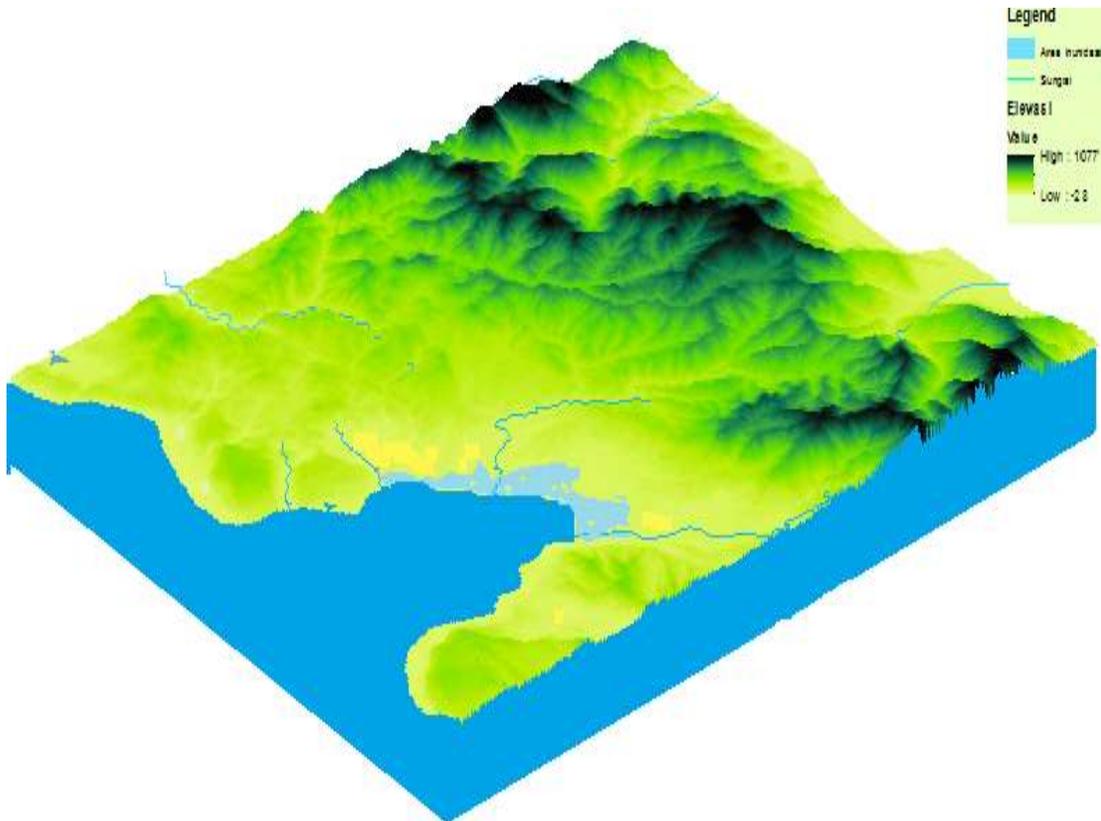
Melalui gambar IV.15 dan gambar IV.16 dapat dijelaskan bahwa inundasi yang terjadi pada kawasan halus/ lapang akan memiliki distribusi inundasi yang relatif tinggi, sedangkan pada kawasan bangunan akan mengurangi laju inundasi secara horizontal. Pada gambar IV.15 dan gambar IV.16 ditampilkan contoh propagasi inundasi yang melewati kawasan daratan. Model inundasi melalui perumusan Hills, J. G. & Mader, C. L. 1997. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh luas inundasi untuk Wilayah I sebesar 598 ha dan luas inundasi untuk wilayah II sebesar 571 ha dan untuk

wilayah III sebesar 202 ha . Luas Inundasi dipengaruhi oleh besarnya distribusi run-up pada suatu wilayah serta vegetasi yang terdapat pada area daratan .



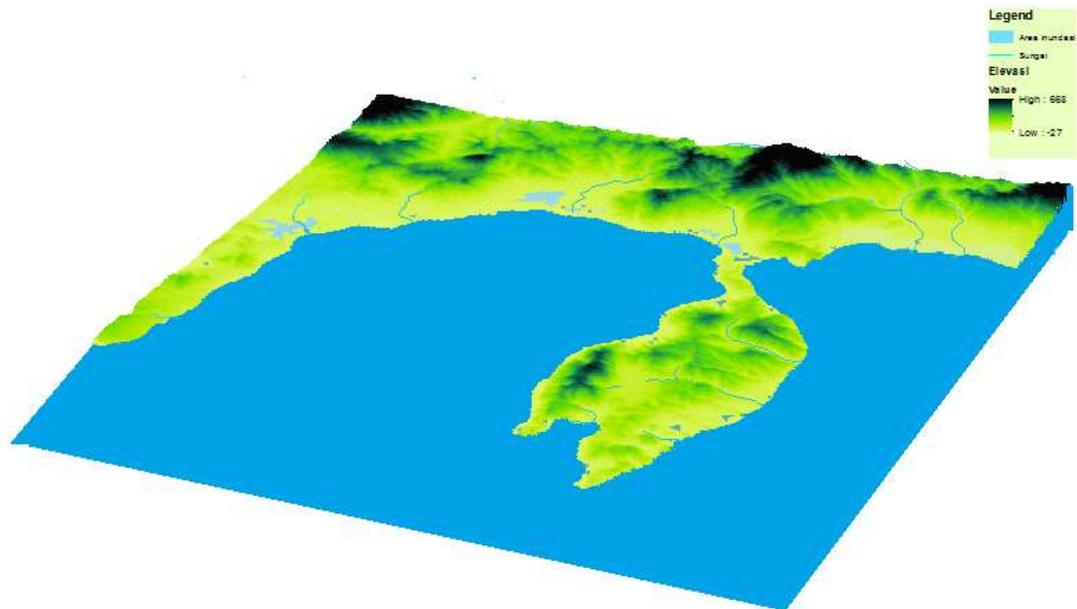
Gambar IV-16 Rekam jejak hasil simulasi Inundasi tsunami wilayah I

Pada wilayah satu merupakan kawasan yang paling besar mengalami dampak dari tsunami Toli-Toli tersebut karena dilihat dari morfologinya bahwa wilayah ini merupakan kawasan landai dan sebagian besar di keliling oleh lahan kering atau kosong di samping itu wilayah ini memiliki distribusi run-up tertinggi serta banyak terdapat banyak aliran sungai di wilayah ini.



Gambar IV-17 Rekam jejak hasil simulasi Inundasi tsunami Wilayah II

Pada wilayah II merupakan kawasan yang dampaknya cukup besar mengalami dampak dari tsunami Toli-Toli tersebut karena dilihat dari morfologinya bahwa wilayah ini merupakan kawasan landai serta merupakan kawasan dengan pantai berbentuk teluk dan sempit serta sebagian besar di keliling oleh lahan kering atau kosong yang lebih besar dibandingkan wilayah I, di samping itu wilayah ini juga memiliki distribusi run-up yang tergolong cukup tinggi dan terdapat beberapa aliran sungai.

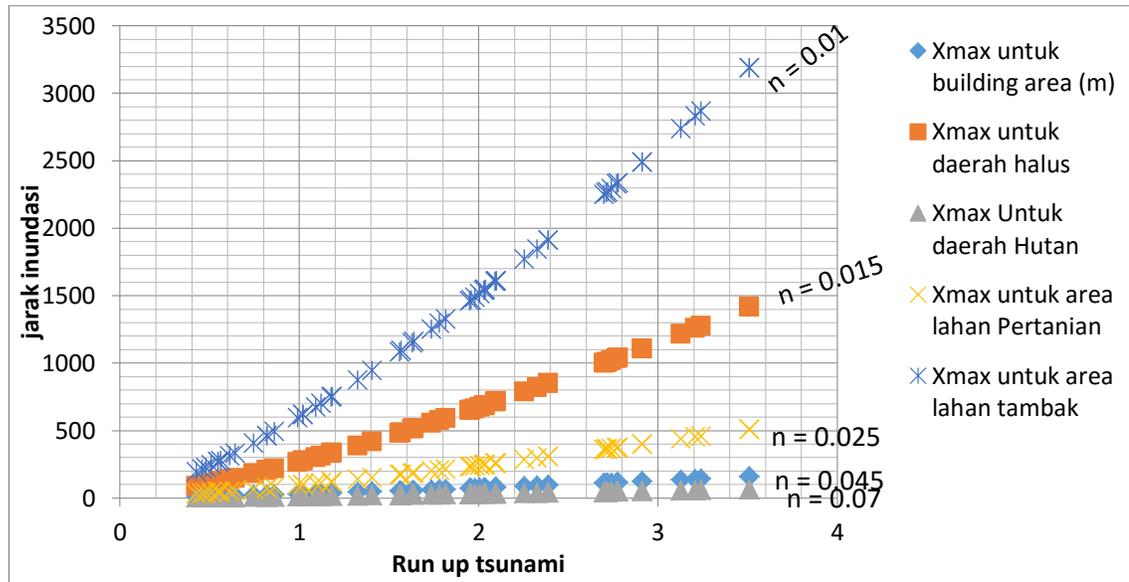


Gambar IV-18 Rekam jejak hasil simulasi Inundasi tsunami Wilayah III

Pada wilayah III merupakan kawasan yang dampaknya kecil hal ini disebabkan karena distribusi tinggi *run-up* pada wilayah ini sangat rendah dan jika dilihat peta penggunaan lahan tahun 1996 wilayah ini masih merupakan wilayah dengan vegetasi hutan.

Berdasarkan persentase luas kawasan area terdampak diperoleh hasil kawasan lahan kering memiliki dampak terbesar dari penjalaran tsunami mencapai daratan sebesar 41% hal ini jika dilihat dari data tutupan lahan sebagian besar wilayah donggala utara terdiri atas lahan kering atau lahan kosong di sisi lain pengaruh koefisien gesekan, karena semakin kasar suatu permukaan maka koefisien gesekannya akan semakin besar. Dengan simulasi tinggi gelombang datang (*run up*) 3.52 m, maka ekosistem mangrove cukup untuk mengeliminir sebaran genangan,

perlu pula diperkuat dengan vegetasi pantai lainnya dan struktur bangunan pantai yang kokoh untuk mereduksi genangan.



Gambar IV-19 grafik hubungan antara jarak inundasi dan tinggi run up

Dalam penelitian ini dapat diketahui jarak terjauh tsunami dari garis pantai ke daratan dengan menggunakan perumusan Hills, J. G. & Mader, C. L. 1997, dapat diketahui bahwa semakin besar tinggi run up tsunami maka jarak inundasi semakin besar pula sedangkan hubungannya dengan koefisien kekasaran manning yaitu semakin besar nilai koefisien gesekan atau koefisien manning maka jarak inundasi ke daratan semakin kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pemodelan sumber (*source modeling*), penjalaran gelombang tsunami (*ocean modeling*), dan ketinggian tsunami (*run-up modeling*), yaitu:
 - *Vertical displacement* maksimal adalah 1.59 meter dan *Vertical displacement* minimum adalah -1.59 meter.
 - Penjalaran gelombang tsunami ke segala arah, dimana daerah pesisir donggala yang pertama kali terkena tsunami adalah desa Tonggolobibi, desa Taipah, desa pangalaseang dan lembah Mukti dengan kecepatan penjalaran gelombang tsunami rata-rata sebesar 145m/s
 - *Run up* tertinggi berdasarkan model terjadi di Desa Tonggolobibi dengan ketinggian sekitar 3,52 meter, Taipah sebesar 3.32 m dan Siboang sebesar 3.12 m. Dengan hasil koefisien antara model dan pengukuran sebesar 0.78 sebanyak 16 data.
2. Hasil simulasi inundasi diperoleh luas inundasi terbesar terletak pada kawasan dengan distribusi run-up tertinggi, dengan kondisi morfologi kemiringan yang landai atau topografi rendah serta dikelilingi oleh kawasan halus dan area aliran sungai.

V.2 Saran

Dari hasil penelitian dalam Tugas Akhir ini, untuk penelitian selanjutnya disarankan :

Menggunakan resolusi data SRTM yang tinggi sehingga hasil simulasi inundasi lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

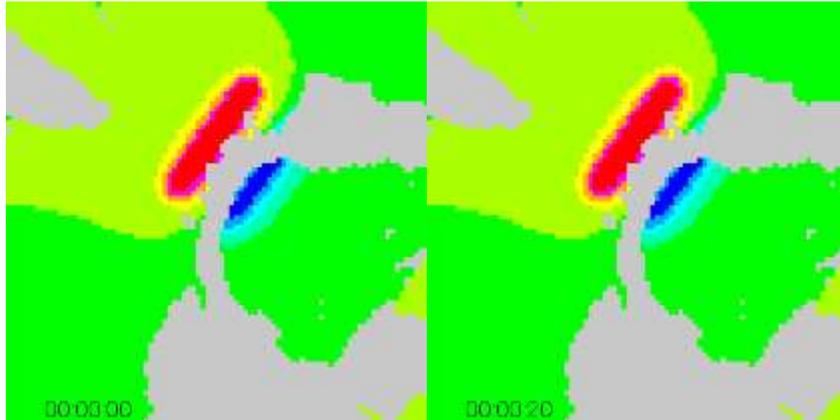
- Baeda, Yasir. A. 2011. *Seismic and Tsunami Hazard Potential in Sulawesi Island, Indonesia* : Journal of International Development and Cooperation, Vol. 17, No. 1, pp. 17-30.
- Berryman, K. 2006. *Review of Tsunami hazard and Risk in New Zealand* : Insitute of Geological and Nuclear Science.
- Disaptono, S dan Budiman. 2006. *Tsunami. Buku Ilmiah Populer*. Bogor: ITB.
- Hamilton, W., 1981, *Tectonics of the Indonesian Region*, Washington.
- Hanks, Thomas C., Kanamori, H. 1979. "Moment magnitude scale" : Journal of Geophysical Research, 84 (B5): 2348–2350. Retrieved 2007-10-06.
- Harris and Major. 2016. *Waves of destruction in the East Indies: the Wichmann catalogue of earthquakes and tsunami in the Indonesian region from 1538 to 1877*. University of Texas: Austin
- Hills, J. G. & Mader, C, L. 1997. *Tsunami producted by the impacts of the small asteroids*: Annals of the New York Accademy of Sciences, 822, 381-394
- Nakamura, M. 2006. *Source fault model of the 1771 Yaeyama tsunami- Southern Ryukyu island Japan inferred from numerical simulation*, *Pure Appl: Geophys.*, 163, 41-54
- Natawidjaja, D. H. 2012. *Pelatihan Pemodelan Run-Up Tsunami*: Geoteknologi-LIPI, 2007.
- Papazachos, B.C., Scordilis, E. M., Panagiotopoulos, D. G., Papazachos, C.B., and Karakaisis, G. F. 2004. *Global Relations between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes*. Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXVI: Proceedings of the 10 International Congress, Thessaloniki, April 2004Th.
- Pelinovsky, E., Yuliadi, D., Prasetya, G., dkk. 1997. *The January 1, 1996 Sulawesi Island Tsunami*: Natural Hazards 16, pp. 29-38.

Setyonegoro, W. 2011. *Tsunami Numerical Simulation Applied To Tsunami Early Warning System Along Sumatra Regio*: Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 12, No. 1 Smid, Op.cit., pp 3.

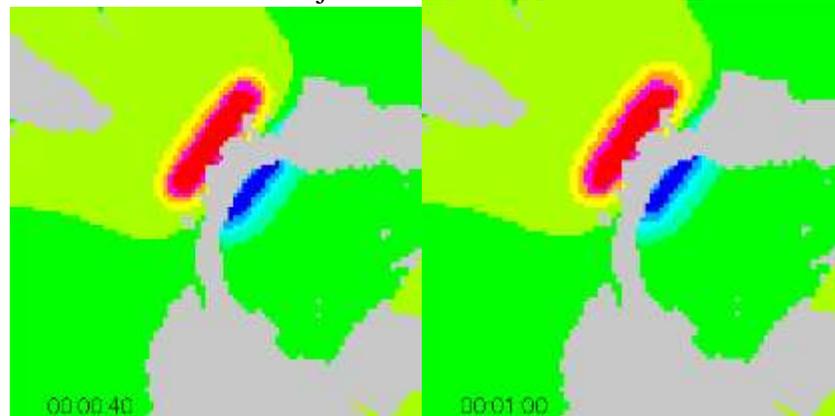
Van Zuildam, R. A., 1983, *Guide to Geomorphological Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, ITC, Enschede: The Netherlands.

LAMPIRAN A

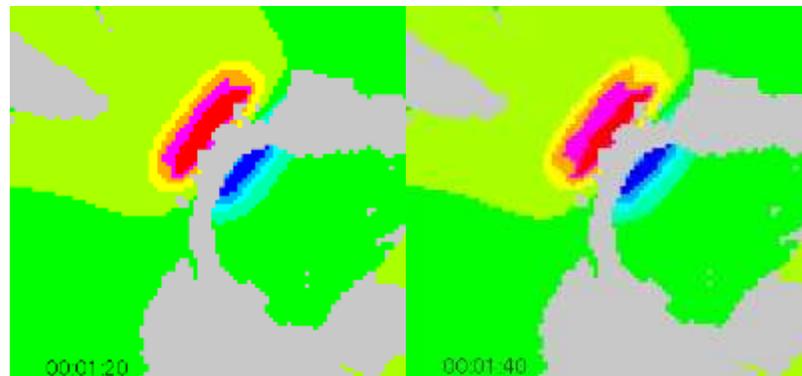
1. Hasil Pemodelan Penjalaran Gelombang Tsunami



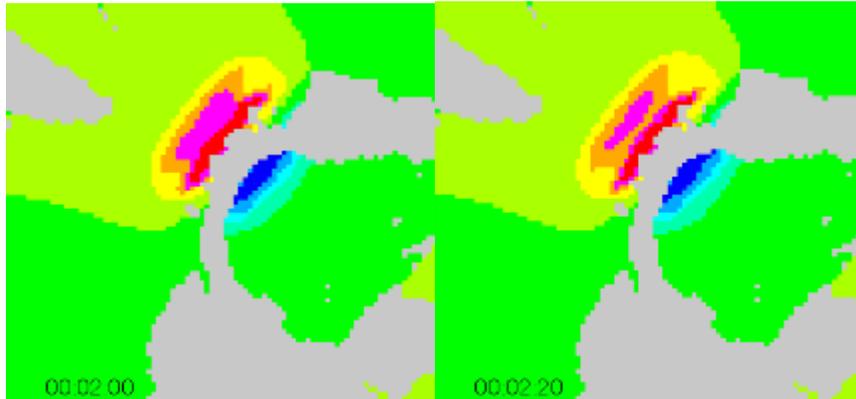
Gambar 1. Gambar Penjalaran Gelombang Detik ke 00 dan 20



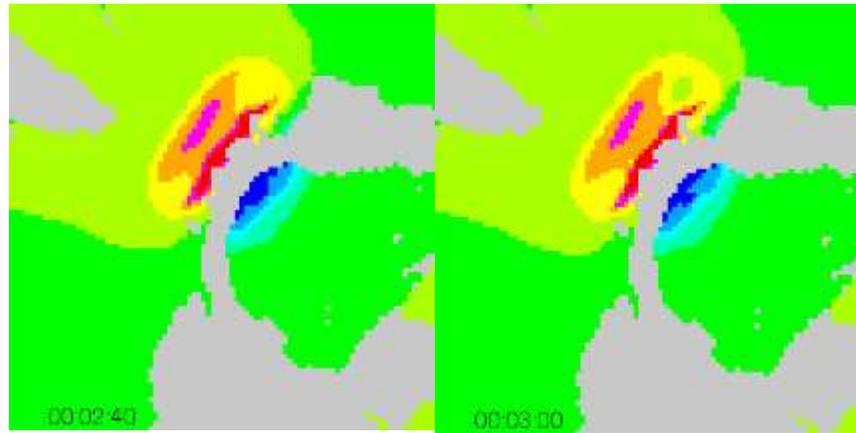
Gambar 2. Gambar Penjalaran Gelombang Detik ke 40 dan menit ke 1



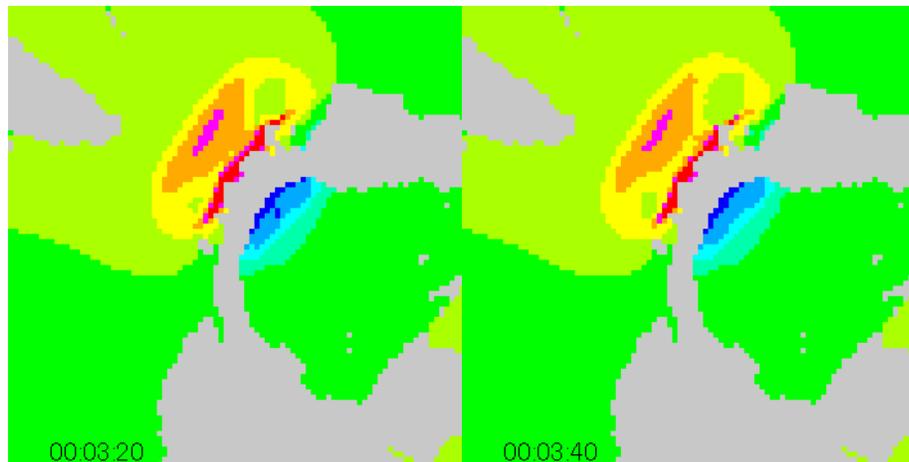
Gambar 3. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 1detik ke 20 dan menit ke 1
detik ke 40



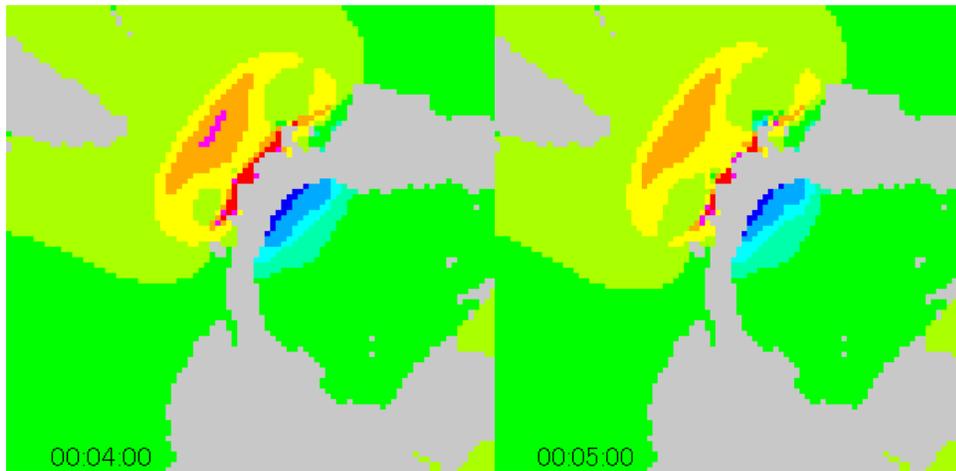
Gambar 4. Gambar Penjalaran Gelombang ke 2 dan menit ke 2 detik ke 20



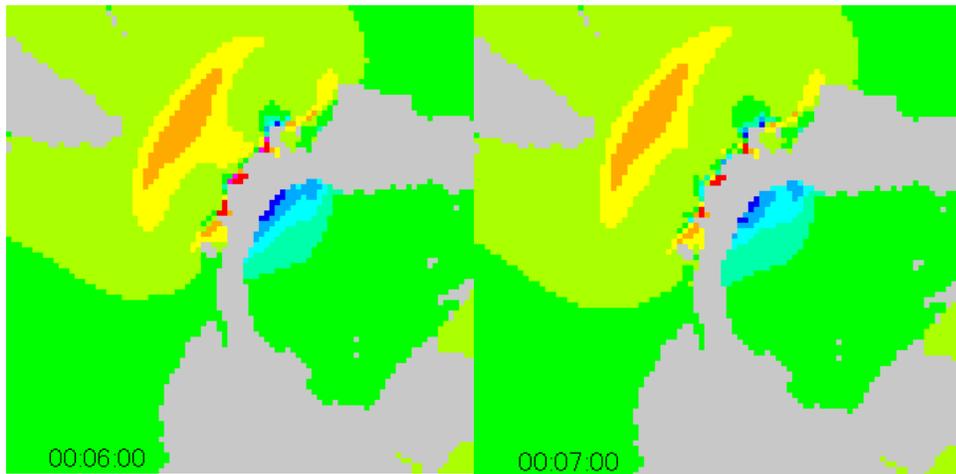
Gambar 5. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 2 detik ke 40 dan menit ke 3



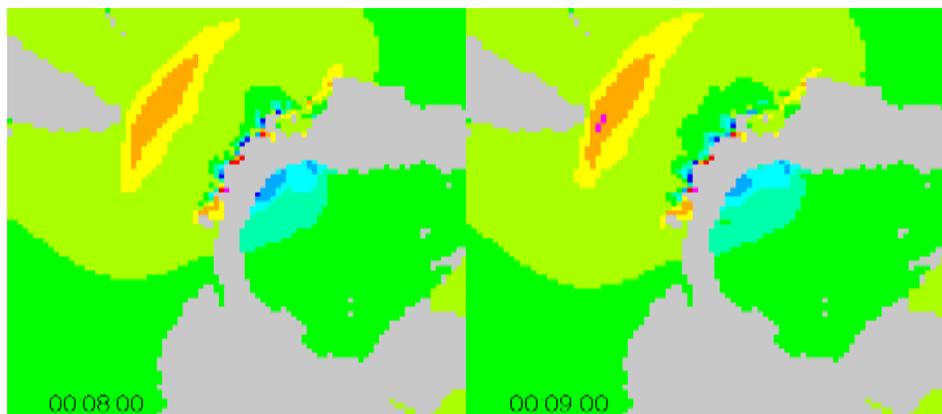
Gambar 6. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 3 detik ke 2 dan menit ke 3 detik ke 40



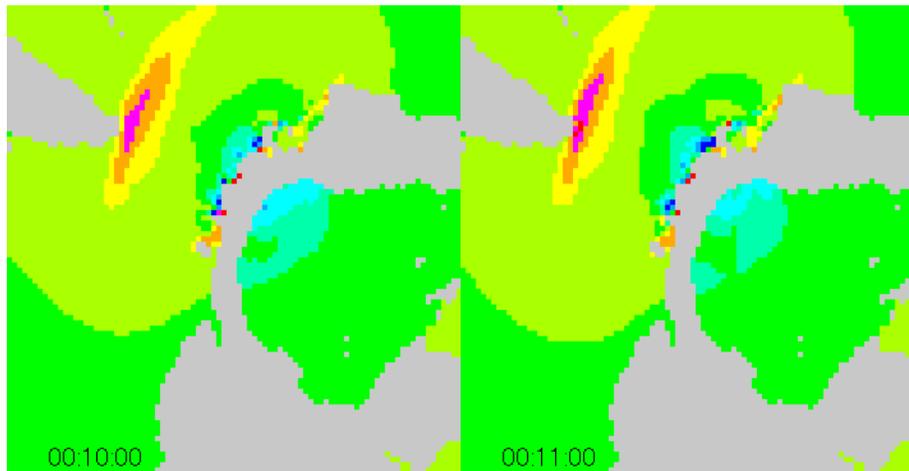
Gambar 7. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 4 dan menit ke 5



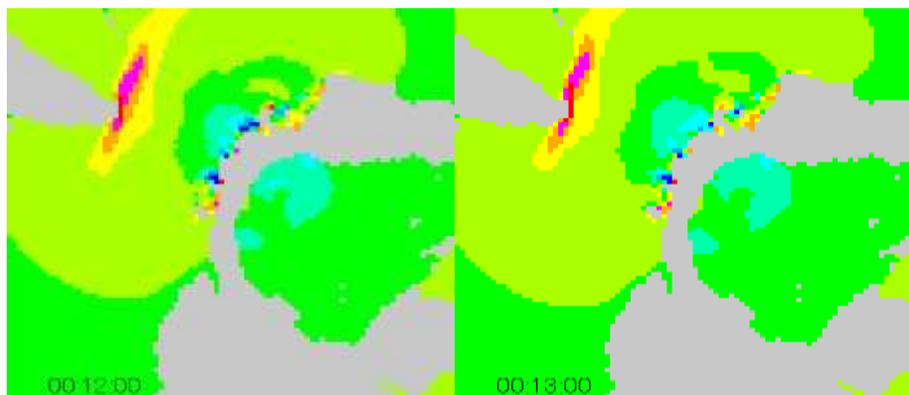
Gambar 8. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 6 dan menit ke 7



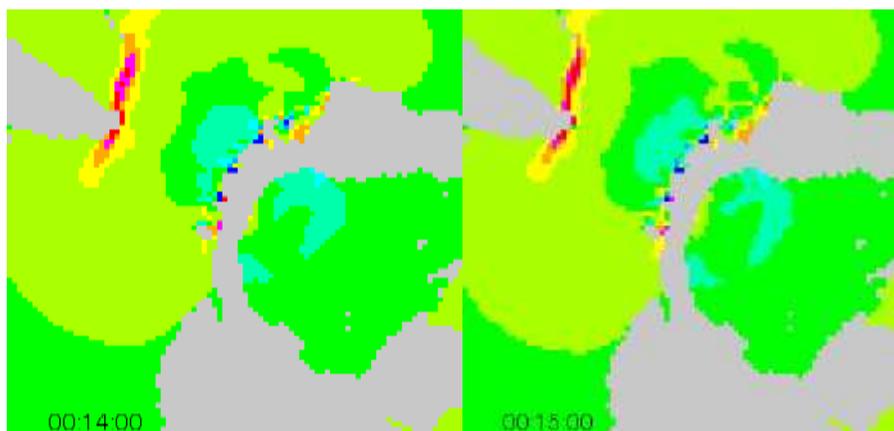
Gambar 9. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 8 dan menit ke 9



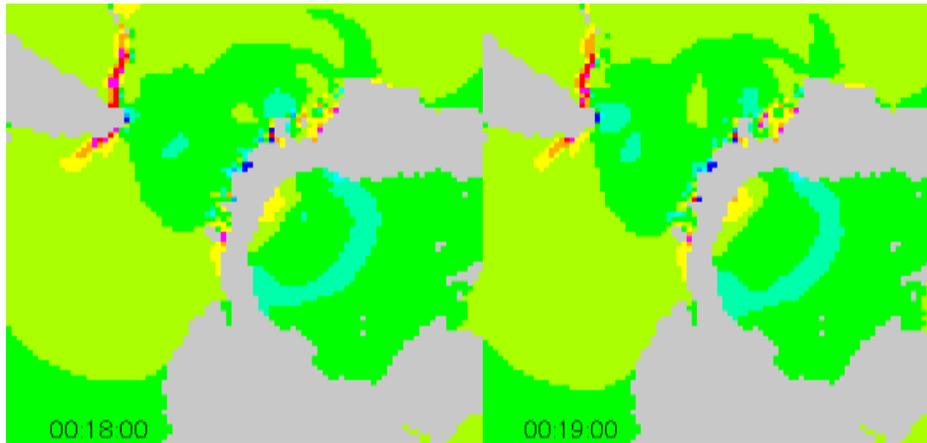
Gambar 10. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 10 dan menit ke 11



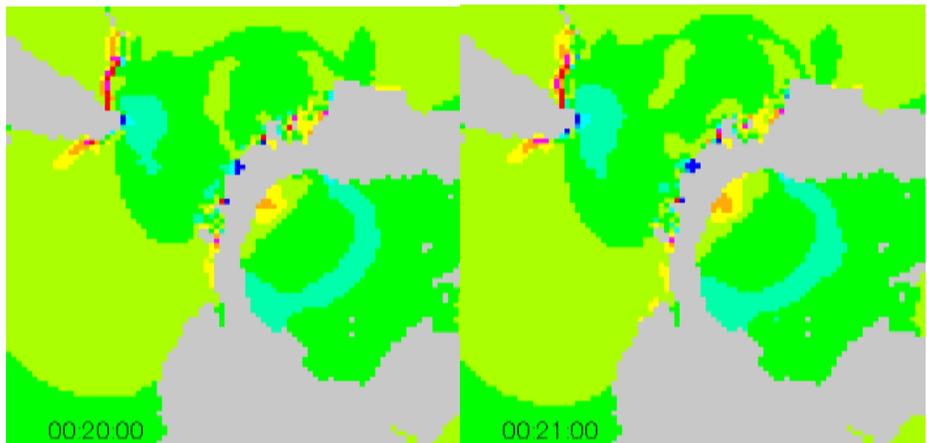
Gambar 11. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 12 dan menit ke 13



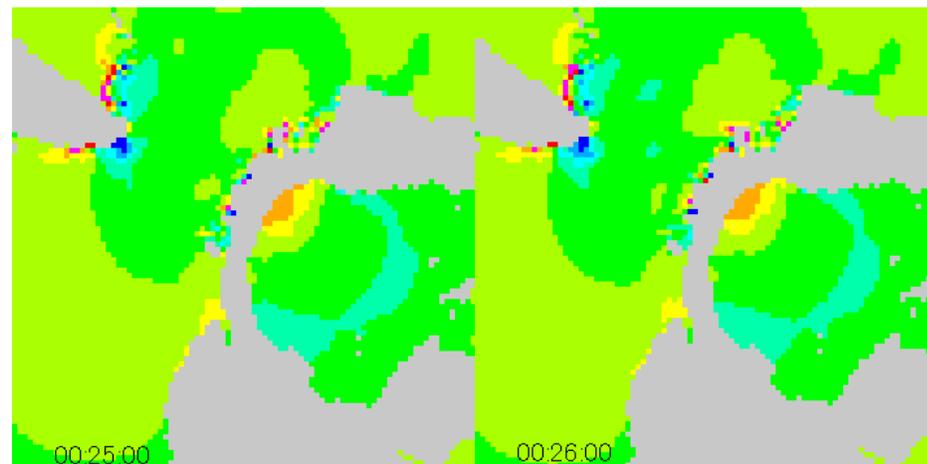
Gambar 12. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 14 dan menit ke 15



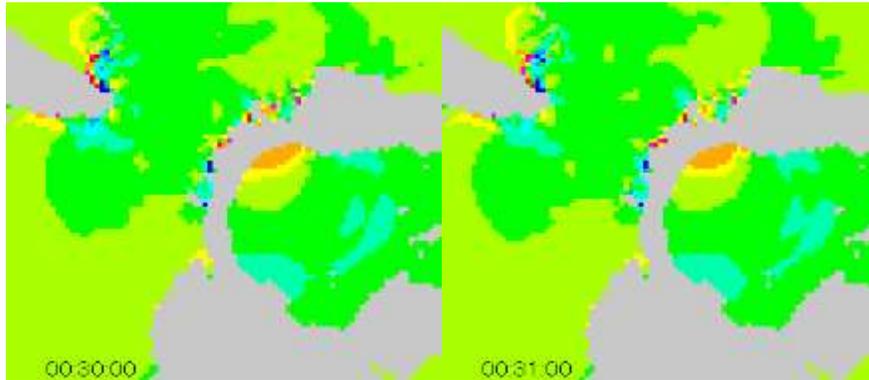
Gambar 13. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 18 dan menit ke 19



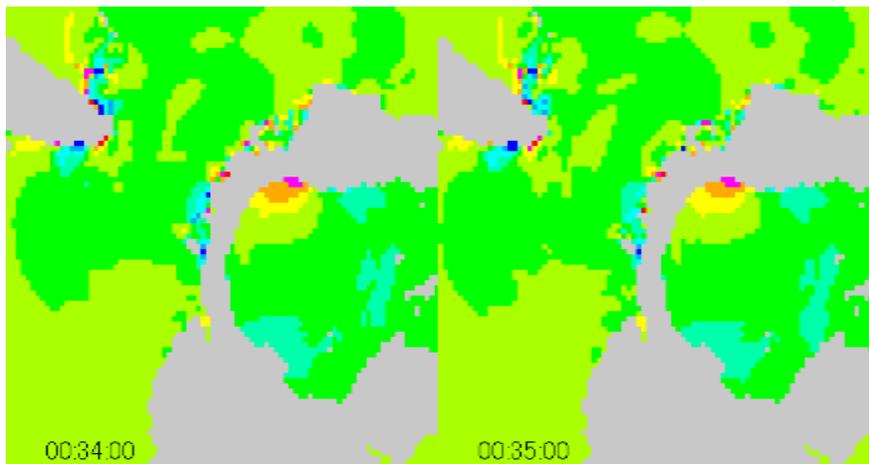
Gambar 14. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 20 dan menit ke 21



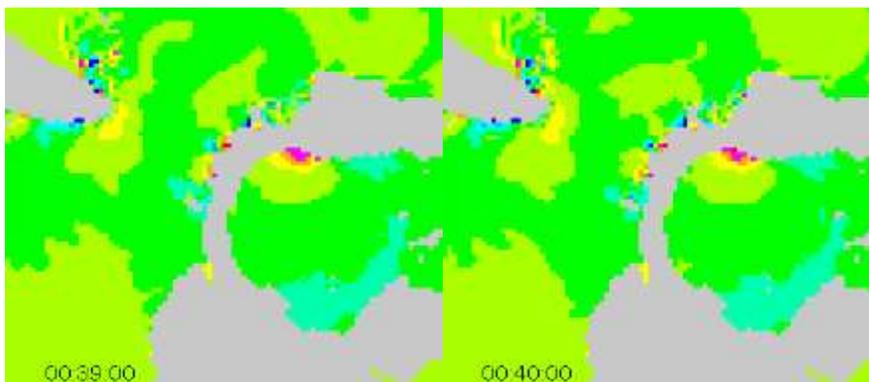
Gambar 15. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 25 dan menit ke 26



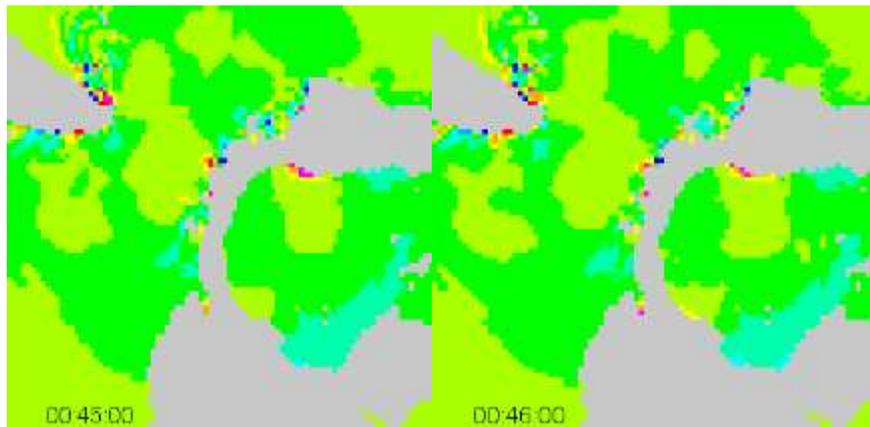
Gambar 16. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke30 dan menit ke 31



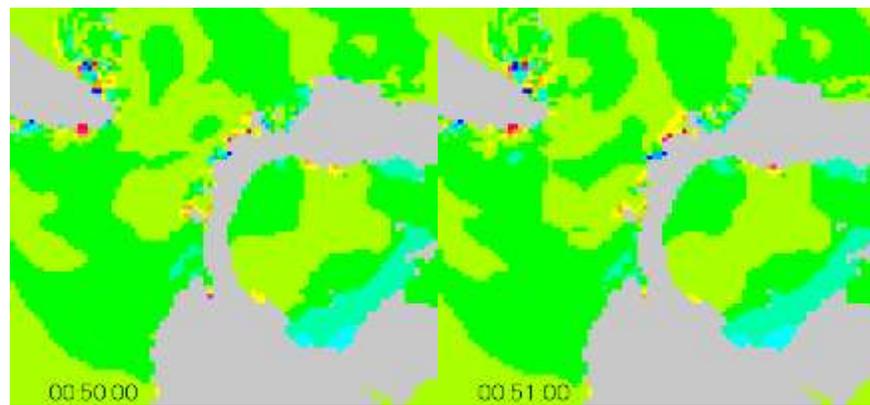
Gambar 17. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 34 dan menit ke 35



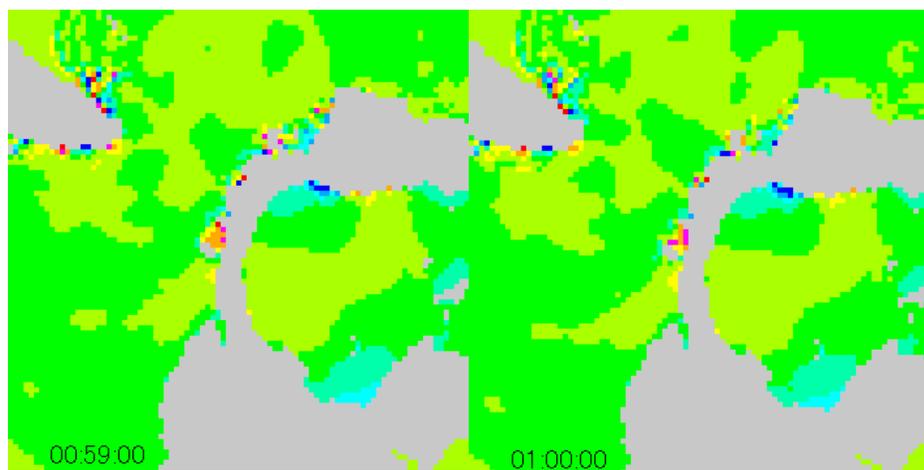
Gambar 18. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 39 dan menit ke 40



Gambar 19. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 45 dan menit ke 46



Gambar 20. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 50 dan menit ke 51



Gambar 21. Gambar Penjalaran Gelombang menit ke 59 dan menit ke 60

LAMPIRAN B

Perhitungan Parameter Sumber Gempabumi

Secara empiris panjang dan lebar patahan dapat di tentukan dengan Scaling law dari Papazachos 2004 sebagai berikut:

Luasan Repture berdasarkan persamaan Papazachos et. Al (2004)

$$\text{Log } L = 0.55 M_w - 2.19$$

$$\text{Log } W = 0.31 M_w - 0.63$$

Menghitung luas patahan

$$A = L \times W$$

Momen seismik (M_0) berdasarkan persamaan Hanks, Thomas C and Kanamori, H. (1979).

$$\text{Log } M_0 = (6,08 + M_w) * 3/2$$

Besar Slip atau perpindahan badan air berdasarkan persamaan Well and Copper Smith (1994)

$$S = \frac{M_0}{\mu A}$$

Perhitungan untuk M_w 7.9 SR:

Diketahui : $\mu = 3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

- Panjang (L) : $\text{Log } L = 0,55 \cdot 7,9 - 2,19$
 $= 4,345 - 2,19$
 $= 2,155$
 $L = 10^{2,155}$
 $= 142.8894 \text{ Km}$

- Lebar (W) : $\text{Log } W = 0,31 \cdot 7,9 - 0,63$
 $= 2,449 - 0,63$
 $= 1,89$
 $W = 10^{1,81}$
 $= 64,5 \text{ km}$

- Jadi, luas *fault* (A) : $A = L \times W$
 $= 142,8 \times 64,5$
 $= 9,42 \times 10^3 \text{ Km}^2$
 $= 9,42 \times 10^9 \text{ m}^2$

- $M_w = \frac{2}{3} \text{Log } M_o - 6,08$
 $7,9 = \frac{2}{3} \text{Log } M_o - 6,08$
 $7,9 + 6,08 = \frac{2}{3} \text{Log } M_o$
 $\frac{13,98}{\frac{2}{3}} = \text{Log } M_o$
 $20,86 = \text{Log } M_o$
 $M_o = 1,181 \times 10^{22} \text{ N/m}$

- $M_o = \mu \times A \times S$
 $1,181 \times 10^{22} = 3 \times 10^{10} \times 9,42 \times 10^9 + 21 \times S$

$$S = 4,66 \text{ m}$$

- Koordinat patahan : $X_{eq} = \frac{\text{long. Episenter} - \text{long. min batas area}}{\text{Long. max batas area} - \text{long. min batas area}} \times \text{lebar grid}$

$$= \frac{119,93 - 118}{122 - 118} \times 450$$

$$= 112,5$$

$$Y_{eq} = \frac{\text{lat. Episenter} - \text{lat. min batas area}}{\text{Lat. max batas area} - \text{lat. min batas area}} \times \text{lebar grid}$$

$$= \frac{0,74 - (-2)}{2 - (-2)} \times 450$$

$$= 308,25$$