



UNIVERSITAS PERTAHANAN INDONESIA

**PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI TSUNAMI
DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

TESIS

**TELLY KURNIAWAN
120160203032**

**FAKULTAS KEAMANAN NASIONAL
PROGRAM STUDI MANAJEMEN BENCANA**

**BOGOR
FEBRUARI 2018**



UNIVERSITAS PERTAHANAN INDONESIA

**PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI TSUNAMI
DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister
dalam bidang Ilmu Pertahanan

**TELLY KURNIAWAN
120160203032**

**FAKULTAS KEAMANAN NASIONAL
PROGRAM STUDI MANAJEMEN BENCANA**

**BOGOR
FEBRUARI 2018**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini, tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan dan undang-undang yang berlaku.

Jakarta, Februari 2018



Telly Kurniawan

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Telly Kurniawan, S.Si

NIM : 120160203032

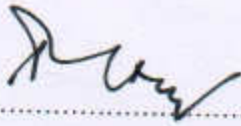
Program Studi : Manajemen Bencana

Judul : **PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI
TSUNAMI DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister dalam Ilmu Pertahanan pada Program Studi Manajemen Bencana, Fakultas Keamanan Nasional Universitas Pertahanan Indonesia.

DEWAN PENGUJI


Pembimbing I: Prof. Dr. Syamsul Maarif, M.Si

()

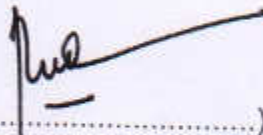
Pembimbing II: Dr. Sarpono

()

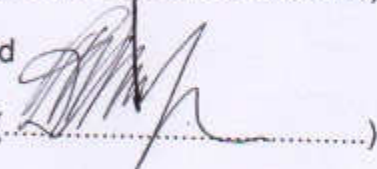
Penguji I: Dr. Siswo Hadi Sumantri, ST, MMT

()

Penguji II: Dr. Ir. Rudi A. Gultom, M.Sc

()

Penguji III: Makmur Supriyatno, BSc, S.Pd, M.Pd

()

Ditetapkan di : Bogor

Tanggal : Februari 2018

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Pertahanan Indonesia, saya yang bertanda-tangan dibawah ini :

Nama : Telly Kurniawan
NIM : 120160203032
Program Studi : Manajemen Bencana
Fakultas : Keamanan Nasional
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free) atas karya ilmiah saya berjudul :

**PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI TSUNAMI
DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta/Karya Intelektual dari tesis ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran penuh tanpa paksaan dari pihak manapun.

Jakarta, Februari 2018



Telly Kurniawan

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Telly Kurniawan, S.Si

NIM : 120160203032

Program Studi : Manajemen Bencana

Judul : **PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI
TSUNAMI DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister dalam Ilmu Pertahanan pada Program Studi Manajemen Bencana, Fakultas Keamanan Nasional Universitas Pertahanan Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I: Prof. Dr. Syamsul Maarif, M.Si

(.....)

Pembimbing II: Dr. Sarpono

(.....)

Penguji I: Dr. Siswo Hadi Sumantri, ST, MMT

(.....)

Penguji II: Dr. Ir. Rudi A. Gultom, M.Sc

(.....)

Penguji III: Makmur Supriyatno, BSc, S.Pd, M.Pd

(.....)

Ditetapkan di : Bogor

Tanggal : Februari 2018

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini, tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan dan undang-undang yang berlaku.

Jakarta, Februari 2018

Telly Kurniawan

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Pertahanan Indonesia, saya yang bertanda-tangan dibawah ini :

Nama : Telly Kurniawan
NIM : 120160203032
Program Studi : Manajemen Bencana
Fakultas : Keamanan Nasional
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free) atas karya ilmiah saya berjudul :

**PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI TSUNAMI
DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta/Karya Intelektual dari tesis ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran penuh tanpa paksaan dari pihak manapun.

Jakarta, Februari 2018

Telly Kurniawan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyandang gelar Magister dalam bidang ilmu pertahanan dari Universitas Pertahanan Indonesia.

Saya menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna dan tanpa bantuan serta bimbingan berbagai pihak tidak mudah bagi saya untuk merampungkan tesis ini. Oleh sebab itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) ALLAH SWT Sang Pencipta Alam Semesta yang telah menciptakan juga makhluk termasuk saya didalamnya beserta seluruh isinya.
- (2) Kedua orang tua saya, Alm. Mamah dan Bapak, yang tidak terungkapkan rasa salut, cinta dan bangga saya kepada kedua orang tua saya, karena dengan penuh pengorbanan dari mulai saya lahir, besar dan sampai saat ini saya terus belajar untuk menjadi pribadi yang tangguh, bersyukur dan sabar serta ikhlas dalam menjalani kehidupan
- (3) Letjen TNI Dr. I Wayan Midhio, M.Phil, selaku Rektor Universitas Pertahanan atas diterimanya saya menjadi mahasiswa Universitas Pertahanan;
- (4) Laksda TNI Dr. Siswo Hadi Sumantri, S.T., M.MT selaku Dekan Fakultas Keamanan Nasional Universitas Pertahanan dan Penguji Pertama tesis saya, yang banyak memberikan koreksi sangat berarti demi kebaikan hasil tesis saya;
- (5) Prof. Dr. Edvin Aldrian, mantan Kepala Puslitbang BMKG, yang telah mensupport saya untuk melanjutkan strata S2;
- (6) Prof. Dr. Syamsul Maarif, M.Si, selaku dosen pembimbing pertama, yang selalu memberikan banyak ide dan gagasan untuk mengarahkan saya dalam menyelesaikan tesis ini;
- (7) Dr. Sarpono, M.Si, selaku dosen pembimbing kedua, yang telah menyediakan waktu dan koreksi-koreksi positif selama menjalani proses bimbingan;
- (8) Dr. IDK Kerta Widana, Sekretaris Program Studi Manajemen Bencana yang sangat saya hormati dan kagumi, yang selalu menyemangati saya dengan cara yang positif, beliau merupakan pemimpin yang bijak dan merupakan suri tauladan bagi saya.

- (9) Dr. Ir. Rudy A. Gultom, M.Sc sebagai penguji kedua, yang memberikan koreksi-koreksi positif demi kebaikan hasil akhir tesis saya.
- (10) Brigjen TNI (Purn) Makmur Supriyatno, BSc, S.Pd, M.Pd sebagai penguji ketiga, yang telah memberikan ilmu SIG-nya dan memberikan masukan sehingga hasil tesis saya menjadi lebih baik.
- (11) Dessie Dwi Rahayu, istri tercinta yang selalu setia dan sabar mendukung saya untuk melanjutkan strata S2 ini.
- (12) Wiko Setyonegoro dan Eko Haryanto, teman baik saya di BMKG, yang telah banyak memberikan sharing mengenai penelitian yang saya lakukan;

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan masyarakat.

Jakarta, Februari 2018

Telly Kurniawan

ABSTRAK

Nama : Telly Kurniawan
NIM : 120160203032
Program Studi : Manajemen Bencana
Judul Tesis : **PENENTUAN RUN-UP DAN INUNDASI
DIAPLIKASIKAN DALAM SIG UNTUK MITIGASI
TSUNAMI DI ZONA SUBDUKSI MALUKU**

Zona Subduksi Maluku yang berada dibawah Laut Maluku merupakan suatu sumber gempa bumi berpotensi Tsunami. Tsunami merupakan bencana alam yang kejadiannya sangat cepat dan dampaknya sangat merugikan serta proses penanggulangannya membutuhkan waktu yang sangat lama. Tujuan akhir penelitian ini ingin menentukan lokasi shelter sebagai tempat evakuasi sementara ketika tsunami terjadi akibat gempa bumi di Zona Subduksi Maluku. Metode penelitian yang digunakan adalah rangkaian pengolahan data sistematis dari mulai penentuan area terdampak, penentuan seismisitas, penentuan kejadian gempa bumi menggunakan database gempa bumi BMKG yang divalidasi dengan database gempa bumi GFZ, penentuan simulasi tsunami dan diakhiri dengan aplikasi SIG untuk menentukan lokasi terdampak dan lokasi shelter. Dalam penentuan lokasi shelter menggunakan 4 kriteria yaitu: Shelter berada di area nilai run-up tsunami > 6 meter, Shelter berada di lokasi yang mempunyai DEM rawan tsunami klasifikasi tinggi, Shelter berada pada lokasi dengan radius 500 meter dari jalan primer/sekunder/tersier dan Shelter berada di lokasi terdampak yang mempunyai jumlah penduduk lebih dari 500 jiwa/km². Dari seluruh rangkaian hasil pengolahan data diakhiri dengan tahapan intersection terhadap 4 kriteria penentuan shelter. Kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu ada 4 lokasi shelter yang direkomendasikan jika tsunami terjadi akibat gempa bumi di Zona Subduksi Maluku, 2 lokasi berada di Desa Bitung Barat dan Desa Pancuran Kabupaten/Kota Bitung Propinsi Sulawesi Utara dan 2 lokasi lainnya berada di Desa Takofi dan Desa Kalumpang Kabupaten/Kota Ternate Propinsi Maluku Utara.

Kata Kunci: Run-up, Inundasi, GIS, Mitigasi, Subduksi

ABSTRACT

Name : Telly Kurniawan
NIM : 120160203032
Study Program : Disaster Management
Thesis Title : **DETERMINATION OF RUN-UP AND INUNDATION
APPLIED IN GIS FOR TSUNAMI MITIGATION
AT MOLLUCA SUBDUCTION ZONE**

The Maluku Subduction Zone under Maluku Sea is a source of earthquake potential tsunami. Tsunami is a natural disaster that happens very quickly and the impact is very harmful, also the process of handling takes a very long time. The ultimate goal of this research is determining shelter location as a temporary evacuation site when a tsunami occurs due to an earthquake at the Maluku Subduction Zone. The methodological of research used is systematic data processing sequencing from determination of affected area, determination of seismicity, determination of earthquake occurrence using earthquake database BMKG validated with earthquake database GFZ, determination of tsunami simulation and ended with GIS application to determine the location of impact and shelter. The determination of shelter using four criteria, namely: Shelter in the area of tsunami run-up value > 6 meters, Shelter with DEM categorized that high classification tsunami-prone, Shelter in the area with a radius of 500 meters from primary / secondary / tertiary road and Shelter in an affected location that has a population of more than 500 inhabitants / km². The entire series of data processing end up with the intersection stage of the four criteria. The conclusion of this research is that there are 4 shelter locations recommended when a tsunami occurs due to an earthquake in the Maluku Subduction Zone. Two locations are in West Bitung Village and Pancuran Village District of Bitung, North Sulawesi Province and two other locations are in Takofi Village and Kalumpang Village, District of Ternate, North Maluku Province.

Keywords: Run-up, Inundation, GIS, Mitigation, Subduction

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAKSI	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	10
1.3. Tujuan dan Signifikansi Penelitian	11
1.3.1. Tujuan Penelitian	11
1.3.2. Signifikansi Penelitian	11
1.4. Manfaat Penelitian	12
1.4.1. Aspek Teoretis	12
1.4.2. Aspek Praktis	12
1.5. Ruang Lingkup dan Gambaran Desain Penelitian	13
1.5.1. Ruang Lingkup Penelitian	13
1.5.2. Gambaran Desain Penelitian	13
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN, DAN HIPOTESIS	16
2.1. Tinjauan Pustaka	16
2.1.1. Tektonik Lempeng	16

2.1.2. Zona Subduksi dan Gempabumi di Laut Maluku	20
2.1.3. Seismisitas	24
2.1.4. Tsunami, Tsunamigenik dan Karakteristiknya	25
2.1.5. Teori Perairan Dangkal	26
2.1.6. Sistem Informasi Geografis (SIG).....	30
2.1.7. Mitigasi Bencana	31
2.1.8. Tempat Evakuasi Vertikal (Shelter).....	33
2.2. Penelitian Terdahulu	35
2.3. Kerangka Pemikiran	42
2.4. Hipotesis	43
BAB 3. METODE PENELITIAN	44
3.1. Desain Penelitian	44
3.1.1. Penentuan Koordinat Area Berpotensi Terdampak Tsunami	44
3.1.2. Penentuan Kejadian Gempabumi Dan Parameternya	44
3.1.3. Penentuan Area Terdampak Run-Up Tsunami	45
3.1.4. Penentuan Lokasi Geografi Terdampak Tsunami dan Penentuan Shelter	49
3.2. Sumber Data, Subyek dan Obyek Penelitian	52
3.2.1. Sumber Data	52
3.2.2. Subyek Penelitian	53
3.2.3. Obyek Penelitian	53
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	53
3.4. Teknik Analisis Data	53
3.5. Prosedur Penelitian	54
3.5.1 Instrumen Penelitian	54
3.5.2 Pengujian Keabsahan dan Keterandalan Data	54
3.6. Definisi Operasional	55
3.7. Jadwal Penelitian	57
BAB 4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN	59
4.1. Data Penelitian	59

4.2.	Hasil Pengolahan dan Analisis Data.....	60
4.2.1.	Koordinat Area Berpotensi Terdampak Tsunami	60
4.2.2.	Kejadian Gempabumi dan Parameternya	61
4.2.3.	Area Terdampak Run-Up Tsunami	63
4.2.4.	Lokasi Geografi Terdampak Tsunami dan Shelter	69
4.3.	Uji Validitas Lokasi Shelter	97
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....		100
5.1.	Kesimpulan	100
5.1.1.	Koordinat Area Berpotensi Terdampak Tsunami	100
5.1.2.	Kejadian Gempabumi dan Parameternya	100
5.1.3.	Area Terdampak Run-Up Tsunami	100
5.1.4.	Lokasi Geografi Terdampak Tsunami dan Shelter	100
5.2.	Saran	102
DAFTAR REFERENSI		103

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Nama Gambar	Hal
Gambar 1.1	Sumber Gempabumi dan Tsunami Di Indonesia Bagian Timur	1
Gambar 1.2	Letak Sesar Sangihe dan Sesar Halmahera	3
Gambar 1.3	Lokasi Tektonik Indonesia Timur	3
Gambar 1.4	Diagram Alir Desain Penelitian	15
Gambar 2.1	Gambaran Teori Tektonik Lempeng	17
Gambar 2.2	Lempeng-Lempeng Permukaan Bumi	19
Gambar 2.3	Perbatasan Lempeng Menggunakan Bentuk Bumi Oval	20
Gambar 2.4	Zona Subduksi	20
Gambar 2.5	Zona Subduksi Ganda Yang Terjadi Di Laut Maluku	21
Gambar 2.6	Peta Pusat Gempabumi Barat Laut Halmahera Maluku Utara	22
Gambar 2.7	Peta Pusat Gempabumi di Halmahera Barat	23
Gambar 2.8	Peta Seismisitas Indonesia	24
Gambar 2.9	Hubungan Variabel (D) , η dan (h) .	27
Gambar 2.10	Akumulasi Arah Distribusi Gelombang Tsunami	28
Gambar 2.11	Karakteristik Perubahan Ketinggian Gelombang Tsunami	29
Gambar 2.12	Skema Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana	32
Gambar 2.13	Kerangka Pemikiran	42
Gambar 4.1	Peta Seismisitas Menunjukkan Jalur Seismisitas Laut Maluku	61
Gambar 4.2	Event Gempabumi Yang Menjadi Parameter	63
Gambar 4.3	Data Topography/Bathymetri Batasan Lokasi Penelitian	64
Gambar 4.4	Hasil Displacement Sebelum Perhitungan X_{eq} dan Y_{eq}	65

Gambar 4.5	Hasil Displacement after setting parameter dengan Mw=9	67
Gambar 4.6	Tahapan Input Form Tsunami	68
Gambar 4.7	Peta Ketinggian Maksimum Tsunami	68
Gambar 4.8	Fokus Dampak <i>Run-Up</i> Tsunami	70
Gambar 4.9	Data Geografi Propinsi Sesuai Koordinat Dampak Run-Up	71
Gambar 4.10	Hasil Overlay Dampak <i>Run-Up</i> Terhadap Letak Geografi	72
Gambar 4.11	Kabupaten/Kota Propinsi Sulawesi Utara	73
Gambar 4.12	Dampak <i>Run-Up</i> Terhadap Propinsi Sulawesi Utara	74
Gambar 4.13	Kabupaten/Kota Propinsi Sulawesi Tengah	75
Gambar 4.14	Dampak <i>Run-Up</i> Terhadap Propinsi Sulawesi Tengah	75
Gambar 4.15	Kabupaten/Kota Propinsi Maluku Utara	76
Gambar 4.16	Dampak <i>Run-Up</i> Terhadap Propinsi Maluku Utara	77
Gambar 4.17	Kabupaten/Kota Propinsi Gorontalo	78
Gambar 4.18	Dampak <i>Run-Up</i> Terhadap Propinsi Gorontalo	79
Gambar 4.19	Digitasi Points Blok 1	80
Gambar 4.20	Digitasi Points Blok 2	81
Gambar 4.21	Digitasi Points Blok 3.1	83
Gambar 4.22	Digitasi Points Blok 3.2	83
Gambar 4.23	Digitasi Points Blok 4	84
Gambar 4.24	Nilai Run-Up Klasifikasi Tinggi	85
Gambar 4.25	Fokus Area Terdampak Tsunami Berdasarkan Propinsi	86
Gambar 4.26	Data DEM Fokus Area Terdampak Tsunami	87
Gambar 4.27	Data Dem Dibawah 27 m	88
Gambar 4.28	Klasifikasi Kelas Inundasi	89
Gambar 4.29	DEM Klasifikasi Rawan Tsunami Tinggi	90
Gambar 4.30	Jalan Dengan Radius 500 meter	91

Gambar 4.31	Data Jumlah Penduduk/Kabupaten > 500 jiwa/km ²	92
Gambar 4.32	Intersection Kriteria Lokasi Shelter Propinsi Sulawesi Utara	93
Gambar 4.33	Intersection Kriteria Lokasi Shelter Propinsi Maluku Utara	94
Gambar 4.34	Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Bitung Propinsi Sulawesi Utara	95
Gambar 4.35	Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Ternate Bagian Bawah Propinsi Maluku Utara	96
Gambar 4.36	Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Ternate Bagian Atas Propinsi Maluku Utara	96
Gambar 4.37	Analisis Simetris Lokasi Shelter Bagian Atas Propinsi Maluku Utara	97
Gambar 4.38	Uji Lokasi Shelter di Propinsi Sulawesi Utara	98
Gambar 4.39	Uji Lokasi Shelter di Propinsi Maluku Utara	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	37
Tabel 3.1. Pelaksanaan Penelitian	58

DAFTAR SINGKATAN

1. **SIG: Sistem Informasi Geografi**
2. **GIS: Geographic Information System**
3. **MCZ: Molluca Collision Zone**
4. **MSCZ: Molluca Sea Collision Zone**
5. **BHH: Bird's Head-Halmahera**
6. **GPS: Global Positioning System**
7. **INATEWS: Indonesian Tsunami Early Warning System**
8. **BMKG: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika**
9. **BNPB: Badan Nasional Penanggulangan Bencana**
10. **GFZ: GeoForschungsZentrum**
11. **UN-ISDR: United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction**
12. **DEM: Digital Elevation Model**
13. **PODES: Potensi Desa**

DAFTAR LAMPIRAN

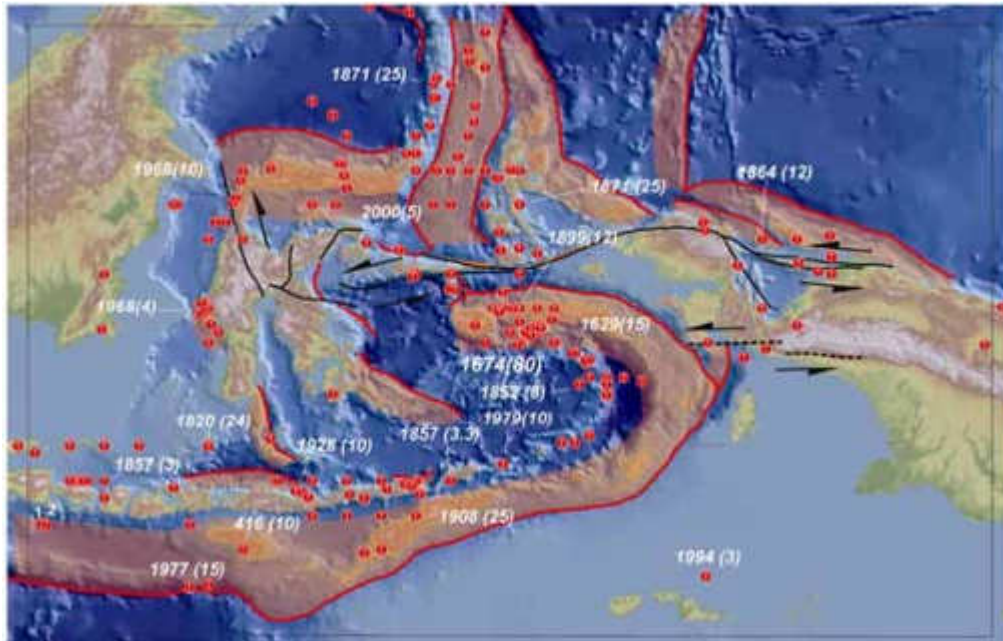
Nama Lampiran	Hal
Lampiran 4.1. Database Gempabumi BMKG.....	109
Lampiran 4.2. Data Event Gempabumi GFZ	122
Lampiran 4.3. Hasil Parameter Database Gempabumi GFZ	123
Lampiran 4.4. Parameter Gempabumi GFZ Moment Tensor Solution	124
Lampiran 4.5. Cuplikan Tabel Data Topography (Bathymetri) <i>Impact_MCZ</i>	125
Lampiran 4.6. Hasil Simulasi Tsunami	126
Lampiran 4.7. Data Digitasi Dampak Run-up di Sulawesi Utara	137
Lampiran 4.8. Data Digitasi Dampak Run-up di Sulawesi Tengah	140
Lampiran 4.9. Data Digitasi Dampak Run-up di Maluku Utara Blok 1	143
Lampiran 4.10. Data Digitasi Dampak Run-up di Maluku Utara Blok 2	145
Lampiran 4.11. Data Digitasi Dampak Run-up di Gorontalo	149

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Potensi mengenai bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia tidak hanya terdapat di Sumatera dan Jawa, tetapi di Indonesia bagian timur pun seperti Sulawesi, Maluku dan Papua juga mempunyai potensi bencana gempa bumi dan tsunami yang lebih besar. Hal ini dibuktikan berdasarkan hasil penelitian data kondisi geologi dan geofisika di Indonesia oleh para ahli kebumihan. Analisis Yudhicara (2014) mengungkapkan bahwa kegempaan di kawasan timur Indonesia harus lebih banyak diteliti, karena selain ancamannya, aktivitas geologi di kawasan itu juga sangat kompleks.

Menurut Hilman (2007), "Salah satu potensi bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia bagian timur adalah adanya jalur tabrakan lempeng dari Timor menerus dan melengkung berlawanan arah jarum jam melingkari Laut Maluku" (p.8). Hasil penelitian Latief (2002) juga menunjukkan lokasi rawan sumber gempa bumi dan tsunami di Indonesia bagian Timur seperti terlihat pada Gambar 1.1.



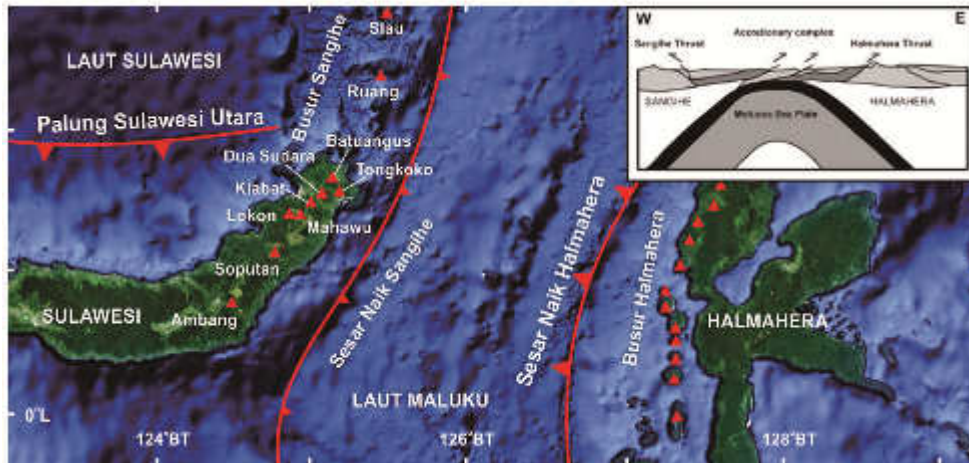
Gambar 1.1. Sumber Gempabumi dan Tsunami di Indonesia Bagian Timur
(Sumber: Latief, 2002)

Pada Gambar 1.1, titik orange menunjukkan sumber gempa bumi yang pernah terjadi, garis merah menunjukkan batas zona penunjaman lempeng samudra terhadap lempeng benua (subduksi), sedangkan bayangan orange muda menunjukkan zona gempa bumi yang berpotensi tsunami, dan text berwarna putih menunjukkan tahun sejarah tsunami yang pernah terjadi dengan nilai *Run-Up* nya.

Mengenai potensi gempa bumi ini, Yudhicara (2014) juga mengungkapkan bahwa mekanisme kegempaan di Indonesia, terutama di kawasan Indonesia Timur belum terpetakan dengan baik, sehingga butuh banyak penelitian untuk memahami mekanisme dan potensi ancamannya pada masa mendatang, mengingat banyaknya catatan gempa bumi dan tsunami besar di kawasan timur itu.

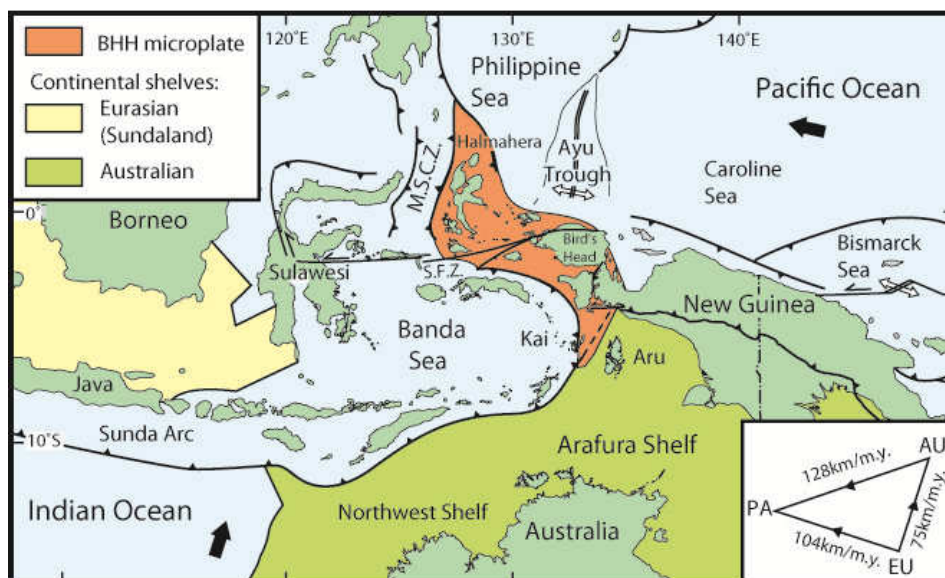
Belum banyaknya publikasi penelitian tentang potensi bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia bagian timur, membuat informasi tentang pentingnya kesiapsiagaan menghadapi tsunami menjadi minim diterima oleh pemerintah dan masyarakat, padahal dari segi geografi yang dihubungkan dengan pertahanan nasional, Indonesia bagian timur juga mempunyai letak strategis yang berbatasan dengan negara lain, yang membutuhkan sistem pertahanan nasional ketika ada bagian dari negara kita yang dilanda bencana. Sistem pertahanan nasional ini penting, agar stabilitas dan keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia dapat terjaga dari segala jenis ancaman yang datang, baik langsung maupun dampaknya secara tidak langsung.

Salah satu potensi bencana yang mengancam di Indonesia Timur adalah potensi tsunami yang bersumber dari gempa bumi yang terjadi di bawah Laut Maluku, karena pada lokasi ini terdapat Zona Tumbukan Maluku (*Molluca Collision Zone*). Zona ini sangat unik karena pada zona ini terdapat subduksi ganda (*double subduction*) yang mengapit Laut Maluku yaitu di bagian barat terdapat Sesar Sangihe dan di bagian timur terdapat Sesar Halmahera (Meilano, 2014). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.2, hasil penelitian Colin G. Macpherson, Emily J. Forde, Robert Hall dan Matthew F. Thirlwall (2003).



Gambar 1.2. Letak Sesar Sangihe dan Sesar Halmahera
(Sumber: Macpherson et al, 2003)

Penelitian lain yang menunjukkan adanya zona tumbukan di Laut Maluku adalah hasil penelitian Charlton (2000), yang ditunjukkan pada Gambar 1.3. Hasil penelitian lokasi potensi gempa bumi pembangkit tsunami di Laut Maluku ini diberi nama *Molucca Sea Collision Zone* (MSCZ) yang pada intinya menunjukkan hal yang sama yaitu MSCZ diapit oleh 2 (dua) zona tumbukan dibagian barat dan timur. Hasil pengolahan data yang menjadi informasi lain pada penelitian ini yaitu dapat menunjukkan luasan lempeng *Microplate* Halmahera yang ditandai warna orange dan diberi nama *Bird's Head-Halmahera* (BHH).



Gambar 1.3. Lokasi Tektonik Indonesia Timur
(Sumber: Charlton et al, 2000)

Keberadaan 2 (dua) zona subduksi di Laut Maluku ini diperkuat oleh hasil penelitian Shiddiq et al.,(2015), yang telah dipublikasikan pada “The 9th International Workshop on Statistical Seismology, 14-18 June 2015, Potsdam, Germany”, dengan judul penelitian “Spatiotemporal Variation Of B-Value In Molucca Collision Zone Using High Precision Relocated Hypocenters”, yang menggunakan teknik pencitraan tomografi tingkat tinggi, berhasil menunjukkan dengan jelas posisi Zona Subduksi Maluku.

Zona subduksi ini menjadi latar belakang pemilihan lokasi penelitian karena zona ini mempunyai potensi bencana gempa bumi pembangkit tsunami, yang akan mengancam timbulnya korban jiwa dan kerusakan di kepulauan Sulawesi, Maluku dan sekitarnya, sehingga perlu kewaspadaan terhadap perioda ulang sejarah terjadinya suatu kejadian gempa bumi yang dapat membangkitkan tsunami di Laut Maluku ini.

Sejarah tsunami di Maluku yang terdapat dalam Jurnal Segara yang ditulis oleh Wallansha et al.(2015), menyebutkan bahwa Tsunami pada 17 Februari 1674 telah menewaskan 2900 orang dengan *Run-Up* tertinggi mencapai 80 meter dan menghancurkan kota Ambon, kemudian Tsunami pada tanggal 12 Oktober 1899 menenggelamkan Kota Amahai di Pulau Seram, dengan korban tewas mencapai 4000 orang.

Sumber mengenai sejarah gempa bumi pembangkit tsunami yang terjadi di Laut Maluku juga terdapat pada Katalog Tsunami Indonesia tahun 416-2014 yang disusun Kedeputian Bidang Geofisika BMKG (2015), contoh event yang tercatat dalam katalog tersebut adalah sebagai berikut:

- Gempabumi 1673 menimbulkan gelombang yang cukup besar dan terjadi tsunami di Gamkonora (Wichman,1918 dan Heck,1947);
- Gempabumi 1858 $M=7.2$ SR menimbulkan tsunami cukup parah;
- Gempabumi 1871 menimbulkan inondasi sejauh 200 m, diikuti kerusakan di Kep. Sangihe, Kep. Tagulandang, Buhias, Kep.Ruang. (Wichmann,1918), (Sapper,1927), (Sieberg,1932), (Heck,1947);
- Gempabumi 1889 dengan kekuatan gempa 8 SR kemudian diikuti tsunami di Kep. Sangihe, Raung. (Sapper,1927);

- Gempabumi 4 Mei 2000 dengan $M=7.6$ SR dan Intensitas maksimum VII MMI, menimbulkan tsunami di Pulau Peleng dan Kepulauan Banggai yang menyebabkan 50 orang meninggal.

Sumber lain yang juga menyebutkan sejarah gempabumi dan tsunami di Maluku adalah catatan yang ditulis oleh Daryono (2015), Kepala Bidang Mitigasi Gempabumi dan Tsunami BMKG 2015, dengan judul “Catatan Sejarah Gempabumi Dan Tsunami Maluku Utara”. Isi catatan sejarah ini menyebutkan bahwa kawasan zona sumber gempabumi Maluku Utara-Sangihe memiliki beberapa sejarah tsunami sebagai berikut:

- Tsunami Banggai-Sangihe-Ternate 1858 dilaporkan menyebabkan seluruh bangunan rumah di kawasan pesisir pantai timur Sulawesi, Banggai, dan Sangihe disapu tsunami;
- Tsunami Kema-Minahasa 1859 dilaporkan memicu gelombang tsunami hingga mencapai atap bangunan rumah;
- Tsunami Gorontalo 1871 dilaporkan menerjang sepanjang kawasan pesisir Pantai Gorontalo;
- Tsunami dahsyat Tahuna 1889 menerjang pesisir pantai hingga terjadi kenaikan air laut sekitar 1,5 meter;
- Tsunami Kepulauan Talaud 1907 menerjang kawasan pantai hingga ketinggian mencapai 4 meter; dan
- Tsunami Pulau Salebabu 1936 dilaporkan menerjang pantai dengan ketinggian hingga mencapai 3 meter.

Catatan sejarah kegempaan di Laut Maluku yang menimbulkan tsunami juga diungkapkan Meilano dan Irsyam (2014), yaitu gempabumi 1858 dengan $M= 7,4$ SR dan gempabumi 1932 dengan $M= 8,3$ SR.

Kejadian sejarah gempa di bawah Laut Maluku ini diperkuat juga oleh referensi survey lapangan yang ditulis Diposaptono dan Budiman (2006) dalam buku “Tsunami”. Dalam buku tersebut tertulis gempabumi pada 4 Mei 2000 melanda Banggai Sulawesi Tengah, menyebabkan tsunami yang menghancurkan seluruh bangunan yang ada dipantai dan menyebabkan 45 orang meninggal.

Gambaran catatan sejarah tsunami yang telah diungkapkan tersebut dapat dijadikan dasar sebagai referensi bahwa Maluku dan sekitarnya memang merupakan zona rawan gempa bumi dan tsunami. Melihat frekuensi yang tinggi dan rata-rata kekuatan gempa yang besar di wilayah Maluku maka sangat penting untuk mengkaji dengan seksama potensi bencana gempa bumi dan tsunaminya di masa depan, untuk dapat mengantisipasi kerusakan dan korban jiwa. Dengan peningkatan jumlah penduduk di Maluku dan sekitarnya, tentunya jika bencana tsunami terjadi di waktu yang akan datang dapat berdampak luar biasa. Hilman (2007) juga mengungkapkan bahwa jangkauan tsunami bukan hanya mengancam Maluku melainkan sampai ke wilayah yang lebih luas lagi, termasuk Bali-Lombok-Sumbawa dan Makasar.

Latar belakang pemilihan penelitian mengambil tema tentang Tsunami, karena Tsunami merupakan salah satu potensi bencana alam yang kejadiannya sangat singkat dan dampaknya sangat merugikan, yang dalam waktu sekejap menyebabkan kerusakan sarana-prasarana, memakan banyaknya korban jiwa serta proses penanggulangan bencana sampai rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana membutuhkan waktu yang sangat lama. Hal itu terjadi karena ketika gelombang tsunami yang datang dari tengah lautan melaju dengan sangat cepat dan ketika mendekati pantai, ketinggian gelombang tsunami akan semakin tinggi dan dengan volume air yang besar dapat merusak dan menghanyutkan apa saja yang dilaluinya.

Salah satu bukti kejadian tsunami yang pernah terjadi di Indonesia adalah Tsunami Aceh pada tanggal 26 Desember 2004, tsunami ini terjadi akibat gempa maha dahsyat dengan kekuatan 9,3 SR yang mengguncang di Samudra Hindia, lepas pantai barat Aceh. Gempa ini menimbulkan gelombang tsunami yang meluluhlantahkan Aceh sampai ke Sumatera Utara, Pantai Barat Semenanjung Malaysia, Thailand, Pantai Timur India, Sri Lanka, bahkan sampai Pantai Timur Afrika (Triawanati, 2008).

Fakta yang terjadi pada Tsunami Aceh tanggal 26 Desember 2004, menunjukkan bahwa pada kejadian itu, tsunami dikategorikan sebagai

bencana, dan ini sesuai dengan UN-ISDR (*United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction*) Tahun 2000 yang mendefinisikan bencana yaitu “suatu gangguan yang serius terhadap keberfungsian masyarakat, menyebabkan kerugian yang meluas pada kehidupan manusia dari segi materi, ekonomi atau lingkungan dan gangguan itu melampaui kemampuan masyarakat yang bersangkutan untuk mengatasinya dengan menggunakan sumber daya mereka sendiri”.

Tsunami dikategorikan bencana juga sesuai dengan definisi menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan bencana yang mendefinisikan bencana yaitu “suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat dari mulai korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis”.

Akhir penelitian ini adalah penerapan langkah Mitigasi agar penelitian ini tidak hanya menunjukkan potensi yang berbahaya saja tetapi dapat menunjukkan lokasi evakuasi yang efektif dengan akses jalan yang ada. Berdasarkan pengalaman Tsunami 2004, maka kita harus melakukan mitigasi bencana Tsunami, karena dengan mitigasi, kita berupaya meminimalisir dampak tsunami, agar sebelum bahaya datang, kita sudah mempersiapkan secara dini untuk terhindar dari ancaman korban jiwa.

Definisi mitigasi itu sendiri dapat diartikan bagaimana upaya memperkecil dampak atau serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (Undang-Undang No 24 Tahun 2007).

Upaya mengurangi risiko bencana yang terdapat dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 merupakan bagian dari Sistem Pertahanan Negara Indonesia. Sistem pertahanan negara ini tertuang dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 tahun 2002 tentang Pertahanan Negara pasal 1 ayat 2, yaitu sistem pertahanan negara adalah sistem pertahanan yang bersifat semesta yang melibatkan seluruh warga negara, wilayah, dan sumber daya nasional lainnya, serta

dipersiapkan secara dini oleh pemerintah dan diselenggarakan secara total, terpadu, terarah, dan berlanjut untuk menegakkan kedaulatan negara, keutuhan wilayah, dan keselamatan segenap bangsa dari segala ancaman.

Salah satu tujuan yang tersebut dalam Sistem Pertahanan Semesta yaitu keselamatan segenap bangsa dari segala ancaman, merupakan bagian penting dalam hubungannya dengan Keamanan Nasional karena didalam Keamanan Nasional terkandung tujuan nasional yang tertuang dalam Pembukaan Undang-Undang Dasar (UUD) Republik Indonesia tahun 1945 alinea ke-4 (empat) yang berbunyi: "Negara melindungi segenap bangsa dan seluruh tumpah darah Indonesia,". Dalam alinea ini sangat jelas menunjukkan suatu konsep Keamanan Nasional, karena ketika ada bencana, Negara punya tanggungjawab untuk melindungi segenap bangsa dan seluruh tumpah darah Indonesia. Perlindungan dari negara inilah yang akan menjadi faktor hadirnya rasa aman pada setiap warga negara Indonesia, sehingga menjadi spirit dan munculnya patriotisme seluruh warga negara Indonesia untuk bersama-sama menjaga negara kita dari berbagai macam ancaman yang datang dari dalam dan dari luar, dalam bentuk apapun.

Keamanan Nasional ini bermula dari terwujudnya keamanan insani sebagai satuan terkecil rasa aman terhadap warga negara, sebab terganggunya keamanan insani yang meluas dapat membuat keamanan nasional menjadi terganggu. Sesuai definisi rasa aman yaitu terpenuhinya kebutuhan tanpa adanya ancaman atau rasa takut, maka ancaman atau rasa takut pada suatu wilayah inilah yang perlu diantisipasi baik oleh masyarakat itu sendiri dan oleh pemerintah, agar tidak menjadi ancaman nasional (Sekretariat Jenderal Dewan Ketahanan Nasional, 2010).

Pada Undang-undang Nomor 3 Tahun 2002 Pasal 7 Ayat 3 tersebut berdasarkan karakteristik ancaman, bencana alam termasuk kategori ancaman langsung yang bersifat non militer yang harus dihadapi dengan 2 (dua) unsur kekuatan yaitu unsur utama dalam hal ini lembaga pemerintah diluar bidang pertahanan sesuai dengan bentuk dan sifat

ancaman yang dihadapi, dengan didukung oleh unsur lain kekuatan bangsa sesuai dengan tugas pokok dan fungsinya.

Sesuai Peraturan Pemerintah RI Nomor 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana, pada saat pra-bencana, dalam rangka peringatan dini menghadapi potensi Tsunami, melalui Peraturan Presiden RI Nomor 61 Tahun 2008, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah lembaga pemerintah non-kementerian yang merupakan unsur utama dalam melakukan tugas, pokok dan fungsi monitoring mengenai potensi tsunami di Indonesia, sehingga ketika akan terjadi tsunami, BMKG merupakan instansi resmi untuk memberikan informasi peringatan dini terhadap lokasi yang akan terdampak tsunami melalui sistem INATEWS (*Indonesian Tsunami Early Warning System*) yang sudah berjalan sekarang ini. Pengembangan terus menerus dilakukan BMKG, dari segi monitoring dan pengolahan data pergerakan lempeng bumi yang selalu dinamis.

Sedangkan secara nasional mengenai penanggulangan bencana, sesuai Peraturan Presiden RI Nomor 8 Tahun 2008, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) merupakan lembaga pemerintah non kementerian yang menjadi unsur utama dalam penanggulangan bencana. Unsur lain kekuatan bangsa dapat bersinergi bersama-sama dalam rangka Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana baik dari mulai pra-bencana sampai dengan pasca bencana, bahkan TNI yang merupakan komponen utama dalam menghadapi ancaman militer, ikut bersama-sama menjadi unsur lain yang bekerja dengan sigap, cepat dan tepat dalam menghadapi penanggulangan bencana non militer ini baik saat tanggap darurat dan pasca bencana.

Dalam hal hubungannya dengan bencana tsunami, maka penduduk yang punya potensi terdampak dapat menjadi bagian dari unsur lain, yaitu unsur pendukung dengan memberikan pelatihan tentang kesiapsiagaan menghadapi bencana. Unsur pendukung lain adalah pemanfaatan faktor fisik alam di sepanjang pantai seperti mempertahankan dan memperbanyak hutan pantai sebagai pemecah gelombang agar

mencegah gelombang tsunami masuk ke daratan. Mitigasi dengan membangun shelter juga termasuk dalam unsur pendukung dalam tahap pra-bencana untuk kebutuhan penduduk ketika tsunami datang.

Latar belakang kondisi real dari aspek geografi, geologi dan geofisika serta ilmu kebencanaan yang telah diuraikan diatas menjadi bahan dalam penelitian ini, dengan diawali proses penentuan nilai *Run-Up* dan inundasi tsunami akibat gempa bumi di Zona Subduksi Maluku, kemudian dalam hubungannya dengan mitigasi sebagai langkah kesiapsiagaan menghadapi potensi ancaman ini, akan diteliti lebih lanjut menggunakan sistem informasi geografi, agar risiko dari potensi ancaman tersebut dapat diketahui daerah mana saja yang terdampak tsunami untuk kemudian ditentukan daerah mana yang terbaik untuk lokasi shelter sesuai kondisi lokasi dan jumlah penduduk di area terdampak, sehingga judul proposal tesis ini adalah "**Penentuan *Run-Up* Dan Inundasi Diaplikasikan Dalam SIG Untuk Mitigasi Tsunami Di Zona Subduksi Maluku.**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada subbab 1.1, maka perumusan masalah akan dilakukan secara sistematis dimulai dari aspek ilmu alam dengan metoda geofisika untuk menentukan besarnya dampak tsunami suatu area, kemudian dalam rangka mitigasi, diikuti aspek penerapan sistem informasi geografi untuk menentukan nama lokasi terdampak dan terakhir menentukan analisis lokasi shelter sesuai area terdampak dan kriteria informasi geografi disekitar lokasi terdampak..

Secara sistematis maka pertanyaan penelitian dalam tesis ini ditunjukkan sebagai berikut:

- Dimana koordinat area yang mempunyai potensi terdampak tsunami akibat gempa bumi pembangkit tsunami di Zona Subduksi Maluku?
- Kejadian gempa bumi manakah yang akan dijadikan input simulasi penjalaran gelombang tsunami?
- Dimana area terdampak *Run-Up* tsunami berdasarkan simulasi penjalaran gelombang tsunami tersebut?

- Dimana lokasi geografi terdampak tsunami dan tempat evakuasi vertikal (shelter) yang harus ditentukan berdasarkan lokasi geografi terdampak tsunami dan beberapa kriteria informasi geografi sekitar area lokasi terdampak?

1.3 Tujuan dan Signifikansi Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan sistematika perumusan masalah maka tujuan penelitian dari tesis ini adalah:

- Menganalisis koordinat area yang mempunyai potensi terdampak tsunami akibat terjadinya gempa bumi pembangkit tsunami di Zona Subduksi Maluku.
- Menganalisis kejadian gempa bumi yang akan dijadikan input simulasi penjalaran gelombang tsunami
- Menganalisis area terdampak *Run-Up* tsunami berdasarkan simulasi penjalaran gelombang tsunami.
- Menganalisis lokasi geografi terdampak tsunami dan tempat evakuasi vertikal (shelter) berdasarkan lokasi geografi terdampak tsunami dan beberapa kriteria informasi geografi sekitar area lokasi terdampak.

1.3.2 Signifikansi Penelitian

Signifikansi penelitian ini adalah kita dapat mengetahui daerah mana saja yang punya potensi bahaya tsunami dari mulai pinggir pantai sampai dengan daratan terjauh (inundasi), sehingga menambah ilmu dan wawasan tentang peta ancaman tsunami dari gempa bumi besar di Zona Subduksi Maluku.

Dari aspek aplikatif, dengan menentukan lokasi evakuasi vertikal (shelter) sebagai bagian dari mitigasi struktural dapat menjadi salah satu solusi penanggulangan bencana tsunami yang merupakan langkah efektif dalam pengurangan risiko bencana dari ancaman tsunami yang mempunyai karakteristik kecepatan gelombang sangat tinggi yang tidak dapat dihindari oleh masyarakat pesisir pantai dengan menggunakan evakuasi horisontal.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian terdiri dari aspek teoretis (keilmuan) dan aspek praktis.

1.4.1 Aspek Teoretis

Manfaat penelitian dari aspek teoretis adalah kita dapat menambah ilmu dan wawasan yang luas tentang manajemen bencana yang ibarat sapulidi, manajemen bencana merupakan kumpulan berbagai macam ilmu, ilmu-ilmu ini tetap dapat berdiri sendiri dan akan berfungsi dimasyarakat jika digunakan secara bersama-sama. Dari sisi teoretis manajemen kebencanaan berawal dari pengetahuan latar belakang ilmu geologi, geofisika dan geografi. Dari sisi teoretis ilmu-ilmu ini dapat menambah pengalaman dalam pengolahan data tsunami yang dapat memberikan informasi lokasi yang mempunyai potensi bahaya tsunami, sehingga dapat menjadi bahan diskusi dan penelitian lebih lanjut untuk menghasilkan informasi yang akurat dan berguna bagi para peneliti lainnya dalam upaya pengurangan risiko bencana. Ilmu ini juga dapat menjadi bahan pelajaran untuk mencari solusi menghadapi bencana agar dapat meminimalisir kerusakan dan kehilangan korban jiwa yang akan bermuara pada pentingnya sistem pertahanan negara terhadap bencana sehingga terjaganya keamanan nasional.

1.4.2 Aspek Praktis

Manfaat dari aspek praktis adalah dapat memberikan masukan kepada pengguna informasi, pemerintah sebagai pengambil kebijakan dan masyarakat, mengenai informasi analisis ancaman lokasi yang punya potensi tsunami. Informasi ini dapat menjadi bagian dari kesiapsiagaan untuk masyarakat di daerah rawan tsunami dan masukan bagi pemerintah yaitu langkah persiapan secara dini dari segi infrastruktur dengan menyusun rencana tata-ruang dan evakuasi dalam menghadapi potensi bencana tsunami yang akan datang. Kesiapsiagaan dengan melakukan langkah mitigasi sesuai output terakhir penelitian ini yaitu penentuan tempat evakuasi vertikal (shelter) dapat menjadi salah satu program peningkatan kapasitas dalam menghadapi kejadian datangnya

tsunami, sesuai masterplan PRB Tsunami BNPB 2012, untuk memberikan perlindungan bagi masyarakat yang tinggal dikawasan rawan tsunami, agar risiko ancaman tsunami terhadap korban jiwa dapat diminimalisir.

1.5 Ruang Lingkup dan Gambaran Desain Penelitian

1.5.1 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam ruang lingkup penelitian, penulis bagi menjadi 2 (dua), yaitu ruang lingkup materi dan ruang lingkup studi. Ruang lingkup materi yaitu diawali dengan mengenal kondisi geologi, kondisi geofisika dan letak geografi Indonesia sebagai sumber terjadinya bencana Tsunami kemudian diterapkan dalam ilmu manajemen bencana yang merupakan bagian dari ilmu sistem pertahanan negara yang bersifat non militer melalui ilmu sistem informasi geografi menggunakan software SIG. Dalam lingkup materi didalamnya berisi tentang latar belakang dan karakteristik gempabumi pembangkit tsunami dan pengolahan data lokasi gempabumi penggunaan aplikasi seismisitas dan database gempabumi, penentuan data topografi (bathymetri) menggunakan software Geodas, serta pengolahan data distribusi simulasi penjalaran gelombang tsunami menggunakan software Tsunami-L

Sementara ruang lingkup studi dibatasi pada literatur lokasi yang berada pada daerah yang mempunyai potensi kegempaan yang akan menimbulkan kejadian tsunami besar, dalam hal ini adalah Zona Subduksi Maluku.

1.5.2 Gambaran Desain Penelitian

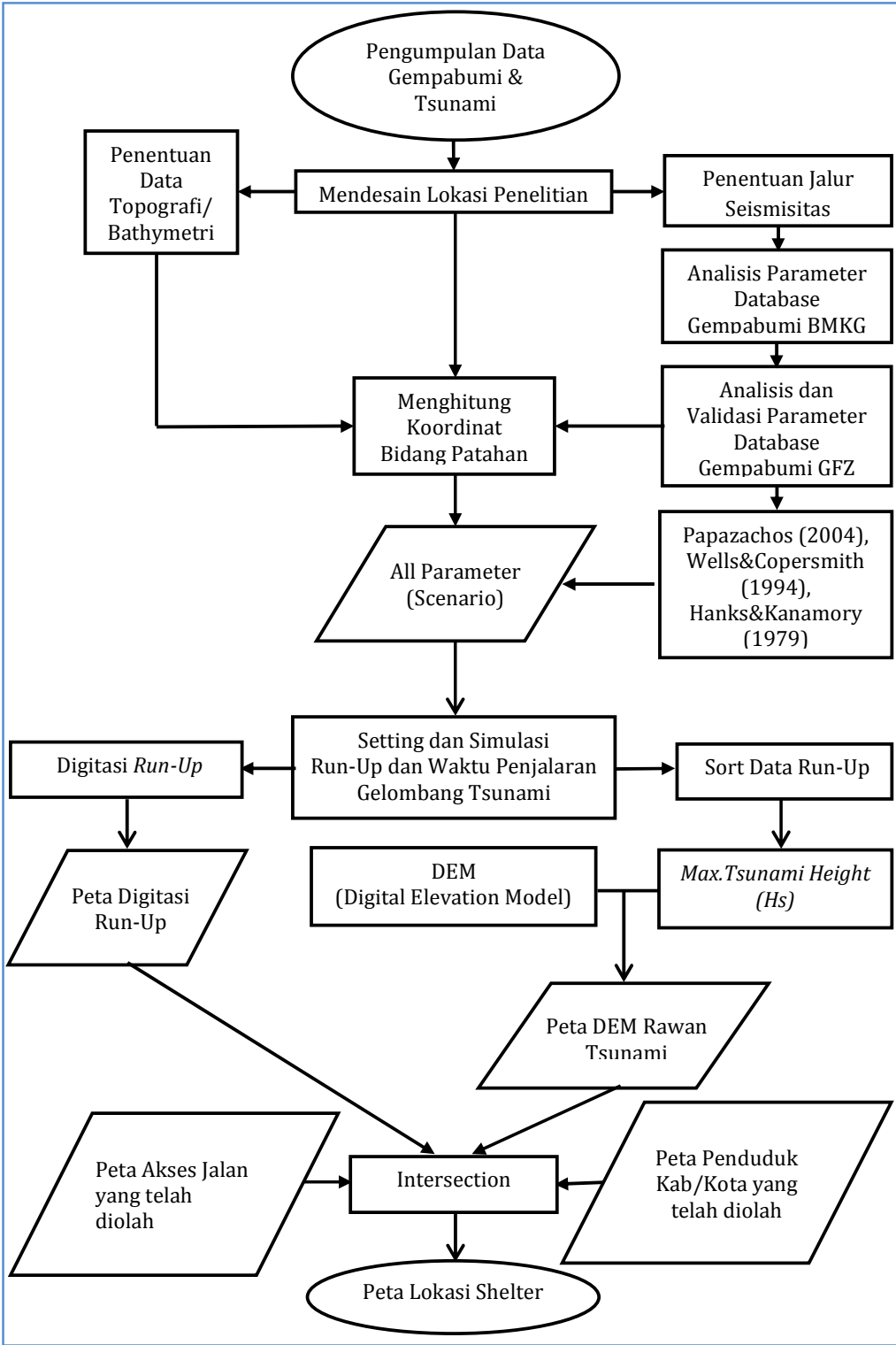
Gambaran desain dalam penelitian ini merupakan sebuah konsep penelitian yang diolah secara kuantitatif yaitu menggunakan data angka (Kuntjojo, 2009). Secara kuantitatif penelitian berawal dari pencarian data history gempabumi dan tsunami untuk menentukan batas koordinat maksimum area terdampak tsunami, kemudian dicari data topografi (bathymetri)-nya berdasarkan batas koordinat maksimum area terdampak tsunami tersebut melalui software Geodas, suatu software yang sudah terintegrasi dengan data topografi (bathymetri) seluruh permukaan bumi.

Selain itu data histori gempabumi dan tsunami ini juga diteliti untuk menentukan jalur seismik aktif, pencarian data ini menggunakan aplikasi pengolahan database gempabumi melalui aplikasi *Seismicity Analysis System (earthquake catalog)*, kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan Database Gempabumi BMKG dan divalidasi menggunakan Database Gempabumi GeoForschungsZentrum (GFZ), GFZ adalah suatu institusi dari negara Jerman yang melakukan pengamatan peralatan monitoring gempabumi stasioner yang sangat baik. Dari data history tersebut kemudian ditentukan kejadian sumber gempabumi besar yang dapat membangkitkan tsunami dengan melihat semua parameter gempabumi dan parameter bidang patahan dari gempabumi tersebut, yang akan dijadikan input simulasi penjalaran gelombang tsunami.

Setelah itu akan dibuat simulasi penjalaran gelombang tsunaminya berdasarkan studi kasus gempabumi tersebut, untuk menentukan waktu penjalaran dan nilai *Run-Up* (tinggi tsunami) menggunakan software Tsunami-L yaitu suatu software pemodelan tsunami. Simulasi ini dibuat dengan menginputkan data topography (bathymetri) dan parameter gempabumi kedalam software tersebut. Semua parameter gempabumi dan parameter bidang patahan sebelum diinput ada yang harus diolah melalui perumusan matematis yaitu Persamaan Papazachos et al. (2004), persamaan Wells and Coppersmith (1994) dan persamaan Hanks and Kanamory (1979). Dari hasil data pemodelan ini diperoleh area yang terdampak *Run-Up* tsunami. Selain itu, untuk menentukan nilai jarak inundasi tsunami, dapat menggunakan perumusan Hills& Mader (1997).

Software terakhir yang digunakan adalah software SIG, untuk mengolah data dari hasil software pemodelan tsunami, dalam pengolahan ini dibuat terlebih dahulu 4 (empat) kriteria penentuan shelter. Kriteria pertama, nilai *Run-Up* tsunami diklasifikasikan berdasarkan nilai digitasi, kriteria kedua nilai *Run-Up* diolah dengan data Digital Elevation Model (DEM), kriteria ketiga adalah akses jalan dan kriteria keempat adalah jumlah penduduk dilokasi rawan tsunami tersebut.

Desain penelitian melalui diagram alir ditunjukkan pada Gambar 1.4 dibawah ini:



Gambar 1.4. Diagram Alir Desain Penelitian (Sumber: Peneliti, 2017)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN, DAN HIPOTESIS

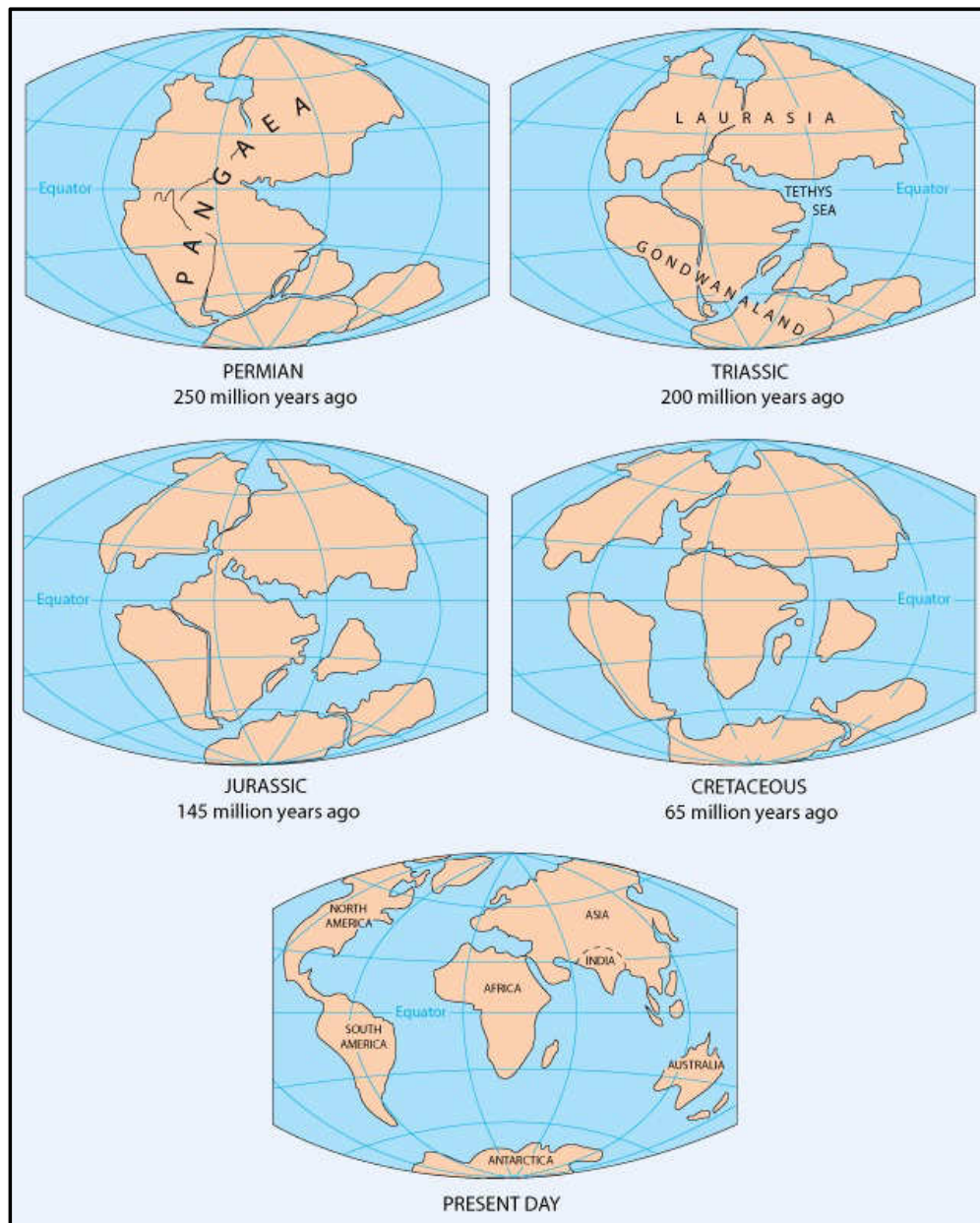
2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Tektonik Lempeng

Dengan mempelajari teori tektonik lempeng, maka kita dapat mengetahui proses penyebab utama pergerakan dan terpecahnya lempeng dibawah permukaan bumi ini dan kita dapat mengetahui asal mula terjadinya gempa bumi akibat pergerakan lempeng-lempeng ini.

Teori tektonik lempeng yang terkenal pertamakali adalah teori Continental Drift yaitu teori Pengapungan Benua, yang berawal dari hipotesa yang dikemukakan oleh Francis Bacon (1662), yaitu adanya pengamatan terhadap kesamaan garis pantai Amerika Selatan bagian Timur dengan Afrika Barat, tapi Francis Bacon tidak mengatakan bahwa benua tersebut pernah bersatu. Hipotesa ini kemudian dipresentasikan dalam bentuk teori oleh Alfred Wegener (1912) dihadapan para Ahli Geologi, yang dikenal dengan "Teori Continental Drift" (Ahmad, 2000). Dalam teori tersebut dinyatakan bahwa lempeng ini mengapung karena berada diatas lapisan materi yang bersifat viscous, dan kontinen yang ada sekarang dulunya hanya merupakan satu kontinen yang disebut Pangea, kemudian kontinen ini terpecah-pecah ke berbagai arah (Kious and Tilling, 1996), gambar perpecahan lempeng ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Teori yang selanjutnya memperkuat Teori Continental Drift adalah Teori Seafloor Spreading yang dikemukakan oleh Harry Hess tahun 1960 yaitu teori tentang pemekaran lantai samudera (Desonie, 2012). Teori ini berhasil menjelaskan permukaan-permukaan bumi dan memberikan informasi tentang proses-proses didalam bumi. Pada akhir 1950, para ahli oseanografi membuktikan adanya jajaran pegunungan dibawah laut dan membujur di sepanjang dasar lautan bumi kita, yang dinamakan ridge (punggung) di tengah samudera, dimana gempa bumi biasanya terjadi akibat proses perpecahan kontinen (Ahmad, 2000).



Gambar 2.1. Gambaran Teori Tektonik Lempeng
(Sumber: Kious and Tilling, 1996)

Gabungan Teori Continental Drift dan Teori Seafloor Spreading diperkuat oleh ahli-ahli seperti Bullard, McKenzie dan RL.Parker (1967) kemudian W.J. Morgan (1968), yang pada dasarnya menunjukkan bahwa di bawah lapisan litosfer terdapat astenosfer yang berbentuk padat tetapi mengalir berupa cairan yang sangat panas dan bergerak dengan sangat lambat dalam skala waktu geologi yang sangat lama. Pergerakan dalam

waktu skala geologi yang lama ini karena adanya viskositas yaitu kekentalan suatu fluida yang mempengaruhi besar kecilnya gesekan dan kekuatan geser pada lempeng-lempeng tersebut. Inilah yang membuat lempeng-lempeng bergerak terus dengan dinamis.

Teori Tektonik Lempeng (Plate Tectonics) adalah teori dalam bidang geologi yang dikembangkan untuk memberi penjelasan terhadap adanya bukti-bukti pergerakan skala besar yang terjadi pada bagian terluar dari interior bumi. Bagian paling atas dari interior bumi disebut litosfer merupakan kerak bumi terluar yang terdiri atas lempeng-lempeng. Lempeng-lempeng ini tebalnya sekitar 100 km dan terdiri atas hamparan salah satu dari dua jenis material kerak, yaitu kerak samudera dan kerak benua (Widiyantoro, 2007).

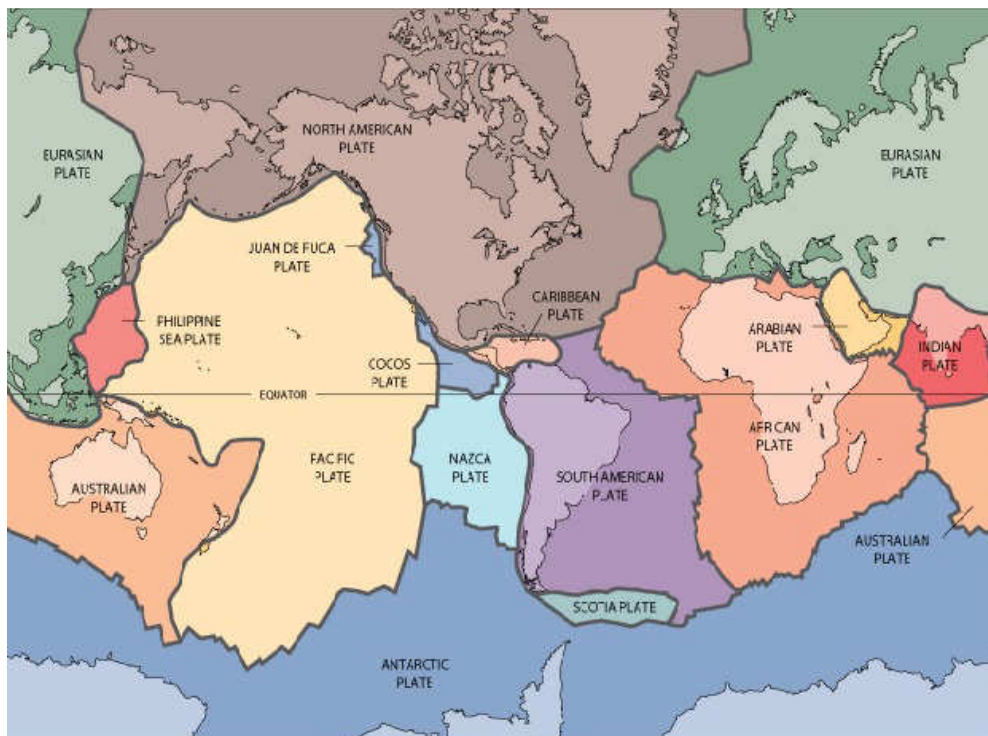
Ahmad (2000) juga menyebutkan bahwa:

“Kedua jenis kerak ini berbeda dari segi ketebalan dimana kerak benua memiliki ketebalan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kerak samudera. Kerak samudera umumnya berada di bawah permukaan laut seperti sebagian besar Lempeng Pasifik, sedangkan kerak benua timbul ke atas permukaan laut, karena adanya prinsip isostasi yaitu suatu proses kesetimbangan antara batuan berat yang dimiliki lempeng samudera yang menunjam batuan ringan yang dimiliki lempeng benua. Peristiwa tumbukan yang terjadi antara lempeng samudra yang menunjam lempeng benua inilah yang dinamakan zona subduksi. Lempeng-lempeng tektonik utama yang besar dan sudah diketahui selama ini adalah:

- Lempeng Amerika Selatan, meliputi Amerika Selatan (lempeng benua);
- Lempeng Amerika Utara, meliputi Amerika Utara dan Siberia (lempeng benua);
- Lempeng Afrika, meliputi Afrika (lempeng benua);
- Lempeng Antarktika, meliputi Antarktika (lempeng benua);
- Lempeng Eurasia, meliputi Asia dan Eropa (lempeng benua);

- Lempeng Indo-Australia, meliputi India dan Australia - gabungan lempeng benua dan samudra, bagian lempeng samudra inilah yang terus aktif bertumbukan dengan Lempeng Eurasia secara dinamis, yang menyebabkan potensi gempa bumi di Indonesia bagian Barat;
- Lempeng Pasifik, meliputi Samudera Pasifik - lempeng samudera, lempeng ini yang terus aktif menumbuk lempeng Eurasia dan lempeng Filipina, yang menyebabkan potensi gempa bumi di Indonesia bagian Timur.

Semua lempeng tersebut yang disebutkan diatas berdasarkan kondisi tektonik, dapat dilihat pada Gambar 2.2.

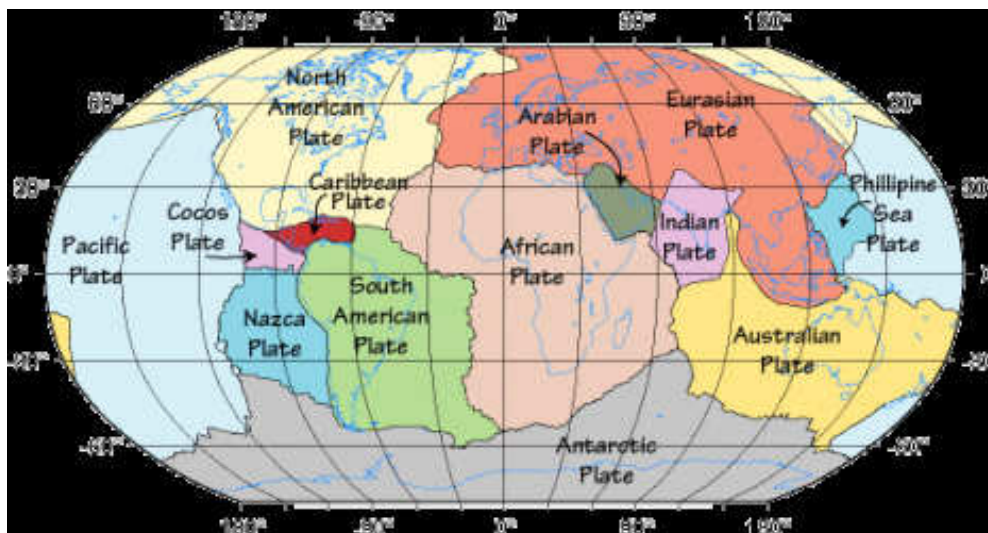


Gambar 2.2. Lempeng-Lempeng Permukaan Bumi.

(Sumber: Stein, S. Schramm, K. Swafford, L., 2005).

Pada Gambar 2.2 terlihat pula lempeng yang lebih kecil, seperti: Lempeng Arabia, Lempeng Karibia, Lempeng Juan de Fuca, Lempeng Cocos, Lempeng Nazca, Lempeng Filipina dan Lempeng Scotia.

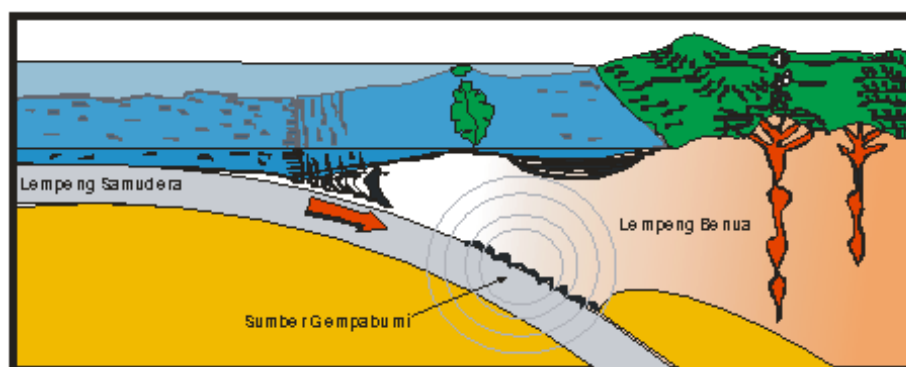
Penggambaran letak-letak lempeng dipermukaan bumi dalam bentuk menyerupai bumi oval juga dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Perbatasan Lempeng Menggunakan Bentuk Bumi Oval
(Sumber: <http://thebritishgeographer.weebly.com/plate-tectonic-theory.html>)

2.1.2. Zona Subduksi dan Gempabumi di Laut Maluku

Tujuan mengetahui zona subduksi adalah kita dapat mengetahui lokasi terjadinya gempabumi pembangkit tsunami. Zona subduksi adalah suatu zona pertemuan terjadinya tumbukan dan penunjaman lempeng samudra terhadap lempeng benua yang terjadi terus menerus secara dinamis. Penggambaran tentang zona subduksi terlihat pada Gambar 2.4

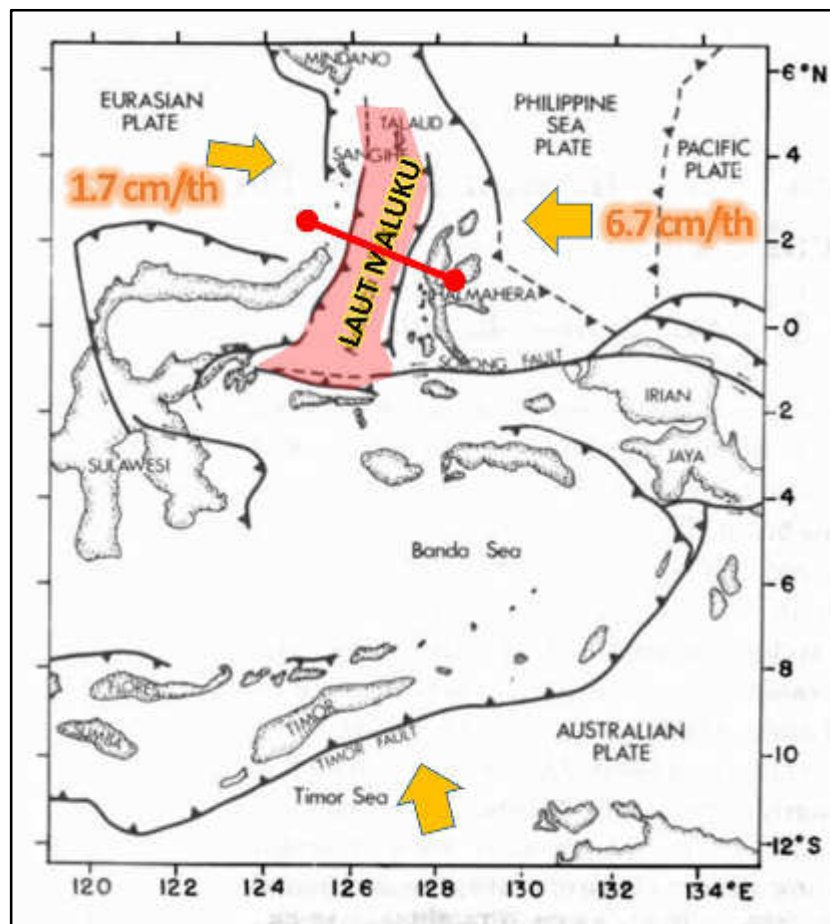


Gambar 2.4. Zona Subduksi
(Sumber: Katili 1995)

Pada Gambar 2.4 terlihat proses terjadinya subduksi yaitu saat lempeng samudera menunjam ke bawah lempeng benua, kemudian terjadi gesekan yang menghambat gerakan lempeng samudera, perlambatan gerak tersebut menyebabkan adanya akumulasi energi di suatu titik bidang patahan zona subduksi. Akibatnya, di zona tersebut

akan terjadi tekanan dan regangan yang sifatnya temporal dan spasial. Apabila zona tersebut mengalami kondisi dimana bidang temu antar lempeng terkunci (locked zone) maka akumulasi energi tekanan yang telah melewati batas elastisitas menyebabkan bidang patahan yang terjadi akan mengalami displacement (perubahan) yang secara tiba-tiba akan melepaskan energi. Lepasnya energi yang tiba-tiba inilah yang disebut gempa bumi tektonik. (Andriyani et.al, 2015).

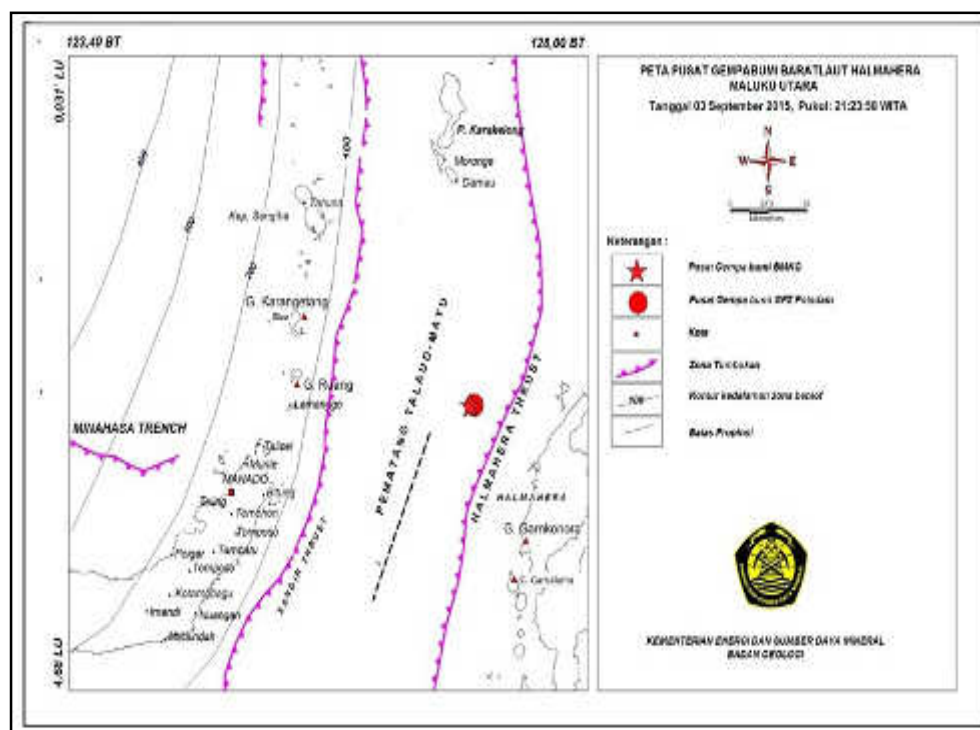
Zona subduksi yang terjadi di Laut Maluku diungkapkan oleh Peneliti gempa dari Institut Teknologi Bandung, Irwan Meilano (2014) yang mengatakan zona subduksi Maluku ini disebut zona subduksi ganda yaitu suatu zona yang mempunyai dua buah subduksi, Zona subduksi ganda Maluku ini tergolong istimewa karena satu-satunya di Indonesia. yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Zona Subduksi Ganda Yang Terjadi Di Laut Maluku
(Sumber: Irwan Meilano, 2014).

Subduksi kembar ini terbentuk oleh pergerakan dari lempeng laut Philipina di timur pada zona Halmahera dengan laju penunjamannya 6.7 cm/tahun. Sementara dari sebelah barat lempeng Eurasia menekan ke arah timur dengan laju 1.7 cm/tahun pada zona Sangihe. Akibat dari penunjaman ganda tersebut terjadi tekanan dibagian tengah. Sumber aktivitas seismik ini terjadi pada kedalaman kurang dari 50 kilometer yang masuk dalam kriteria gempa dangkal, sehingga tergolong berbahaya (Meilano, 2014)

Peta yang berisi kejadian gempabumi akibat Zona Subduksi Maluku ini sudah pernah dianalisis Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Badan Geologi, yang membuktikan bahwa Laut Maluku merupakan lokasi yang rawan gempabumi dan tsunami akibat aktivitas seismik di zona subduksi tersebut masih aktif. Peta tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.

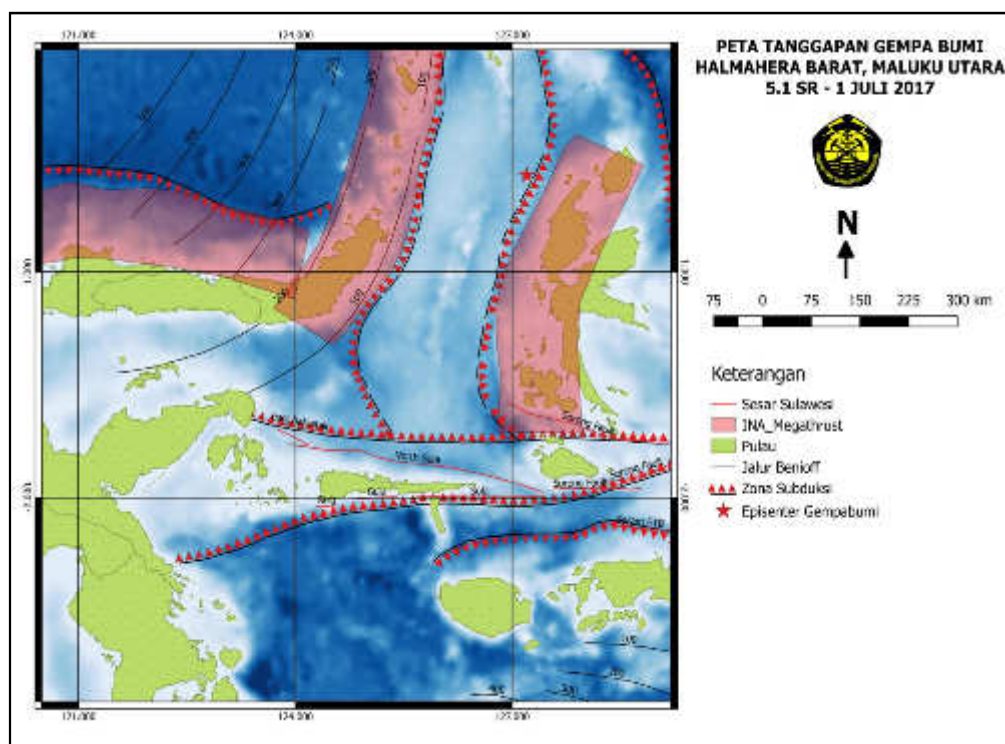


Gambar 2.6. Peta Pusat Gempabumi Barat Laut Halmahera Maluku Utara, (Sumber: PVMBG dengan menggunakan database BMKG)

Pada Gambar 2.6, berdasarkan informasi yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), gempabumi pada

tanggal 3 September 2015 berada pada koordinat 2,09° LU dan 126,68° BT, dengan magnitudo 5,4 SR pada kedalaman 10 Km, berjarak 125 Km Barat Laut Halmahera Barat, Maluku Utara. (Sumber: <http://vsi.esdm.go.id>, 04 September 2015).

Sedangkan pada Gambar 2.7, berdasarkan informasi yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), gempa bumi yang terjadi pada tanggal 1 Juli 2017, menunjukkan pusat gempa bumi terletak pada koordinat 127,20° BT dan 2,28° LU, dengan magnitudo 5,1 SR pada kedalaman 61 km, berjarak 111 km barat laut Halmahera Barat, Maluku Utara. (Sumber: <http://vsi.esdm.go.id>, 03 July 2017). Pada peta kejadian 2 (dua) gempa bumi yang dianalisis PVMBG tersebut menunjukkan bahwa jalur aktivitas seismik di Zona Subduksi Maluku sangat aktif, sehingga perlunya kesiapsiagaan pada masyarakat di sekitar zona tersebut.

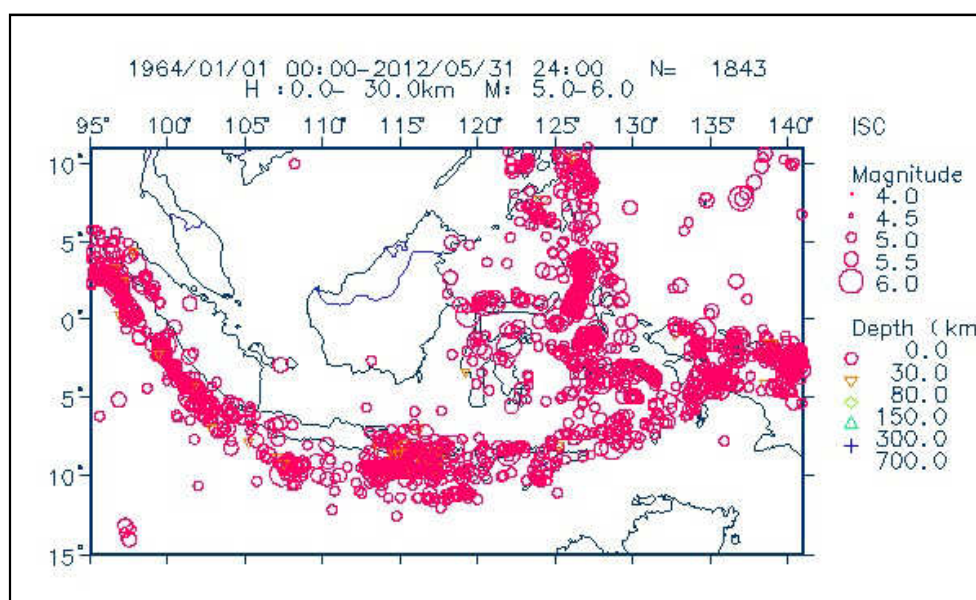


Gambar 2.7. Peta pusat gempa bumi di Halmahera Barat
(Sumber: PVMBG dengan menggunakan database BMKG)

2.1.3. Seismisitas

Seismisitas adalah suatu sistem data yang dapat memberikan suatu informasi karakteristik aktivitas seismik atau kegempaan dalam suatu daerah tertentu (Ahmad, 2000).

Menurut pengertian aslinya, seismisitas adalah suatu ukuran untuk membandingkan aktivitas seismik dari suatu daerah terhadap daerah lainnya (Ahmad, 2000). Pada Gambar 2.8 ditunjukkan peta seismisitas, yang diperoleh melalui hasil pengolahan data berdasarkan katalog database ISC.



Gambar 2.8. Peta Seismisitas Indonesia

(Sumber Data: Pengolahan data earthquake catalogue <https://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/db/ISC>, 1 Jan 1964 - 31 Mei 2012, M: 5.0-6.0, H: 0-30 km)

Untuk membuat peta seismisitas yang dikenal juga dengan “*seismic zoning*”, kita memerlukan pengetahuan tentang seismisitas atau aktivitas seismik di wilayah tersebut, agar kita bisa mengklasifikasi tempat-tempat, sesuai dengan aktivitas seismiknya (Ahmad, 2000). Jadi tujuan *seismic zoning* ini adalah mengklasifikasi wilayah gempabumi menjadi daerah atau tempat dengan pengenaan bahaya seismik yang berbeda-beda.

Salah satu manfaat dari *seismic zoning*, kita dapat membuat peta seismisitas yang bermanfaat dalam penerapan di kehidupan kita, seperti dalam teknik sipil kita dapat menentukan kekuatan dalam pembangunan

gedung agar tahan gempa disuatu lokasi yang rawan gempa. Dalam hal ini peta seismisitas ini akan digunakan untuk menentukan lokasi sumber gempabumi pembangkit tsunami yang akan dibuat model tsunaminya.

2.1.4. Tsunami, Tsunamigenik dan Karakteristiknya

Istilah Tsunami pertamakali didefinisikan dari bahasa Jepang, yaitu Tsu yang artinya pelabuhan dan Nami yang artinya gelombang. Sehingga secara harfiah, tsunami dapat diartikan sebagai gelombang pelabuhan. Istilah ini muncul pertama kali di Jepang, karena gelombang ini memang seringkali menyerang pelabuhan di pantai Jepang sesaat setelah terjadinya gempabumi. (Puspito, 2000).

Dengan mempelajari tsunami, kita dapat mengetahui sifat dan karakteristik Tsunami, sehingga bisa mempelajari model penjalarnya. Istilah tsunami akhirnya mendunia dan dipakai oleh masyarakat luas untuk menamakan gelombang laut yang dibangkitkan oleh gempa yang terjadi didasar laut. Malahan dewasa ini teori penggunaannya meluas pada gelombang laut yang ditimbulkan oleh sebab lain seperti aktivitas letusan gunung berapi dan longsor yang terjadi didasar laut (Puspito, 2000). Penyebab adanya pergerakan didasar laut dalam penelitian ini difokuskan sebagai akibat aktivitas tektonik yang berbentuk gempabumi.

Tsunamigenik adalah suatu kejadian di alam yang berpotensi menimbulkan tsunami. Kejadian tersebut berupa terganggunya air laut oleh aktivitas gunung api, gempa bumi, longsor bawah laut, dan sebab-sebab lainnya (Yudhicara et al, 2008). Pada penelitian ini tsunamigenik yang akan diteliti adalah dari gempabumi akibat aktivitas tektonik yaitu akibat pergerakan lempeng di zona subduksi.

Gempa bumi yang dapat membangkitkan tsunami disebut dengan *tsunamigenic earthquake*, beberapa faktor penyebabnya adalah magnitudo gempabumi besar yang terjadi dibawah dasar laut dengan tipe pergeseran patahan naik atau turun.

Tsunami memiliki karakteristik yang berbeda dengan gelombang pasang (*tidal wave*) atau gelombang permukaan (*surface wave*) yang biasa dijumpai di pantai (Diposaptono dan Budiman, 2006). Tsunami

bersifat transient dan impulsif, artinya semakin melemah dengan bertambahnya waktu dan mempunyai umur sesaat (Mudhari, 2009). Gelombang Tsunami bersifat sesaat dalam waktu yang cepat sedangkan gelombang permukaan bersifat kontinyu dan berlangsung dalam waktu yang lama (Marchuk dan Kagan, 1989). Mudhari (2009) menambahkan bahwa perbedaan gelombang tsunami dengan gelombang yang dibangkitkan oleh angin adalah terletak pada gerakan airnya. Gelombang yang dibangkitkan oleh angin hanya menggerakkan partikel air laut dipermukaan, namun pada gelombang tsunami menggerakkan seluruh kolom air dari permukaan sampai mencapai dasar laut.

Sampai sejauh ini teori untuk dapat membangkitkan tsunami adalah pergerakan atau deformasi yang terjadi harus dapat mencapai permukaan dasar laut. Untuk itu gempa bumi yang paling mungkin dapat menghasilkan deformasi di dasar laut adalah gempa bumi yang terjadi di zona subduksi dengan kekuatan magnitudo gempa lebih besar dari 7 SR, kedalaman sumber gempa kurang dari 60 km dan jenis patahan sesar turun atau naik yang memiliki deformasi vertikal (Puspito, 2000).

2.1.5. Teori Perairan Dangkal (Shallow Water Theory)

Tsunami diklasifikasikan sebagai gelombang perairan dangkal (gelombang panjang), karena panjang gelombangnya lebih besar daripada kedalaman perairannya (Report on International Workshop on Tsunami Inundation Mapping, in Tokyo, Japan, 25-27 November 2015). Gelombang ini merambat dengan kecepatan yang berbanding lurus dengan akar kedalaman perairan. Kecepatan gelombang tsunami akan berkurang seiring dengan semakin dangkalnya kedalaman air (Marchuk dan Kagan, 1989). Secara matematis hubungan kecepatan gelombang dengan kedalaman perairan ditunjukkan melalui rumus sebagai berikut:

$$C = \sqrt{g \cdot d} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

C : kecepatan gelombang perairan dangkal (m² /detik)

g : percepatan gravitasi (m/detik²) = 9,8 m/detik²

d : kedalaman perairan (m)

Dengan mempelajari teori perairan dangkal, kita dapat melihat teori ini untuk membuat simulasi tsunami, kemudian untuk menghitung ketinggian pergerakan air dari mulai terbentuknya gelombang tsunami di laut menggunakan urutan formula sebagai berikut:

$$\text{Mass Conservation Equation: } \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(2.2)$$

Momentum Equation:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \dots(2.3)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \dots(2.4)$$

Untuk ketinggian gelombang \ll kedalaman, dimana kedalaman > 50 m, Jika h/h mendekati nol, maka pengaruh nonlinear dapat diabaikan

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \dots\dots(2.6)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \dots\dots(2.7)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial M}{\partial t} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial N}{\partial t} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$h = D - \eta \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

h : vertical displacement of water surface

D : total water depth

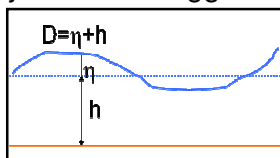
g : gravitational acceleration

x, y : horizontal axes

t : time

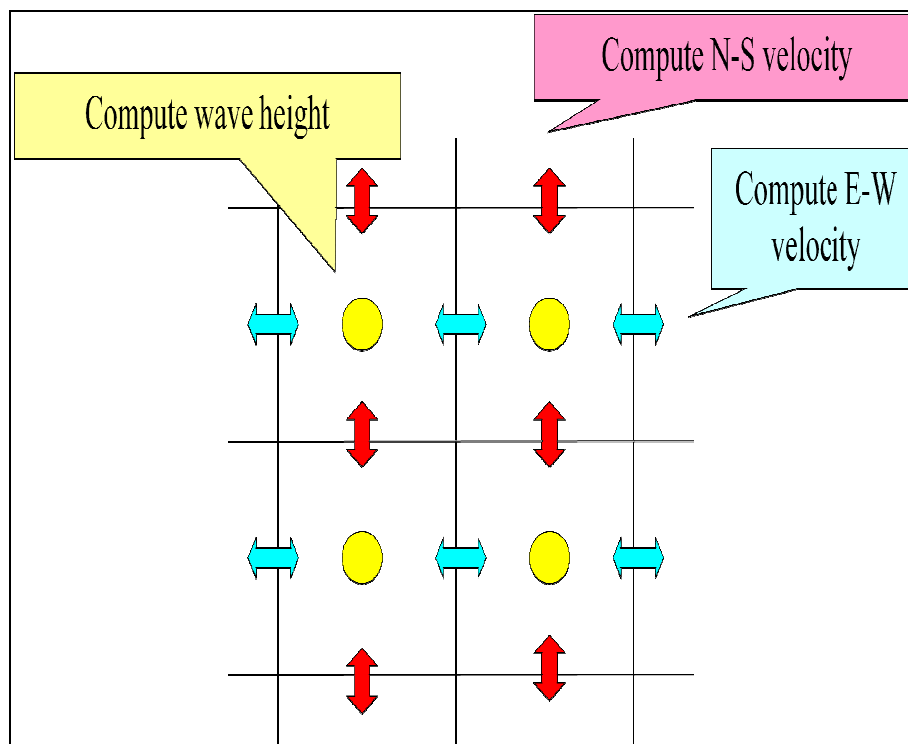
M, N : discharge fluxes in the x - and y - directions

Persamaan (2.9) dapat dijelaskan menggunakan gambar 2.9 dibawah ini:



Gambar 2.9. Hubungan Variabel (D), η dan (h).
(Sumber: Marchuk dan Kagan, 1989)

Pada gambar 2.10 ditunjukkan bahwa secara komputasi, gelombang tsunami yang timbul akan terakumulasi dan menjalar ke segala arah.

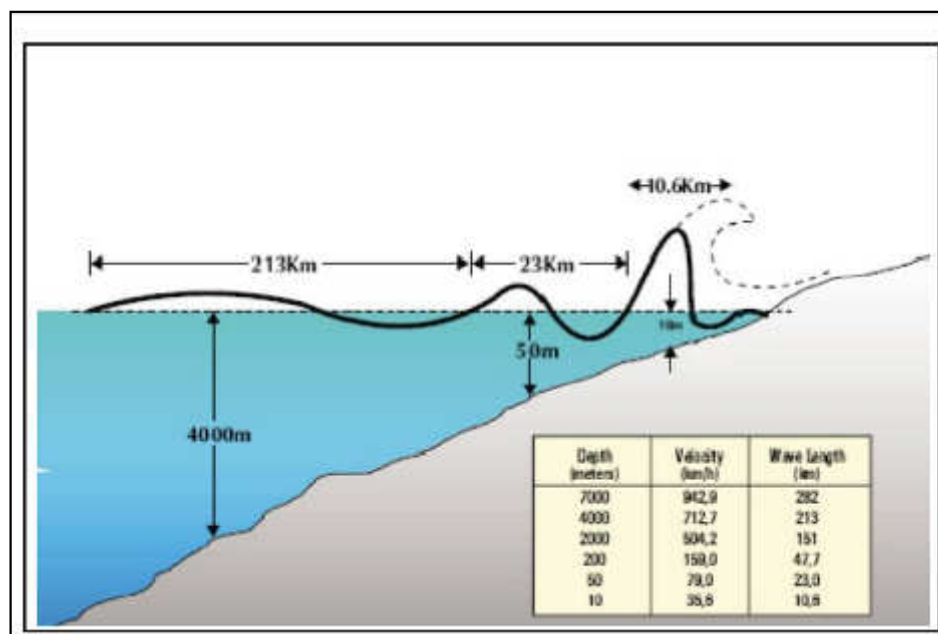


Gambar 2.10. Akumulasi Arah Distribusi Gelombang Tsunami.

(Sumber: Marchuk dan Kagan, 1989)

Menurut Yalciner et al. (2006), ketika gelombang tsunami mendekati pantai maka ketinggian gelombang akan membesar yang diikuti dengan melambatnya kecepatan rambat gelombang. Hal ini terjadi karena pengaruh dasar laut yang semakin dangkal. Kecepatan gelombang tsunami bergantung pada kedalaman laut sehingga gelombang tersebut mengalami percepatan atau perlambatan ketika melintasi kedalaman yang berbeda-beda.

Berkurangnya kecepatan tsunami disebabkan karena adanya topografi pantai yang mendangkal dan gesekan dasar laut. Gelombang yang tertahan karena perlambatan ini akan menumpuk dengan gelombang yang datang berikutnya, sehingga tinggi gelombang bertambah tinggi. Gambaran perubahan ketinggian gelombang tsunami dari laut dalam menuju laut dangkal diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Karakteristik Perubahan Ketinggian Gelombang Tsunami
(Sumber: UNESCO-IOC, 2006)

Gelombang tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi dan dapat merambat melintasi samudera dengan daya dorong suatu energi. Energi dari tsunami merupakan perkalian antara tinggi gelombang dengan kecepatannya. Nilai energi ini selalu konstan, yang berarti tinggi tsunami berbanding terbalik terhadap kecepatannya. Jadi ketika di tengah lautan, kecepatan tsunami sangat tinggi dan tinggi gelombang tsunami belum terlihat, tetapi ketika sampai didaratan kecepatan berkurang dan tinggi gelombang tsunami bertambah dengan kekuatan energi yang sama besar. Hal ini sesuai dengan hubungan laju energi yang pada gelombang berjalan yang berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya, karena Tsunami mempunyai panjang gelombang yang besar maka energinya tidak hilang, sehingga energi tsunami dianggap konstan (Wiegel, 1970).

Gelombang akan pecah apabila puncak gelombang membentuk sudut 120° atau pada saat kecepatan partikel pada bagian puncak lebih besar daripada kecepatan gelombang sehingga gelombang menjadi tidak stabil dan pecah. Gelombang tsunami yang pecah akan menghamburkan energinya ke atas permukaan pantai. Pecahan gelombang tergantung pada derajat kemiringan dasar laut (Gross, 1990).

UNESCO-IOC (2006) mengelompokkan tipe pecah gelombang tsunami menjadi tiga macam yaitu :

- Pecahan tumpah (di atas dasar laut yang hampir rata) yang membentuk suatu petak berbuih pada puncak dan berangsurangsur pecah berserakan cukup jauh;
- Pecahan hunjam (di atas dasar laut yang agak curam) yang memuncak, meliuk bagai payung raksasa terkembang kemudian pecah bagai piring kaca jatuh ke lantai;
- Pecahan gulung (di atas dasar laut sangat curam) yang tidak pecah atau menghunjam melainkan mengombak bergulung-gulung ke muka pantai..

2.1.6. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) sangat dikenal dalam ilmu pemetaan permukaan bumi, SIG adalah sebuah sistem yang dirancang untuk melakukan pengolahan data yang memiliki hubungan dengan tempat di permukaan bumi. SIG dapat melakukan pembuatan, visualisasi penyimpanan, pengaturan, dan analisis data geografi.

Manfaat mempelajari SIG adalah kita dapat menganalisis bentuk permukaan bumi dan mengolah data dipermukaan bumi. SIG menyediakan berbagai macam cara untuk menganalisis data. SIG juga dapat digunakan untuk menentukan rencana rute evakuasi pada saat bencana akan datang. Ketika bencana terjadi, SIG juga dapat berperan penting dalam tahap respon tanggap darurat. SIG dapat digunakan untuk memetakan area terdampak dan posisi pengungsian, sehingga relawan dapat diarahkan untuk menuju lokasi yang paling efektif dan efisien untuk membantu para korban.

SIG merupakan konsep yang sangat luas dan dapat melibatkan perangkat lunak dan perangkat keras yang rumit. Perangkat lunak SIG yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Quantum dan ArcGIS.

Quantum GIS (QGIS) merupakan sebuah Sistem Informasi Geografis yang mudah terhadap pengguna dan *open-source*, sedangkan ArcGIS, mempunyai kemampuan pengolahan data yang lebih lengkap.

QGIS dan ArcGIS dapat dijalankan pada Windows, Mac OSX, dan Linux. QGIS menyediakan berbagai kemampuan yang jumlahnya terus berkembang dengan fungsi dan plugin utama.

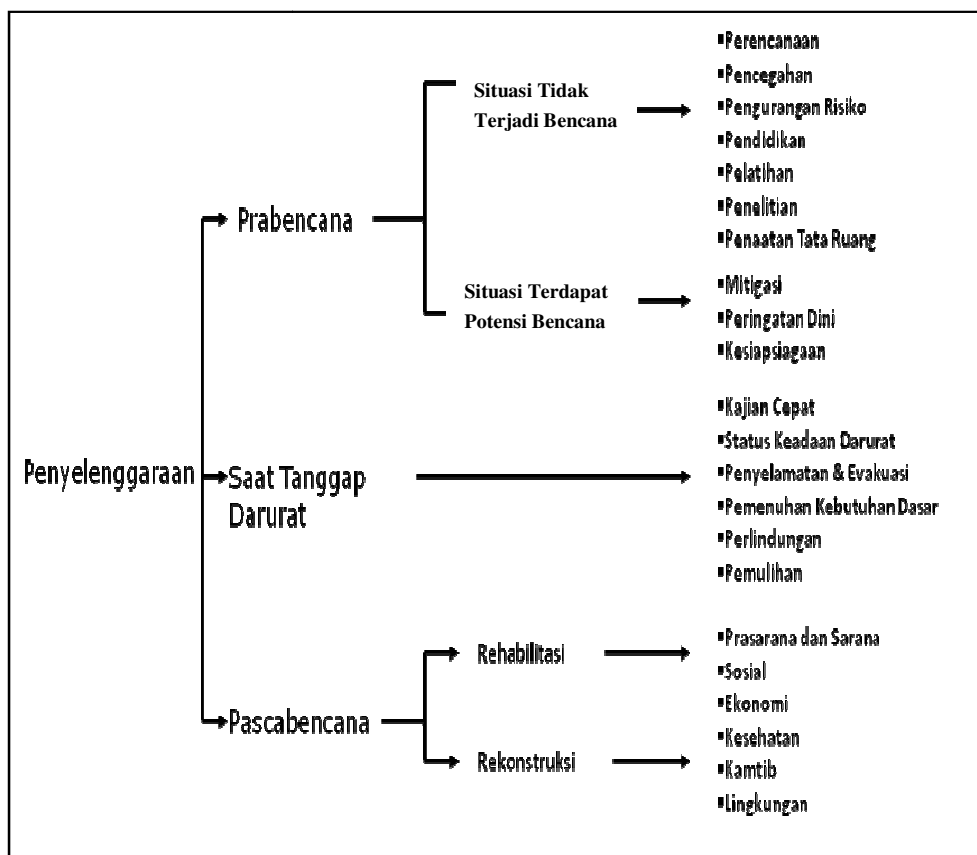
Dalam software SIG data diolah dalam format vektor, sehingga analisis yang digunakan nantinya adalah analisis berdasarkan format vektor. Data vector dapat dianalisis untuk mengungkapkan bagaimana fitur yang berbeda berinteraksi satu sama lain. Jika input yang kita gunakan dalam format raster maka format tersebut harus diubah menjadi format vektor, perubahan format ini juga telah tersedia dalam SIG. Data raster berasal dalam bentuk gambar yang memiliki beberapa jumlah pixel yang besar. Sebelum proses SIG dilakukan, dalam menentukan solusi suatu permasalahan, kita harus mempunyai gambaran proses yang akan dilakukan untuk dapat memecahkan masalah menggunakan SIG tersebut.

2.1.7. Mitigasi Bencana

Mitigasi bencana merupakan bagian dari penanggulangan bencana yang sudah diketahui potensi ancamannya. Dengan mengetahui kondisi geologi dan geofisika Indonesia, maka ancaman gempa bumi, sumber potensinya berada pada pertemuan lempeng tektonik, begitu juga dengan tsunami, karena adanya zona subduksi di Indonesia, maka dapat dianalisis ketika terjadi gempa bumi di zona subduksi dengan kekuatan yang besar dan kedalaman kategori dangkal dibawah dasar laut, maka gempa bumi tersebut berpotensi terjadi tsunami.

Bencana tsunami tidak bisa kita cegah karena bersumber dari gempa bumi akibat deformasi batuan dibawah permukaan bumi yang terjadi secara tiba-tiba, apalagi jika gelombang tsunami itu sangat besar dan tinggi, yang bisa kita lakukan adalah meminimalkan dampak yang ditimbulkan tsunami melalui mitigasi (Diposaptono et al, 2006).

Mitigasi ini merupakan suatu bagian dari manajemen bencana yang berada pada tahap pra-bencana sesuai Peraturan Pemerintah RI Nomor 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Skema Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana
(Sumber: Peraturan Pemerintah RI Nomor 21 Tahun 2008).

Tanpa mitigasi, tsunami dapat menimbulkan kerusakan dan korban jiwa yang tidak terbandung, sehingga kuncinya terletak pada mitigasi yang baik. Ada 2 bentuk mitigasi (Diposaptono et al., 2006) yang dapat dilakukan yaitu:

- Mitigasi Struktural adalah upaya dengan cara rekayasa teknis dengan rancang bangun terhadap lokasi terdampak. Contohnya adalah pembangunan shelter, membangun pemecah gelombang tsunami seperti vegetasi pantai, membangun tembok laut serta upaya lain yang terlihat secara fisik keberadaannya
- Mitigasi Non-Struktural adalah upaya non fisik seperti mengadakan pendidikan, pelatihan, pembuatan peraturan, pembuatan pengaturan tata-ruang dan pembuatan zonasi seperti penentuan lokasi evakuasi.

Dalam hubungan antara mitigasi sebagai upaya pengurangan risiko bencana, jelas terlihat dalam penelitian ini, karena dalam penelitian ini

analisis lokasi shelter sebagai mitigasi non struktural merupakan bagian dari pengkajian risiko bencana, karena dengan mengetahui lokasi shelter yang sesuai dengan ancaman tsunami dikawasan tersebut dapat mengurangi risiko bencana, sesuai dengan 3 komponen rumus pendekatan risiko bencana yaitu memperkecil ancaman kawasan; mengurangi kerentanan kawasan yang terancam dan meningkatkan kapasitas kawasan yang terancam.

Dari upaya non fisik ini, dapat diteruskan menjadi upaya fisik. Hubungan ini saling melengkapi tergantung kasus daerah rawan tsunami yang ditinjau. Contoh untuk tempat yang jauh dari bukit, dengan jumlah penduduk tertentu, perlu diatur pembuatan shelter yang disesuaikan dengan *run-up*, inundasi, elevasi dan akses menuju lokasi pengungsian.

Dalam menghitung resiko bencana sebuah daerah kita harus mengetahui Bahaya atau Ancaman (*hazard*), Kerentanan (*vulnerability*) dan Kapasitas (*capacity*) suatu wilayah berdasarkan karakteristik kondisi fisik wilayahnya. Jordan (2007) menuliskan hubungan antara risiko, bahaya, kerentanan dan kapasitas sebagai berikut:

$$R = \frac{H.V}{C} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

- R= Risk (Risiko)
- H= Hazard (Bahaya atau ancaman)
- V= Vulnerability (Kerentanan)
- C= Capacity (Kapasitas atau kemampuan)

Catatan penting yang tertulis di Peraturan Kepala BNPB No 2 Tahun 2012 menyebutkan bahwa “Pendekatan ini digunakan untuk memperlihatkan hubungan antara ancaman, kerentanan dan kapasitas yang membangun perspektif tingkat risiko bencana suatu kawasan”.

2.1.8. Tempat Evakuasi Vertikal (Shelter)

Tempat evakuasi vertikal atau shelter merupakan salah satu alternatif untuk mereduksi kerentanan penduduk terhadap bahaya tsunami sehingga tingkat resiko yang akan dihadapi dapat diminimalkan. Di

negara-negara maju seperti Jepang atau Amerika bangunan evakuasi vertikal secara khusus dirancang untuk mengantisipasi bahaya tsunami. Selain ketahanan terhadap tsunami, bangunan juga dirancang secara khusus yang mempunyai ketahanan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh gempa besar yang berjarak dekat (LIPI, 2009).

Shelter merupakan Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara untuk menyelamatkan jiwa ketika terjadi tsunami, sampai genangan tsunami benar-benar surut. Shelter sangat diperlukan dalam menanggulangi korban jiwa dari ancaman tsunami, karena kecepatan gelombang tsunami dilautan jauh melebihi kecepatan penduduk untuk menyelamatkan jiwa. (*sumber: <http://www.neraca.co.id/article/29577/pemerintah-bangun-tempat-evakuasi-sementara-antisipasi-tsunami>*).

Aksi kunci pertama dalam pembangunan shelter atau hunian dan permukiman harus dipastikan aman yang jauh dari segala bentuk ancaman potensial maupun aktual dan risiko dari bahaya disekitar yang dapat diminimalkan (The Sphere Project hal 262, 2011). Dalam hubungannya dengan aksi kunci pertama, maka kebutuhan shelter harus memperhitungkan kondisi topografi dan faktor jumlah pengungsi yang dapat tertampung, sehingga tidak membuat kepanikan yang membuat para pengungsi berebut dan timbul masalah baru yang tidak diharapkan, sehingga kebutuhan banyaknya shelter harus diperhitungkan dengan baik.

Aksi kunci kedua yang berhubungan dengan dampak tsunami adalah memastikan adanya akses ke seluruh hunian dan lokasi permukiman serta layanan-layanan utama (The Sphere Project hal 267, 2011). Dalam hubungan dengan aksi kunci kedua contohnya adalah pada area tertentu, seperti kasus tsunami di Simeuleu, ada bukit yang berada dalam area terdampak tsunami yang jaraknya hanya 50-100 meter dari bibir pantai, pada kasus ini maka lokasi evakuasi dapat dilakukan pada area seperti ini, sehingga penting untuk dibuat akses jalan menuju bukit. Dalam kebutuhan akses ini maka perlu dilakukan kajian terkait akses terhadap permukiman, kondisi infrastruktur jalan setempat dan kondisi

jauh dekatnya akses transportasi yang dapat dijangkau oleh kendaraan ringan dan kendaraan besar seperti truk (The Sphere Project hal 269, 2011).

Setiap ada kejadian bencana, tentunya akan terjadi dinamika yang sekecil apapun pasti terjadi, karena perencanaan yang dibuat tentu tidak akan sempurna, sehingga perencanaan daerah permukiman untuk pengungsi adalah upaya untuk meminimalkan dampak buruk yang tidak diharapkan. Segera setelah terjadinya suatu bencana, terlebih dalam kondisi yang ekstrem, ruang bernaung dengan luasan $3.5 \text{ m}^2/\text{orang}$ selayaknya disediakan untuk menyelamatkan hidup dan memberikan hunian jangka pendek yang memadai (The Sphere Project hal 273, 2011).

Berdasarkan referensi yang diuraikan paragraf sebelumnya maka untuk menentukan shelter, terlebih dahulu kita harus menentukan area terdampak tsunami. Berdasarkan dampak tsunami, karena gelombang tsunami bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi, maka lokasi shelter harus berada dekat dengan posisi keterpaparan penduduk dan harus terletak pada kondisi topografi tertinggi yang aman dari ancaman ketinggian gelombang tsunami serta terdekat dengan akses jalan yang mudah dijangkau.

Kriteria dengan menggunakan data dalam menentukan lokasi evakuasi adalah waktu tempuh disyaratkan < 10 menit, dengan referensi mengadopsi pada ketentuan Sugimoto (2003) tentang kecepatan pejalan kaki yang berkisar antara $0.97 - 1.07 \text{ m/sec}$, maka untuk waktu tempuh < 10 menit jarak yang harus dicapai adalah $582 \text{ m} - 642 \text{ m}$. Namun demikian dalam kajian ini untuk memberikan keleluasaan bagi pengungsi maka jarak yang digunakan adalah 500 m , sehingga konsekuensinya luas cakupan bangunan akan menjadi lebih kecil sehingga waktu pencapaian dapat kurang dari 10 menit. (LIPI, 2009).

2.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu tentang adanya sejarah gempa berpotensi tsunami yang terjadi di Zona Subduksi Maluku telah disampaikan dalam latar belakang penelitian ini. Penelitian yang memperkuat adanya zona

subduksi yang harus diwaspadai dari ancaman potensi gempa bumi pembangkit tsunami tersebut adalah penelitian Hasbi Ash Shiddiq et al, (2015) yang telah dipublikasikan pada “The 9th International Workshop on Statistical Seismology, 14 – 18 June 2015, Potsdam, Germany”, dengan judul penelitian “*Spatiotemporal Variation Of B-Value In Molucca Collision Zone Using High Precision Relocated Hypocenters*”, yang menggunakan teknik pencitraan tomografi tingkat tinggi berhasil menunjukkan dengan jelas posisi zona subduksi di Laut Maluku.

Dalam penelitian Vienda Gaby Lumintang et al, telah dilakukan penelitian untuk menentukan tingkat seismisitas dan tingkat kerapuhan batuan melalui perhitungan nilai a dan b secara spasial di Maluku Utara, dan diperoleh hasil bahwa periode ulang gempa bumi untuk wilayah Maluku Utara dengan magnitudo $M_w = 6,5$ adalah 3-19 tahun, gempa dengan magnitudo $M_w = 7$ adalah 5-52 tahun, dan gempa dengan magnitudo $M_w = 7,5$ adalah 15-140 tahun. Daerah-daerah yang berpotensi mengalami gempa bumi merusak adalah wilayah Laut Maluku, Ternate, Tidore, sebagian wilayah Kabupaten Halmahera Utara dan Barat, Pulau Kasiruta dan Pulau Obi.

Untuk penelitian terdahulu yang berhubungan dengan metoda yang akan dilakukan adalah penelitian yang telah dilakukan oleh Robby Wallansha dan Wiko Setyonegoro dengan Judul “Skenario Tsunami Menggunakan Data Parameter Gempabumi Berdasarkan Kondisi Batimetri (Studi Kasus: Gempabumi Maluku 28 Januari 2004) yang diterbitkan oleh *Jurnal Segara Kementrian Kelautan dan Perikanan (KKP)*, ISSN:1907-0659, Vol.11, No.2,159-168. Dalam penelitian tersebut dilakukan pembuatan skenario tsunami berdasarkan kasus gempa bumi Maluku 28 Januari 2004 dengan menggunakan nilai Magnitudo 7, 7.5 dan 8 SR. Dari sebelas skenario tsunami yang dibuat dari setiap magnitudo gempa bumi diperoleh *run-up* tertinggi 8.19 m di di daerah Huamual.

Adapun *review* hasil-hasil penelitian terdahulu yang disampaikan di atas, dapat dilihat dalam tabel 2.1 pada halaman 37.

Tabel.2.1. Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti dan Judul Penelitian	Publikasi	Permasalahan Yang Diteliti dan Metodologi	Hasil Penelitian	Persamaan dengan penelitian yang akan dibuat	Perbedaan dengan penelitian yang akan dibuat
1	2	3	4	5	6	7
1	Hasbi Ash Shiddiqi, Sri Widiyantoro, Andri Dian Nugraha, Mohamad Ramdhan, Wandono, Sutiyono, Titi Handayani, <i>“Spatiotemporal Variation Of B-Value In Molucca Collision Zone Using High Precision Relocated Hypocenters”</i>	“The 9 th International Workshop on Statistical Seismology, 14-18 June 2015	Lokasi detail keberadaan Zona Subduksi Maluku, menggunakan Metoda Tomografi	Zona Subduksi Maluku terlihat dengan jelas lokasi penunjaman	Lokasi sumber gempa bumi menggunakan an zona subduksi yang sama.	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak hanya mencari zona subduksi tetapi mencari juga jalur seismisitas dalam penentuan event gempa bumi untuk simulasi, penentuan lokasi terdampak dan penentuan lokasi shelter • Menggunakan software Geodas, Tsunami-L dan ArcGIS.

No	Nama Peneliti dan Judul Penelitian	Publikasi	Permasalahan Yang Diteliti dan Metodologi	Hasil Penelitian	Persamaan dengan penelitian yang akan dibuat	Perbedaan dengan penelitian yang akan dibuat
1	2	3	4	5	6	7
2	Vienda Gaby Lumintang, Guntur Pasau, Seni Herlina J. Tongkukut, “ Analisis Tingkat Seismisitas Dan Tingkat Kerapuhan Batuan Di Maluku Utara”	Jurnal Ilmiah Sains Vol.15 No.2 Oktober 2015	Menentukan tingkat seismisitas dan tingkat kerapuhan batuan melalui metode perhitungan nilai a dan b secara spasial di Maluku Utara, menghitung kemungkinan	Periode ulang gempa bumi untuk wilayah Maluku Utara dengan magnitude $M_w = 6,5$ adalah 3-19 tahun, gempa	Lokasi seismisitas yang di teliti di Maluku Utara	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi seismisitas yang diteliti di Maluku Utara terfokus pada zona subduksi di bawah Laut Maluku diantara Sesar Sangihe dan Sesar Halmahera • Menggunakan software Geodas, Tsunami-L dan ArcGIS.

			<p>waktu terjadinya kembali gempa bumi merusak secara spasial, serta untuk menentukan daerah-daerah yang sangat rawan berpotensi gempa merusak di wilayah Maluku Utara, menggunakan Metoda formula Gutenberg-Richter</p>	<p>dengan magnitudo $M_w = 7$ adalah 5-52 tahun, dan gempa dengan magnitudo $M_w = 7,5$ adalah 15-140 tahun. Daerah-daerah yang berpotensi mengalami gempa bumi merusak adalah</p>		
--	--	--	--	--	--	--

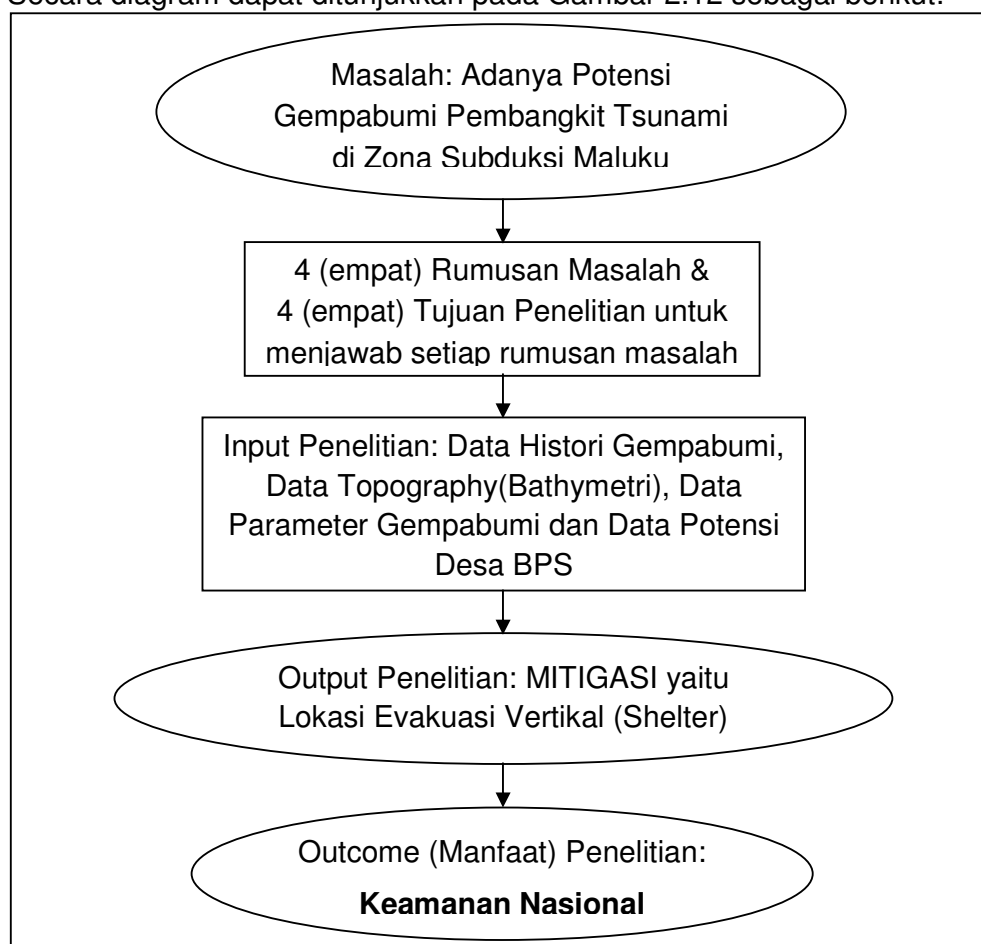
				wilayah Laut Maluku, Ternate, Tidore, sebagian wilayah Kabupaten Halmahera Utara dan Barat, Pulau Kasiruta dan Pulau Obi		
--	--	--	--	--	--	--

No	Nama Peneliti dan Judul Penelitian	Publikasi	Permasalahan Yang Diteliti dan Metodologi	Hasil Penelitian	Persamaan dengan penelitian yang akan dibuat	Perbedaan dengan penelitian yang akan dibuat
1	2	3	4	5	6	7
3	Robby Wallansha dan Wiko Setyonegoro, "Skenario Tsunami Menggunakan Data Parameter Gempabumi Berdasarkan Kondisi Batimetri (Studi Kasus: Gempabumi Maluku 28 Januari 2004)"	Jurnal Segara Kementrian Kelautan dan Perikanan (KKP), ISSN:1907-0659, Vol.11, No.2,159-168	Skenario tsunami berdasarkan kasus gempabumi Maluku 28 Januari 2004 dengan menggunakan nilai Magnitudo 7, 7.5 & 8 SR, menggunakan metoda Pemodelan Tsunami	Dari sebelas skenario tsunami yang dibuat dari setiap magnitudo gempabumi diperoleh run-up tertinggi 8.19 m di di daerah Huamual.	Menggunakan software pemodelan tsunami	Studi kasus gempabumi di Laut Maluku, sedangkan Walansha et al menggunakan studi kasus gempabumi di Palung Banda

2.3. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran secara umum dalam penelitian ini dimulai dengan latar belakang masalah yaitu adanya potensi gempabumi pembangkit tsunami di Zona Subduksi Maluku, yang jika suatu saat terjadi, dapat mengancam keamanan nasional, kemudian dari latar belakang masalah tersebut disusun suatu rumusan masalah yang terdiri dari 4 (empat) point yang secara sistematis harus dilakukan penelitian bertahap. Empat rumusan masalah tersebut dapat dicari solusinya dengan menentukan tujuan penelitian untuk mencari jawaban dari setiap rumusan masalah, jawaban rumusan masalah ke-4(empat) merupakan output terakhir dari tujuan penelitian, sehingga outcome atau manfaat dari penelitian berujung untuk Keamanan Nasional.

Secara diagram dapat ditunjukkan pada Gambar 2.12 sebagai berikut:



Gambar 2.13. Kerangka Pemikiran

2.4. Hipotesis

Hipotesis hasil pengolahan data dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Koordinat lokasi yang mempunyai potensi terjadinya gempa bumi besar pembangkit tsunami yang akan dijadikan lokasi model penjalaran gelombang tsunami akan berada diantara 2 zona subduksi, karena lokasi ini dipengaruhi zona subduksi Sesar Sangihe di barat dan zona subduksi Sesar Halmahera di timur
- Parameter gempa bumi dan kondisi bathymetri akan mempengaruhi dampak bahaya tsunami dalam bentuk waktu penjalaran, *run-up* dan inundasi, selain itu sifat gelombang yang menyebar ke segala arah, akan mempengaruhi lokasi dampak tsunami yang tidak hanya satu lokasi.
- Kondisi topografi yang jauh lebih tinggi dari tempat sekitarnya merupakan parameter untuk menentukan lokasi evakuasi yang aman, kondisi topografi ini, bisa jadi jauh dengan pemukiman atau dekat dengan pemukiman. Baik jauh atau dekat dari lokasi terdampak, semuanya membutuhkan akses bukan hanya jalur darat tetapi jalur udara, karena lokasi dampak bencana akan berjauhan dan terpisah lautan.
- Lokasi penentuan shelter akan dipengaruhi nilai-*run-up*, nilai DEM, akses jalan dan jumlah penduduk di lokasi terdampak tsunami.

Pemodelan *run-up* dan inundasi tsunami dapat memberikan informasi yang valid mengenai bahaya tsunami dan dapat diintegrasikan kedalam manajemen penempatan lokasi dan jalur evakuasi serta distribusi jumlah penduduk yang berpotensi terdampak bencana. Analisis kebutuhan shelter di lokasi evakuasi dapat terkalkulasi menurut hasil pengolahan data SIG, sehingga dapat menghindari banyaknya jumlah korban jiwa pada tiap area terdampak.

Dari hipotesis tersebut maka diharapkan manajemen pengurangan risiko bencana tsunami melalui mitigasi dapat disesuaikan dengan pemodelan tsunami dan pengolahan data SIG yang akan dilakukan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Desain penelitian merupakan suatu konsep yang penting dalam penelitian, desain penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Kasiram (2008:149) dalam Buku Metodologi Penelitian Kuntjojo (2009:11) mendefinisikan penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui. Secara kuantitatif maka desain penelitian ini dapat diuraikan secara detail dibawah ini.

3.1.1. Penentuan Koordinat Area Berpotensi Terdampak Tsunami

Pengolahannya diawali dari pengumpulan data menggunakan literatur (referensi) tentang kejadian tsunami sebelumnya. Dari pengumpulan data historis ini dapat dianalisis mengenai penentuan koordinat area penelitian yang punya potensi terdampak terhadap landaan gelombang tsunami. Koordinat lokasi penelitian ini dibatasi dalam bentuk koordinat lintang dan bujur bumi.

3.1.2. Penentuan Kejadian Gempabumi dan Parameternya

Dari data area koordinat penelitian akan dianalisis juga historis gempabumi dalam lingkup area penelitian melalui jalur seismisitas di zona subduksi yang berisi sumber terjadinya gempabumi dengan suatu aplikasi database gempabumi yang dapat menunjukkan jalur seismisitas, dari jalur seismisitas ini kemudian ditentukan salah satu kejadian gempabumi sebelumnya yang sesuai dengan posisi dan kondisi bidang patahan penyebab gempabumi tersebut yang berpotensi tsunami, menggunakan database gempabumi BMKG, kemudian dicari nilai parameter gempabumi (koordinat episenter dipermukaan bumi, hyposenter kedalaman sumber gempabumi, magnitude dan parameter bidang patahan). Event gempabumi BMKG ini kemudian divalidasi dengan database gempabumi GFZ Jerman. Database gempabumi GFZ dengan event yang sama dan mendekati data yang sama pada database gempabumi BMKG dengan

data lengkap, maka parameter event gempa bumi ini akan dijadikan input pada simulasi penjalaran gelombang tsunami. Analisis dan validasi data gempa bumi ini dilakukan agar data benar-benar akurat dan dampak dari hasil simulasi penjalaran gelombang tsunami menjadi optimal.

3.1.3. Penentuan Area Terdampak Run-Up Tsunami

3.1.3.1. Penentuan Data Topografi (Bathymetri)

Area koordinat penelitian **3.1.1** kemudian diolah untuk mendapatkan data topografi (bathymetri) nya dengan cara mengupload datanya menggunakan software Geodas, dalam software tersebut terdapat data topografi(bathymetri) seluruh permukaan bumi termasuk dibawah lautan. Data ini akan disimpan dan dijadikan salah satu input pada pengolahan data tsunami untuk mengetahui bagaimana model penjalaran gelombang tsunami berdasarkan bentuk topografi(bathymetri) nya.

3.1.3.2. Penentuan Data dan Parameter Simulasi Tsunami

Pengolahan ini menggunakan software Tsunami-L, hasil desain tim yang diketuai Profesor Nakamura dari Jepang, dengan deskripsi tahapan sebagai berikut:

a. Penentuan Data Raster Topography (Bathymetri)

Dari hasil data **Point 3.1.3.1** yaitu data topografi(bathymetri) diolah menjadi format raster dalam software Tsunami-L, dengan proses berikut:

- Membuka software Tsunami-L.
- Input data topografi (bathymetri) dalam format "xyz" kedalam software Tsunami-L. Pada saat di layar input data, pilih 1 yang merupakan input data topography, kemudian klik select file yang tadi sudah dibuat dalam format xyz, kemudian klik RUN yang merupakan running data yaitu suatu proses pengolahan secara *automatic*, yang akan merubah format "xyz" menjadi format "csv", kemudian data "csv" tersebut akan diproses kembali dengan klik "Change" pada tampilan selanjutnya yang merubah format data "csv" menjadi format "dat" pada software tersebut, dan akan muncul data topography (bathymetri) lokasi penelitian.

b. Penentuan Parameter Gempabumi dan Bidang Patahan

Pemrosesan data pada software tsunami-L yang kedua adalah pengolahan data parameter bidang patahan (*Fault*) gempabumi. Dalam tahapan pengisian form *Fault* inilah, akan dibuat skenario dari hasil parameter gempabumi dan parameter bidang patahan **Point 3.1.2** yang diinput langsung dan yang harus dihitung parameter lainnya terlebih dahulu. Nilai yang diinput langsung adalah nilai strike dan dip. Sedangkan parameter lain yang harus dihitung adalah sebagai berikut:

Perhitungan Parameter Sumber Gempabumi

Dalam suatu diseminasi informasi gempabumi, kita akan mendapatkan nilai koordinat episenter (permukaan bumi), hyposenter (kedalaman sumber gempabumi), magnitude (kekuatan gempabumi) dan parameter bidang patahan seperti strike, dip dan slip (dalam satuan derajat). Nilai variabel tersebut diatas, akan diproses untuk menghitung parameter sumber gempabumi lainnya melalui analisis deformasi dibawah permukaan bumi sehingga dapat diketahui besarnya koordinat bidang patahan sebenarnya dan nilai *slip (displacement)* yang terjadi akibat gempa tersebut dalam satuan meter.

Perhitungan parameter pertama adalah koordinat lokasi bidang patahan dalam arah X_{eq} dan Y_{eq} yang akan menjadi acuan posisi bidang patahan yang ada dibawah Laut Maluku, yang tentunya tidak akan jauh berbeda dengan posisi bidang patahan penyebab gempabumi yang terjadi selanjutnya. Skenario yang akan dilakukan adalah merubah parameter kedalaman sumber gempabumi (Z_{eq}) yang diinput langsung dan nilai slip yang harus dihitung.

Dalam penelitian dalam mencari nilai *slip (displacement)* menggunakan formula atau perumusan dari referensi sebelumnya dan sering digunakan para peneliti kebumihan saat ini. Untuk penentuan nilai slip ini dipengaruhi oleh panjang dan lebar bidang patahan serta besarnya magnitudo, sehingga harus ditentukan luas sesar (A) dan moment seismik (M_0) terlebih dahulu. Untuk mencari luasan sesar kita harus menghitung perkalian panjang dan lebar dari deformasi daerah distribusi gempabumi.

Secara empiris panjang dan lebar dari sesar dapat ditentukan dengan melakukan kalkulasi berdasarkan persamaan Papazachos, Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., and Karakaisis, G.F., (2004) sebagai berikut :

- Fault Length (L)
 $\text{Log } L = -2,42 + (0,58 * M_w) \dots\dots\dots(3.1)$
- Fault Width (W)
 $\text{Log } W = -1,61 + (0,41 * M_w) \dots\dots\dots(3.2)$
- $A = L * W \dots\dots\dots(3.3)$

Kemudian untuk menghitung moment seismik itu sendiri dapat dicari dari nilai magnitudo (M_w) yang diketahui langsung saat gempa bumi terjadi (*Hanks, T. C., Kanamori, H. 1979*). Nilai magnitude (moment magnitude) terjadi akibat deformasi bawah permukaan bumi yang kemudian menghasilkan gempa bumi. Dalam penelitian ini magnitudo moment menggunakan nilai magnitudo maksimum 9 SR.

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6,07 \dots\dots\dots(3.4)$$

dimana :

M_0 = momen seismik (Nm)

M_w = magnitudo momen (SR)

Referensi untuk menghitung nilai slip selanjutnya yaitu menggunakan hasil penelitian *Wells & Coppersmith (1994)*, yang menyatakan bahwa deformasi yang terjadi direpresentasikan sebagai besar *slip* yang dapat dihitung dari *Momen Seismic*, Modulus Rigiditas dan Luasan Sesar (*Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. 1994*).

$$M_0 = \mu A D \dots\dots\dots(3.5)$$

sehingga

$$D = M_0 / \mu A \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana :

M_0 = Momen seismik (Nm)

μ = modulus rigiditas kerak bumi (3×10^{10} N/m²)

A = Luasan sesar (Km²)

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

Setelah semua parameter diperoleh, maka dilanjutkan proses software tsunami-L yang telah terbuka tadi dengan tahapan sebagai berikut:

- Input parameter bidang patahan sumber gempa bumi, klik Fault, sehingga muncul “parameter setting”. Dalam input parameter setting akan diinputkan parameter gempa bumi dan bidang patahan. Nilai yang diinput ada nilai parameter yang langsung diinput dan ada nilai parameter yang harus dihitung sebagai validasi agar posisi bidang patahan berada sesuai dengan lokasi gempa bumi yang terjadi.

c. Penentuan Simulasi Tsunami

Dari hasil data **Point a** yaitu data raster topografi (bathymetri) dan **Point b** semua parameter gempa bumi dan parameter bidang patahan akan diolah simulasi penalaran gelombang tsunaminya, untuk melihat waktu penalaran gelombang dari mulai terbentuk ditengah lautan sampai hasil run-up dipinggir pantai. Hasil simulasi ini akan menghasilkan nilai waktu penalaran dan nilai Run-Up Tsunami. Kemudian dari data nilai run-up akan dihitung nilai jarak inundasi tsunami.

Perhitungan Run-up dan Inundasi Tsunami

Perumusan propagasi tsunami yang disebabkan gempa bumi pada lantai samudra (*seafloor*) dapat mengikuti perumusan sebagai berikut:

$$\bullet V = \sqrt{g \cdot H} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\bullet \eta \cdot H^{1/4} = Constant \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\bullet \eta_1 = \eta_2 \cdot (H_2 / H_1)^{1/4} \dots\dots\dots(3.9)$$

dimana :

g : gravitational acceleration (9.8m/s²)

H : Depth (Km)

η : wave height (m)

Perumusan tersebut sudah dibuat otomatis dalam software tsunami-L berdasarkan perumusan propagasi dan *run-up* tsunami oleh Nakamura (2006) dan data *scaling law* luas sesar pada simulasi tsunami Gusman et.al.(2012) serta pengembangan teknik desain sub sesar oleh Setyonegoro (2011), sehingga selesai simulasi diperoleh nilai run-up.

3.1.3.3. Penentuan Nilai Jarak Inundasi

Untuk mencari nilai jarak inundasi tsunami berdasarkan *run-up* tsunami, dihitung menggunakan formula Hills, J. G. & Mader, C. L. (1997), dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_{max} = (H_s)^{1.33} * n^{-2} * k \dots\dots\dots(3.10)$$

dimana :

X_{max} : Inundasi maksimum (m),

H_s : Run-up tsunami maksimum (m),

k : konstanta (0,06 untuk tsunami M=9 SR),

n : konstan (0.015 untuk daerah smooth, 0.03 untuk kawasan bangunan dan, 0.07 untuk kawasan hutan).

3.1.4. Penentuan Lokasi Geografi Terdampak Tsunami dan Penentuan Shelter

Data selanjutnya yaitu menggunakan software sistem informasi geografis dalam menentukan Lokasi Geografi Dampak Tsunami dan penentuan lokasi shelter, dengan tahapan sebagai berikut:

3.1.4.1. Penentuan Lokasi Geografi Terdampak Tsunami

a. Penentuan Lokasi Geografi Terdampak Tsunami Secara Total

Pengolahan ini diawali dengan menggunakan hasil raster simulasi tsunami secara menyeluruh kemudian melakukan fokus area terdampak tsunami yang di-overlay dengan lokasi geografi terdampak secara keseluruhan.

b. Penentuan Lokasi Geografi Terdampak Tsunami Setiap Propinsi

Proses pengolahan ini sama dengan point a, tetapi fokus area terdampak dibagi berdasarkan propinsi kemudian di-overlay terhadap lokasi geografi setiap propinsi

c. Penentuan Digitasi Dampak *Run-Up* Berdasarkan Overlay Setiap Propinsi

Dari hasil overlay point b, kemudian dilakukan digitasi untuk mendapatkan angka hasil digitasi yang kemudian digabungkan setiap propinsi menjadi keseluruhan kembali angka hasil digitasinya.

3.1.4.2. Penentuan Shelter

Tujuan utama keberadaan shelter adalah dapat menyelamatkan korban jiwa ketika tsunami menerjang area terdampak. Dari tujuan tersebut maka dibuatlah kriteria yang disesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan data. Dengan karakteristik gempa bumi yang terjadi secara tiba-tiba dan gelombang tsunami yang dipicunya bergerak dengan kecepatan ratusan sampai ribuan km/jam, maka kriteria penentuan shelter yang utama adalah berada sedekat mungkin dengan letak lokasi terdampak yang mempunyai jumlah penduduk terbesar, agar dapat menyelamatkan banyak jiwa yang terancam, sehingga data yang digunakan dalam penentuan shelter adalah data run-up tsunami dan koordinat fokus area terdampak, ke-2 (dua) data tersebut harus diolah dengan data elevasi atau ketinggian lokasi terdampak yang secara geografi dikenal dengan istilah DEM yang merupakan singkatan dari Digital Elevation Model, dalam pengolahan data DEM ini, membutuhkan data nilai run-up maksimum, yang akan diambil dari sortir data run-up yang detail hasil simulasi tsunami. Semua data dan hasil pengolahan data tersebut akan diolah juga dengan data akses jalan dan jumlah penduduk di area terdampak. Semua data ini diolah dalam software ArcGIS ArcMap 10.5.

Jika disusun berdasarkan point maka kriteria penentuan shelter sebagai tempat evakuasi (pengungsian) sementara sampai air tsunami surut, lokasi penempatannya adalah sebagai berikut:

- Shelter berada di area klasifikasi nilai run-up tsunami tinggi > 6 meter (Sengaji dan Nababan, 2009)
- Shelter berada di lokasi yang mempunyai DEM rawan tsunami klasifikasi tinggi (ditandai warna merah) (Perka BNPB No.2/2012)
- Shelter berada pada lokasi dengan radius 500 meter dari jalan primer atau sekunder (Sugimoto, 2003).
- Shelter berada di lokasi terdampak yang mempunyai jumlah penduduk klasifikasi sedang dan tinggi (lebih dari 500 jiwa/km²).

Untuk memperoleh masing-masing kriteria tersebut harus dilakukan pengolahan data sebagai berikut:

a. Penentuan data kriteria pertama

Proses yang dilakukan adalah menggabungkan seluruh data hasil digitasi setiap blok menjadi satu database digitasi, kemudian melakukan sortir data dan membagi klasifikasi nilai run-up menjadi 3 klasifikasi (Sengaji&Nababan,2009) yaitu 0-2 m (rendah), 2-6 m (sedang), dan > 6m tinggi, kemudian data run-up > 6 m ini akan dijadikan kriteria lokasi shelter.

b. Penentuan data kriteria kedua

Pada kriteria kedua, pengolahan dimulai dari data fokus area terdampak yaitu berada pada batas koordinat **120.5⁰BT - 129⁰BT ; 2⁰LS - 5⁰LU**. Batas koordinat ini, kemudian akan digunakan untuk mencari nilai rawan tsunami diseluruh area terdampak yang dapat diklasifikasikan berdasarkan data DEM area penelitian dan tinggi run-up maksimum yang terjadi di area terdampak tsunami yaitu **27,4904 m**. Pengolahan data DEM ini menggunakan referensi Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012, point 4.1 halaman 20, pada tabel 1 yang menyebutkan bahwa bencana tsunami dibagi dalam tiga indeks ancaman yaitu rendah, sedang dan tinggi. Maka pengolahan data DEM yang dilakukan berdasarkan tiga indeks ancaman tersebut. Dari 3 jenis klasifikasi ini, DEM area rawan tsunami yang tinggi akan dijadikan kriteria perlunya dibangun evakuasi vertikal (shelter) di lokasi tersebut.

c. Penentuan data kriteria ketiga

Kriteria ketiga yaitu memiliki radius 500 meter dari jalan primer, sekunder atau tersier yang memungkinkan penduduk yang terancam mencapai posisi shelter (Sugimoto dalam Kurniati et al, 2013).

d. Penentuan data kriteria keempat

Pada pengolahan data ini, data jumlah kependudukan yang digunakan berdasarkan kabupaten(kota)/km².

Dari empat kriteria tersebut kemudian dilakukan intersection dan hasilnya adalah lokasi penentuan shelter. Hasil akhir intersection ini akan diuji kebenaran lokasinya dengan overlay menggunakan aplikasi google earth pro.

3.2. Sumber Data, Subyek dan Obyek Penelitian

3.2.1. Sumber Data

Berdasarkan sumbernya, data dibagi menjadi Data Primer dan Data Sekunder (Sujarweni, 2014, p.73). Data primer merupakan data yang diperoleh langsung di lapangan oleh peneliti, sedangkan data sekunder adalah data yang tidak diperoleh secara langsung dilapangan kepada peneliti, misalnya menggunakan data hasil pengukuran alat yang telah diolah otomatis (Umar, 2003), h. 56).

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang ada didalam 3 (tiga) tahapan utama pengolahan data. Dalam tahapan utama pertama pengolahan data menggunakan data histori gempabumi dari literatur dan database gempabumi yang berasal dari pengukuran alat seismograph yang sudah terpasang stasioner oleh setiap instansi yang mengamati pergerakan dibawah permukaan bumi. Database yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Seismicity Analysis System (earthquake catalog Harvard), repositori gempabumi BMKG dan Database gempabumi GeoForschungsZentrum (GFZ). Didalam database gempabumi ini terdapat data parameter gempabumi yang lengkap yaitu: *time(s)*, *date*, *coordinate(°)*, *magnitudo(SR)*, *depth(km)*, *strike(°)*, *dip(°)*, *rake(°)*, *slip(m)*, *length(km)*, *width(km)*.

Dalam tahapan utama pengolahan data kedua menggunakan database topografi (bathymetri) lokasi penelitian yang diperoleh dari data topografi (bathymetri) seluruh permukaan bumi yang sudah terintegrasi dalam software GEODAS hasil pengukuran peralatan automatic NOAA dari Belanda.

Dalam tahapan utama pengolahan data ketiga menggunakan data elevasi dalam bentuk Digital Elevation Model (DEM) dari Lembaga Penerbangan dan Anatriksa Nasional (LAPAN), potensi desa (PODES) untuk mengetahui data sensus penduduk *ter-update* pada lokasi terdampak dan luas wilayah dari Badan Pusat Statistik (BPS), dan data akses jalan dari Badan Informasi Geospasial (BIG).

3.2.2. Subjek Penelitian

Moeliono (1993: 862) mendeskripsikan subjek penelitian sebagai orang yang diamati sebagai sasaran penelitian. Subjek dalam penelitian ini adalah penduduk pada lokasi-lokasi yang berdasarkan hasil simulasi penjaran gelombang tsunami akan terdampak bencana tsunami yaitu penduduk yang berada di sebelah barat Sangihe yang masuk didalam Pulau Sulawesi, penduduk di tengah Laut Maluku dan penduduk disebelah timur Halmahera yang masuk dalam pulau Maluku Utara.

3.2.3. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah sesuatu yang menjadi pemusatan pada kegiatan penelitian (Sugiyono, 2012). Obyek penelitian ini adalah daerah aktivitas seismik di Zona Subduksi Maluku yang mempunyai potensi gempabumi pembangkit tsunami dan daerah yang aman untuk lokasi evakuasi.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Pada teknik pengumpulan data dijelaskan bagaimana teknik pengumpulan data dalam kegiatan penelitian yang akan dilakukannya. Teknik pengumpulan data bergantung dari desain penelitian yang akan digunakan oleh peneliti. (Sumber: Peraturan Rektor Universitas Pertahanan Nomor 22 Tahun 2014).

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan secara sistematis menggunakan data kuantitatif dari database gempabumi (Harvard, BMKG dan GFZ), database topografi (bathymetri) NOAA, data Digital Elevation Model (DEM) LAPAN,) data sensus penduduk ter-*update* pada lokasi terdampak/luas wilayah PODES BPS, dan data akses jalan BIG.

3.4. Teknik Analisis Data

Analisis data mempunyai kedudukan yang penting. Menurut Singarimbun, et al. (1987), analisis data adalah proses penyederhanaan data ke dalam bentuk yang lebih mudah dibaca dan diinterpretasikan, data-data parameter gempabumi dalam database gempabumi suatu

instansi yang mengamati gempa bumi sudah langsung diolah secara otomatis dan menghasilkan angka-angka yang bisa didownload.

Setelah data dikumpulkan, peneliti perlu menjelaskan bagaimana data yang telah terkumpul tersebut akan di analisis (Sumber: Peraturan Rektor Universitas Pertahanan Nomor 22 Tahun 2014)..

Teknik Analisis data dalam penelitian ini menggunakan teknik dari jumlah dan lengkapnya data. Semakin banyak dan semakin lengkap data serta terupdate datanya, maka semakin akurat hasil pengolahan data, terutama data-data parameter gempa bumi, data potensi desa dan data sensus penduduk.

3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Instrumen Penelitian

Instrumen Penelitian adalah seluruh alat bantu utama yang dipergunakan dalam kegiatan penelitian seperti panduan wawancara, program komputer tertentu, dan lain sebagainya dijelaskan didalam penelitian ini. (Sumber: Peraturan Rektor Universitas Pertahanan Nomor 22 Tahun 2014)

Instrument yang digunakan adalah PC yang terhubung dengan jaringan internet seperti Aplikasi Seismisitas, Software Geodas, Software Tsunami-L, dan software GIS. Instrument lain yang digunakan adalah data parameter gempa bumi, data topografi/bathymetri, dan data potensi desa.

3.5.2. Pengujian Keabsahan dan Keterandalan Data

Keabsahan Data merupakan standar kebenaran suatu data hasil penelitian yang lebih menekankan pada data/informasi. Salah satu cara menentukan kriteria keabsahan adalah dengan menggunakan derajat kepercayaan yaitu menunjukkan hasil-hasil pengolahan data dengan jalan pembuktian atau validasi oleh peneliti pada kenyataan hasil lain yang sudah terjadi. (Ayu, 2015)

Pengujian keabsahan dan keterandalan data, dilakukan dengan menggunakan metoda pemrograman menggunakan software Tsunami dengan melihat hasil simulasi yang divalidasi dengan membandingkan lokasi bidang patahan yang pernah terjadi gempa bumi dan dampak yang

ditimbulkan sebelumnya. Data yang bagus jika dicoba pada software dengan menggunakan parameter lokasi bidang patahan yang sama, menghasilkan hasil pemodelan gempabumi yang sama.

Teknik validasi lain yang akan digunakan adalah validasi dengan menggunakan software yang sudah teruji kebenarannya seperti google earth atau google maps, juga melihat kondisi real dari bentuk geologis dan kondisi topografi atau bathymetri yang diperkuat dengan sumber-sumber referensi hasil penelitian.

3.6. Definisi Operasional

Definisi operasional adalah penetapan berbagai definisi yang akan dipergunakan oleh penulis dalam penelitian. Penetapan definisi tersebut dibuat oleh penulis dengan mempertimbangkan berbagai tinjauan pustaka yang berkaitan dengan definisi tertentu. (Sumber: Peraturan Rektor Universitas Pertahanan Nomor 22 Tahun 2014). Beberapa definisi operasional yang perlu disampaikan adalah:

- a. Run-Up adalah ketinggian gelombang tsunami yang telah sampai ke darat (Puspito, 2000)
- b. Inundasi adalah jarak landaan gelombang tsunami dari pinggir pantai sampai daratan terjauh (Puspito, 2000).
- c. Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (UU 24/2007)
- d. Kesiapsiagaan : Serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna (UU 24/2007)
- e. Gempabumi adalah peristiwa atau kejadian keluarnya akumulasi energi secara tiba-tiba pada suatu bidang patahan (Andriyani et al)
- f. Tsunami adalah suatu peristiwa Bergeraknya gelombang laut yang datang dari tengah lautan menuju daratan, yang dibangkitkan oleh gempa yang terjadi didasar laut (Puspito, 2000)
- g. Subduksi adalah suatu proses penunjaman lempeng samudera terhadap lempeng benua (Katili, 1995)

- h. Zona subduksi adalah suatu zona pertemuan terjadinya tumbukan dan penunjaman lempeng samudra terhadap lempeng benua yang terjadi terus menerus secara dinamis (Katili, 1995)
- i. Collision adalah suatu proses tumbukan antara 2 buah lempeng (Shiddiq et al.,(2015).
- j. Geografi adalah ilmu yang menggambarkan tentang segala sesuatu yang berada di permukaan bumi (erasthotenes, abad 1 M)
- k. Geologi adalah Ilmu yang mempelajari material bumi (batuan) secara menyeluruh (Ricardh de Bury ,1473)
- l. Geofisika adalah ilmu yang mempelajari bumi (bagian padat) menggunakan teori atau konsep fisika (Grandis, 2008)
- m. Lempeng adalah lapisan dengan ketebalan rata-rata 100 km yang merupakan bagian-bagian pembentuk kerak bumi yang saling bergerak satu sama lain yang berada dibawah permukaan bumi dan berada diatas lapisan cair yang sangat panas (Widiyantoro, 2007).
- n. Sesar adalah bidang patahan yang terbentuk akibat pergerakan lempeng (Ibrahim, Soebarjo dan Sendjaja, 2010)
- o. Seismisitas suatu sistem data yang dapat memberikan suatu informasi karakteristik aktivitas seismik atau kegempaaan dalam suatu daerah tertentu (Ahmad, 2000).
- p. Magnitudo gempabumi adalah skala yang menunjukkan besarnya kekuatan gempa bumi yang terjadi (Wadati&Richter, 1930)
- q. Episenter adalah titik di permukaan bumi yang berada tepat di atas atau di bawah kejadian lokal yang memengaruhi permukaan bumi. (Pam Walker, Elaine Wood ,2008).
- r. Hyposenter adalah titik pada lokasi kedalaman terjadinya suatu kejadian dibawah permukaan bumi (Pam Walker, Elaine Wood ,2008).
- s. Slip adalah jarak perubahan suatu bidang patahan yang bergerak naik atau turun dari posisi normal. (Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. 1994)

- t. Topografi adalah bentuk atau keadaan pada permukaan bumi (KBBI, 2016. <http://www.kbbi.online/2016/10/definisi-maksud-dan-arti-kata-topografi>)
- u. Bathymetri adalah penentuan kedalaman laut dan hasil yang diperoleh dari analisis data kedalaman merupakan konfigurasi dasar laut (International Hydrographic Organization, 1994)
- v. Peringatan Dini: Serangkaian kegiatan pemberian peringatan sesegera mungkin kepada masyarakat tentang kemungkinan terjadinya bencana pada suatu tempat oleh lembaga yang berwenang (UU 24/2007).

3.7. Jadwal Penelitian

Pelaksanaan Penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yaitu:

- a. Tahap persiapan, meliputi penentuan judul, penyusunan proposal, dan studi pustaka yang dimulai Mei 2017.
- b. Tahap pengambilan, pengolahan dan analisis data. Pelaksanaan pengambilan data mulai dilakukan pada awal September 2017, setelah seminar proposal dan selesainya perkuliahan semester 3, kemudian dilanjutkan pengolahan dan analisis data.
- c. Tahap penulisan laporan penelitian. Langkah-langkah yang dilakukan adalah seluruh bentuk laporan menggunakan format yang telah ditentukan sesuai Surat Keputusan Rektor Universitas Pertahanan. Pelaksanaannya dilakukan paralel dengan pengambilan dan pengolahan data yang berakhir bulan Januari 2018. Setelah itu revisi-revisi selesai Februari 2018.

Tabel 3.1 Pelaksanaan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Mei'17	Jun'17	Jul'17	Agt'17	Sep'17	Okt'17	Nop'17	Des'17	Jan'18	Feb'18
1	Tahap persiapan										
	Penentuan judul										
	Penyusunan proposal										
	Seminar pra-proposal										
	Perbaikan pra-proposal										
	Seminar Proposal										
	Perbaikan Proposal										
	Studi pustaka										
2	Tahap pengambilan data										
3	Tahap pengolahan dan analisis data serta penulisan laporan										
	Ujian Tesis										
	Revisi										

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*, 2017)

BAB 4 HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Penelitian

Gambaran data yang digunakan dalam penelitian ini disusun dan diolah secara sistematis, data-data tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Data historis gempa bumi dan tsunami di Zona Subduksi Maluku, dari data historis tersebut, akan ditentukan batasan area berpotensi terdampak tsunami dan data topografi (bathymetri) nya dicari menggunakan software Geodas. Penentuan data batasan area terdampak dilakukan secara square (kotak) dalam bentuk koordinat lintang dan bujur bumi, karena software Geodas hanya dapat mengolah data dalam bentuk square yaitu jarak dari lintang utara ke lintang selatan harus sama dengan jarak dari bujur barat ke bujur timur.
- b. Data kejadian gempa bumi sebelumnya yang akan dijadikan input untuk simulasi gelombang tsunami. Penentuan data ini diawali dari aplikasi database gempa bumi untuk mendapatkan peta seismisitas, kemudian berdasarkan lingkup peta seismisitas tersebut dicari salah satu kejadian (event) gempa bumi dan dianalisis data lengkap kejadian gempa buminya menggunakan database gempa bumi BMKG, kemudian datanya divalidasi dengan database gempa bumi GFZ yang mempunyai parameter data yang lengkap untuk input simulasi penjalaran gelombang tsunami. Kriteria parameter gempa bumi yang digunakan adalah parameter gempa bumi pembangkit tsunami dengan menggunakan magnitudo maksimum dan kedalaman sumber gempa bumi dangkal, yang berada sepanjang zona subduksi dan diantara 2 (dua) zona subduksi.
- c. Dari hasil pengolahan **point a dan point b** akan diinput kedalam software Tsunami-L, yaitu suatu software untuk melihat pemodelan gelombang tsunami, dan akan diperoleh output yaitu data waktu penjalaran, nilai *Run-Up* dan inundasi di setiap area terdampak tsunami.
- d. Data yang akan diolah selanjutnya adalah hasil digitasi *Run-Up* dan *Run-Up* Maksimum hasil sort yang akan diolah bersama-sama dengan

data DEM (Digital Elevation Model), selain itu digunakan juga data yang terdapat dalam potensi desa lokasi penelitian seperti jumlah penduduk dan akses jalan yang semuanya diolah menggunakan software SIG

4.2. Hasil Pengolahan dan Analisis Data

4.2.1. Koordinat Area Berpotensi Terdampak Tsunami

Dari data historis tsunami yang terjadi di Maluku dan sekitarnya, yang telah diuraikan pada bab 1 yaitu:

- a. Jurnal Wallansha et al. (2015):
 - Tsunami 17 Februari 1964 melanda Ambon (127° - 129° BT; 3° - 4° LS)
 - Tsunami 12 Oktober 1899 melanda Amahai (128° - 129° BT; 2° - 4° LS)
- b. Katalog Tsunami Indonesia 416-2014 (Deputi Bidang Geofisika BMKG, 2015):
 - Tsunami 1673 melanda Gamkonora (127° - 128° BT; 1° - 2° LU)
 - Tsunami 1871 melanda Kepulauan Sangihe, Tagulandang, Buhias (123° - 127° BT; 1° - 5° LU)
 - Tsunami 1889 melanda Kepulauan Sangihe dan Ruang (123° - 127° BT; 3° - 5° LU)
 - Tsunami 4 Mei 2000 melanda Pulau Peleng dan Kepulauan Banggai (123° - 124° BT; 1° - 3° LS)
- c. Catatan Sejarah Tsunami Maluku Utara (Daryono, 2015)
 - Tsunami 1858 melanda Sulawesi-Utara, Banggai-Sangihe-Ternate (123° - 128° BT; 2° LU- 2° LS)
 - Tsunami 1859 melanda Kema-Minahasa (123° - 125° BT; 1° - 2° LU)
 - Tsunami 1871 melanda Gorontalo (121° - 123° BT; 0° - 2° LU)
 - Tsunami 1889 melanda Tahuna (123° - 127° BT; 3° - 5° LU)
 - Tsunami 1907 melanda Kepulauan Talaud (125° - 129° BT; 3° - 5° LU)
 - Tsunami 1936 melanda Pulau Salebabu (125° - 127° BT; 3° - 4° LU)

Maka berdasarkan data historis tersebut, dalam penelitian ini penulis mengambil lokasi penelitian yang melingkupi seluruh lokasi diatas dan batasan area tersebut diperluas dengan mengasumsikan kekuatan gempa bumi yang akan terjadi 9 SR sebagai langkah kesiapsiagaan. Dengan menggunakan data historis tsunami, batasan square dan asumsi kekuatan

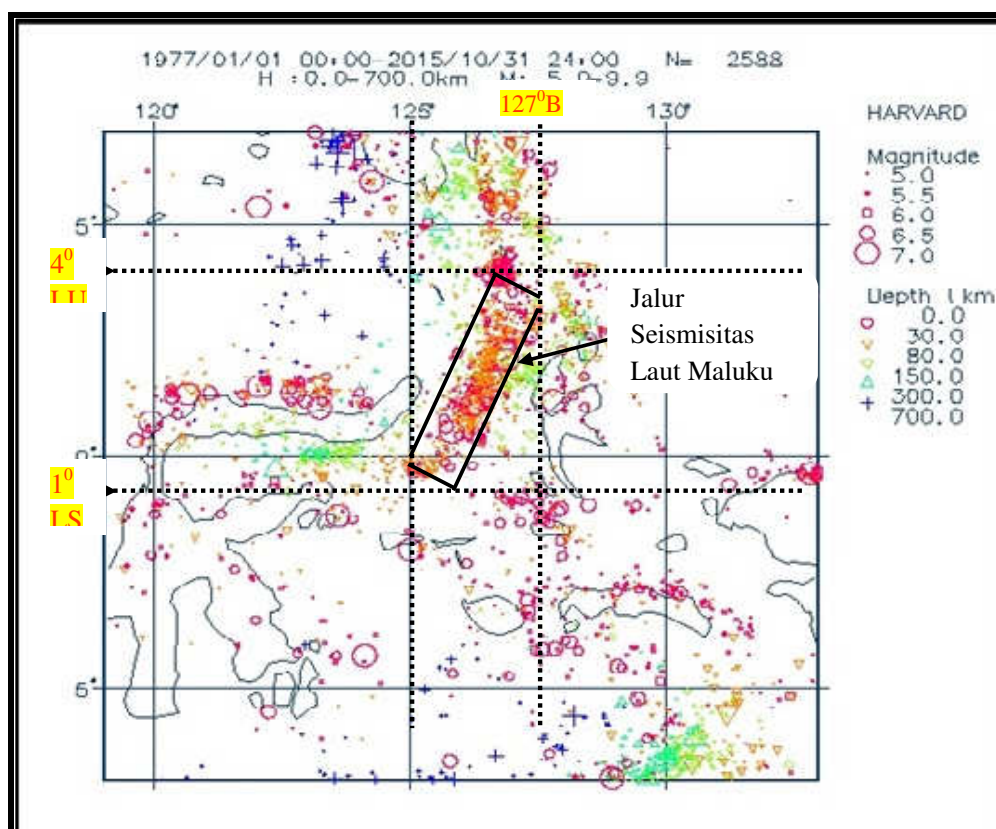
gempabumi 9 SR, maka koordinat area penelitian yang akan dilakukan adalah: **7⁰LU-7⁰LS** dan **119⁰BT-133⁰BT**. Koordinat ini kemudian diolah sebagai input dalam aplikasi database gempabumi untuk mendapatkan data kejadian gempabumi dan sebagai input pula dalam Software Geodas untuk mendapatkan data topografi (bathymetri)-nya

4.2.2. Kejadian Gempabumi dan Parameternya

a. Hasil Pengolahan Data Aplikasi Earthquake Catalog ERI

<https://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/db/harvard/index.html>

Aplikasi pengolahan data ini merupakan aplikasi *Earthquake Catalog-Seismicity Analysis System* menggunakan database gempabumi *Harvard* yang berada satu paket dalam aplikasi ini. Dengan menggunakan koordinat lokasi penelitian: **7⁰LU-7⁰LS** dan **119⁰BT-133⁰BT** pada aplikasi ini, maka diperoleh hasil pengolahan data yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Peta Seismisitas Menunjukkan Jalur Seismisitas Laut Maluku

Pada Gambar 4.1 memperlihatkan peta seismisitas di lokasi penelitian, tanda panah menunjukkan jalur seismisitas di Laut Maluku yang akan menjadi objek mencari kejadian gempabumi yang akan dijadikan input simulasi tsunami. Berdasarkan analisis hasil pengolahan data ini, maka objek untuk mencari kejadian (event) gempabumi yang akan dijadikan input simulasi tsunami, berada pada koordinat **1⁰LS - 4⁰LU dan 125⁰BT - 127⁰BT**.

b. Hasil Pengolahan Data Aplikasi Database Gempabumi BMKG

Pada database ini, hasil analisis pengolahan aplikasi sebelumnya yang menunjukkan koordinat **1⁰LS - 4⁰LU dan 125⁰BT - 127⁰BT** dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan database gempabumi BMKG untuk melihat seluruh gempabumi yang pernah terjadi pada area koordinat tersebut, kemudian dipilih salah satu event gempabumi yang akan divalidasi dan dianalisis parameternya menggunakan database gempabumi GFZ.

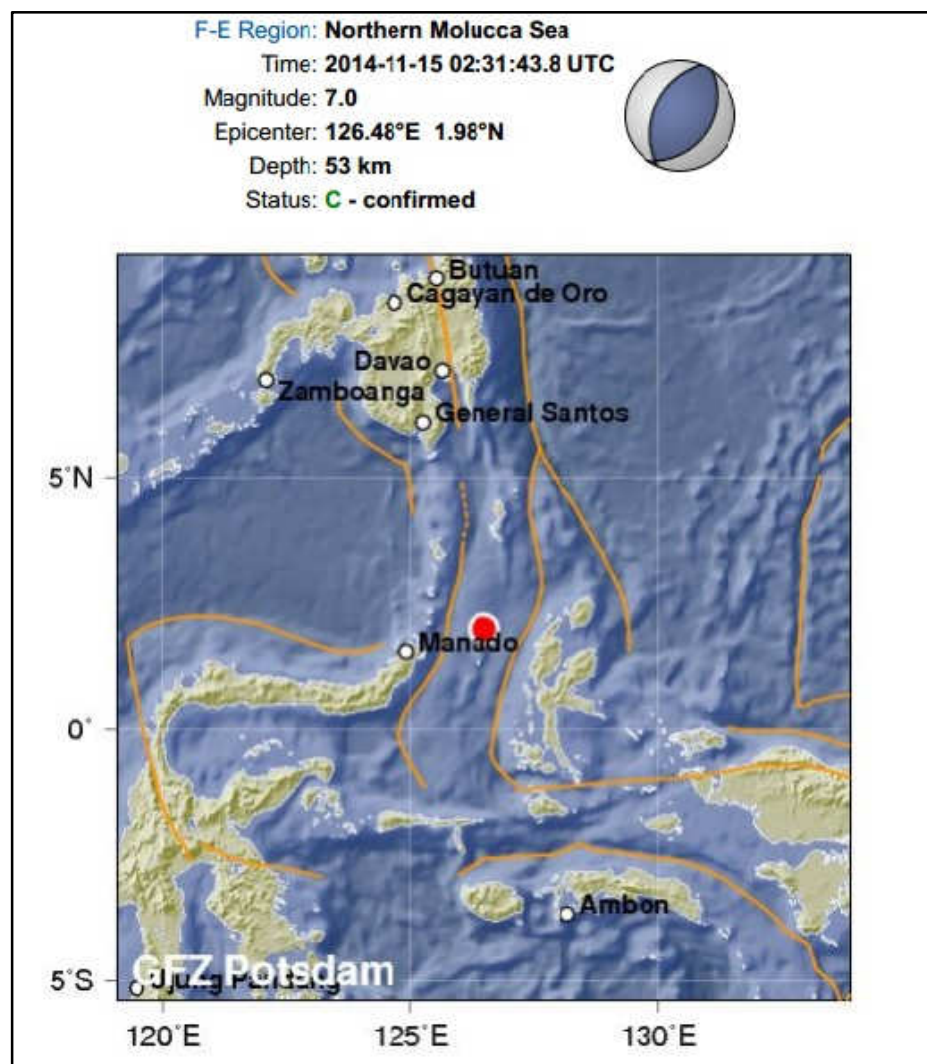
Berdasarkan hasil pengolahan database gempabumi BMKG maka event gempabumi dari data terbaru dengan magnitude terbesar yang akan dijadikan input untuk dianalisis parameternya yaitu event gempabumi yang terjadi pada **15 November 2014**, pukul **02:31:44.3 UTC** dengan **Magnitude=7.2 Mw**, koordinat **1.95⁰ LU dan 126.49⁰BT**, kedalaman **60 km**. Data terbaru ini digunakan untuk memperkuat penelitian bahwa lokasi keberadaan bidang patahan penyebab gempabumi ini masih aktif dan perlu diwaspadai. Hasil pengolahan database Puslitbang BMKG dapat dilihat pada Lampiran 1 (satu) yang sudah di-sort untuk menunjukkan event dengan magnitude tertinggi.

c. Hasil Pengolahan Data Aplikasi Database Gempabumi GFZ

<http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/form.php>

Event gempabumi hasil analisis database gempabumi Puslitbang BMKG, dianalisis dan validasi lebih lanjut dengan database gempabumi GFZ yang mempunyai data parameter lengkap untuk kebutuhan pengolahan data di software tsunami-L. Hasil pengolahan Aplikasi gempabumi GFZ ini datanya dapat dilihat pada lampiran 2 (dua) diberi nama Data Event Gempabumi GFZ yang terlihat pada Gambar 4.2 dan Hasil pengolahan data secara detail

terdapat pada lampiran 3 (tiga). Dari event gempabumi ini, lebih lanjut dilihat juga parameter bidang patahannya yang ditunjukkan pada lampiran 4 (empat), yaitu nilai parameter yang dibutuhkan untuk input simulasi tsunami yaitu nilai **Strike= 204** dan **Dip= 50**.



Gambar 4.2. Event Gempabumi Yang Menjadi Parameter

4.2.3. Area Terdampak Run-Up Tsunami

4.2.3.1. Data Topografi (Bathymetri)

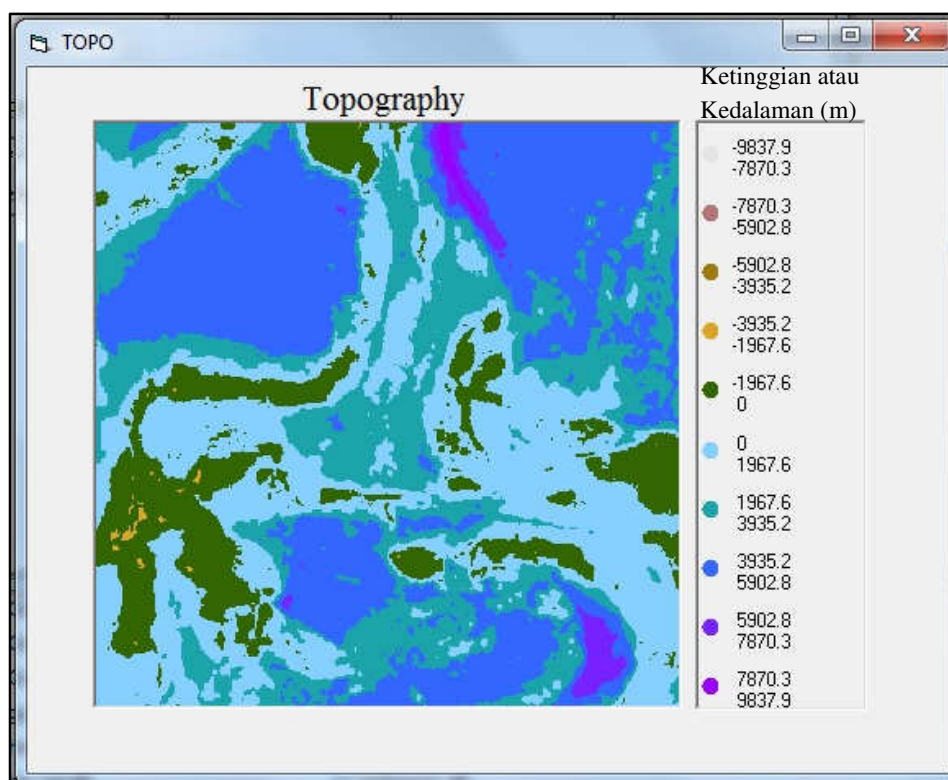
Penentuan data ini merupakan tahapan sebelum melakukan pemodelan tsunami. Pengolahannya menggunakan **Software Geodas** dengan input data Koordinat Area Berpotensi Terdampak Tsunami yaitu **7°LU-7°LS** dan **119°BT-133°BT**. Hasil pengolahannya terdapat pada

lampiran 5 (lima), yang diberi nama Data Topography (Bathymetri) *Impact_MCZ*, dalam bentuk cuplikan karena datanya sangat banyak.

4.2.3.2. Data dan Parameter Simulasi Tsunami

a. Data Raster Topography (Bathymetri)

Data dari pengolahan software GEODAS yang terdapat pada lampiran 5 (lima), akan terlihat dalam bentuk raster pada pengolahan data pertama di software Tsunami-L yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.

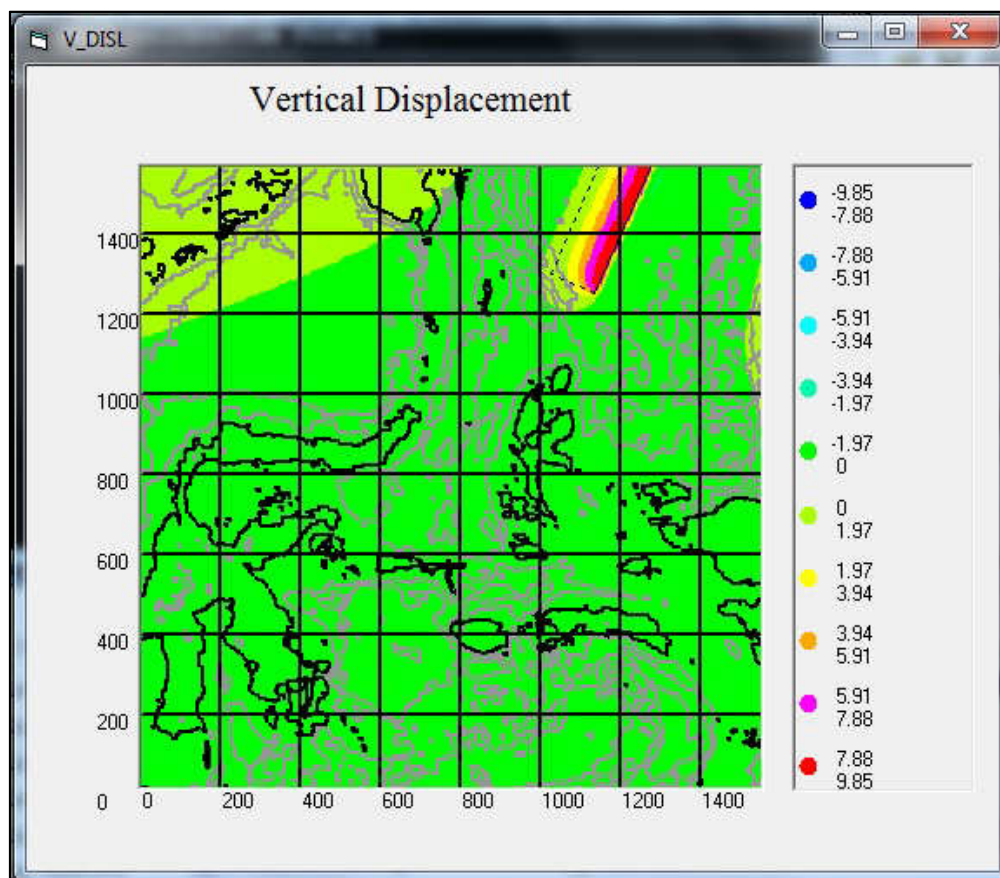


Gambar 4.3. Data Topography/Bathymetri Batasan Lokasi Penelitian

b. Parameter Gempabumi dan Bidang Patahan

Dalam menghitung nilai koordinat bidang patahan dalam bentuk X_{eq} (posisi utara selatan) dan Y_{eq} (posisi barat timur), digunakan koordinat lokasi penelitian: $7^{\circ}\text{LU} - 7^{\circ}\text{LS}$; $119^{\circ}\text{BT} - 133^{\circ}\text{BT}$, koordinat event gempabumi: 1.98°LU ; 126.48°BT dan grid maksimum hasil running peta.

Grid maksimum diperoleh dari automatic displacement di software Tsunami-L, dengan cara setelah tahapan menunjukkan peta topography selesai, klik displacement. Pada pengolahan ini diperoleh angka grid maksimum **1600** seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar. 4.4. Hasil Displacement Sebelum Perhitungan X_{eq} dan Y_{eq}

Sesudah mendapatkan data koordinat lokasi penelitian: $7^{\circ}\text{LU} - 7^{\circ}\text{LS}$; $119^{\circ}\text{BT} - 133^{\circ}\text{BT}$, koordinat event gempabumi: 1.98°LU ; 126.48°BT dan nilai grid maksimum hasil running peta **1600**, maka untuk melakukan perhitungan X_{eq} dan Y_{eq} yaitu koordinat posisi bidang patahan dibawah Laut Maluku tempat sumber gempabumi terjadi, menggunakan perumusan sebagai berikut:

- $X_{eq} = \frac{126,48 - 119}{133 - 119} \times 1600 = 854.86$
- $Y_{eq} = \frac{1,98 - (-7)}{7 - (-7)} \times 1600 = 1026.29$

Untuk nilai Z_{eq} = nilai kedalaman (hypocenter) akan dibuat skenario dengan kedalaman **10 km** yang merupakan kategori dangkal berbahaya, kemudian nilai strike dan dip langsung diinputkan pada form ini. Nilai strike dan dip diperoleh dari parameter database gempabumi GFZ yaitu: Strike=

204, Dip= 50. Nilai Slip= 83^0 yang ada di parameter gempa bumi GFZ tidak digunakan karena satuannya adalah derajat, sedangkan yang harus dicari adalah dalam satuan panjang. Dalam menghitung Slip dalam satuan panjang, dibuatkan skenario dengan kekuatan gempa $M_w=9$ SR, yang termasuk kategori kekuatan gempa paling besar dalam skala richter. Secara sistematis urutan perhitungan Slip adalah sebagai berikut:

1) Persamaan Papazahos et al (2004) untuk $M_w = 9$

- Panjang bidang patahan (L) diperoleh dgn rumus :

$$\text{Log (L)} = -2.42 + (0.58 \cdot M_w)$$

$$\text{Sehingga Log (L)} = -2.42 + (0.58 \cdot 9) = 2.8,$$

$$L = 630.957 \text{ Km}$$

- Lebar bidang patahan (W) diperoleh dgn rumus :

$$\text{Log (W)} = -1.61 + (0.41 \cdot M_w)$$

$$\text{Sehingga Log(W)} = -1.61 + (0.41 \cdot 9) = 2.08$$

$$W = 120.226 \text{ Km}$$

- Luas bidang patahan (A) diperoleh dgn rumus :

$$A = L \cdot W$$

$$\text{Sehingga } A = 630.957 \cdot 120.226 = 75,857.758 \text{ Km}^2 = 7.586 \times 10^{10} \text{ m}^2$$

2) Persamaan (Hanks, T. C., Kanamori, H. 1979) untuk $M_w = 9$

- Momen seismik (M_o) diperoleh dgn rumus : $M_w = \frac{2}{3} \log M_o - 6.07$

$$\text{Sehingga } \frac{2}{3} \log M_o = M_w + 6.07 = 9 + 6.07 = 15.07$$

$$\text{Log } M_o = 15.07 \cdot \frac{3}{2} = 22.605$$

$$M_o = 4.027 \times 10^{22} \text{ Nm}$$

3) Persamaan (Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. 1994)

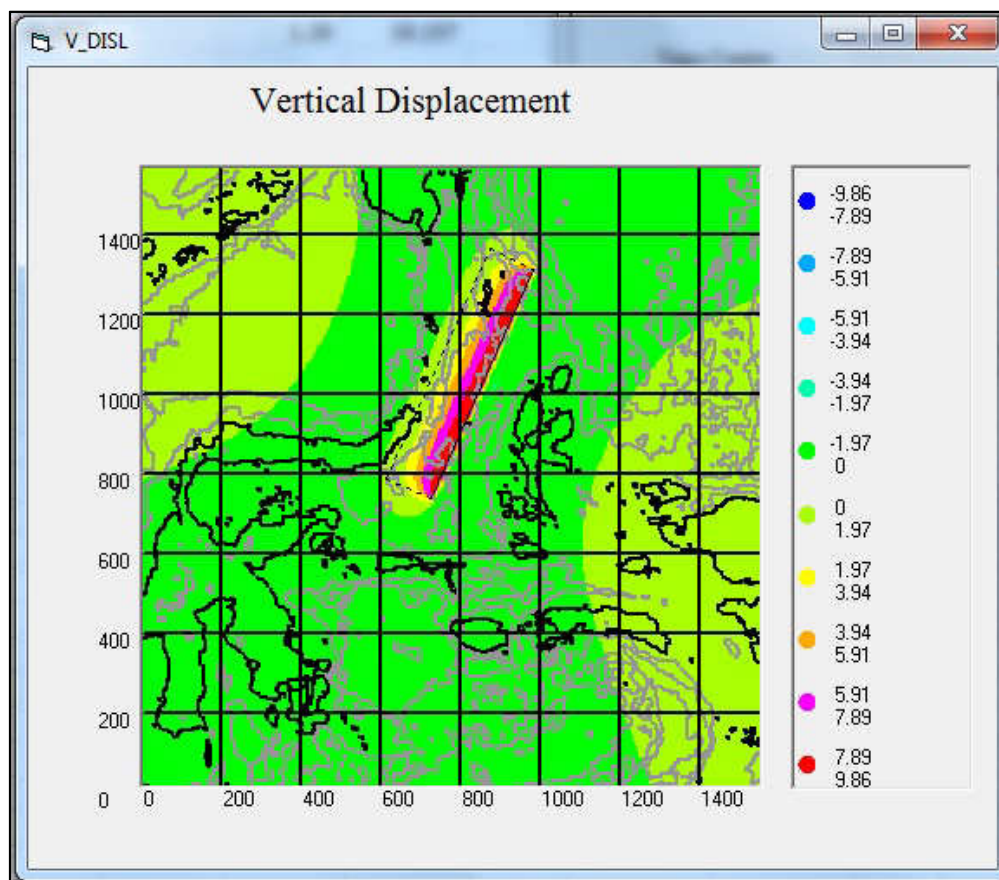
- Slip (S) atau Displacement (D) diperoleh dengan rumus :

$$M_o = \mu A D$$

$$\text{Dengan } \mu \text{ adalah nilai konstanta} = 3 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2 = 3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\text{Sehingga D atau Slip (S)} = M_o / \mu A = 17.696 \text{ m}$$

Semua parameter bidang patahan dan hasil perhitungannya, dimasukkan kedalam form Fault kemudian klik Displacement kembali. Hasil displacement sesudah input parameter dan hasil perhitungannya ini terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar. 4.5. Hasil Displacement after setting parameter dengan $M_w=9$

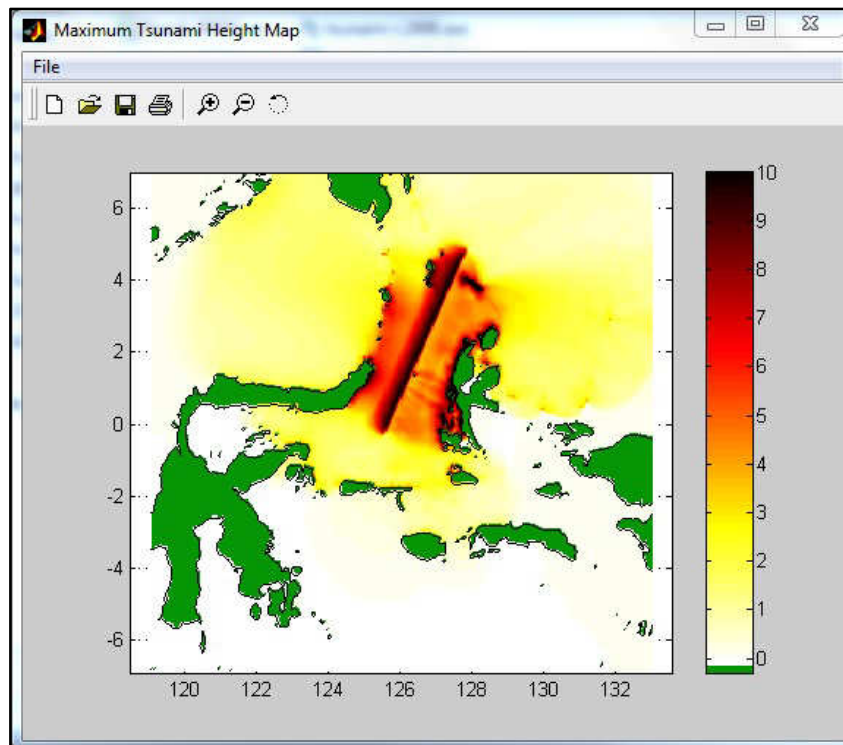
c. Hasil Simulasi Tsunami

Dari hasil point a dan hasil skenario point b pada tahapan software Tsunami-L sebelumnya, kemudian lanjut kedalam tahapan input form Tsunami. Dalam tahapan input form tsunami ini, agar dapat melihat *Run-Up*, maka klik non linear. Maksimum waktu penjalaran yang ingin dilakukan, penulis tentukan dalam waktu 1 jam (3600 detik), dengan graph interval 60 detik. Batas warna ketinggian maksimum tsunami dibatasi dengan degradasi warna untuk ketinggian maksimum 10 meter. Kemudian data ini disimpan dengan interval waktu 60 detik dalam format bmp, csv dan time, agar diperoleh datanya dalam bentuk angka untuk dianalisis lebih lanjut. Data lengkap hasil simulasi yang disimpan setiap 60 detik, terdapat pada lampiran 6 (enam) dalam format bmp. Setelah simulasi selesai, data ini juga akan disimpan dalam format dat dan datanya akan diolah lebih lanjut.

Tahapan input form tsunami ini ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6. Tahapan Input Form Tsunami

Setelah pengisian form Tsunami sesuai skenario yang telah ditentukan, maka klik Tsunami sehingga proses simulasi akan berlangsung. Hasil pengolahan simulasi *Run-Up* ini dalam bentuk raster Peta Ketinggian Maksimum Tsunami ditunjukkan dalam Gambar 4.7



Gambar 4.7. Peta Ketinggian Maksimum Tsunami

Pada hasil pengolahan data yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 jelas terlihat bahwa pulau yang berada di atas sepanjang bidang patahan, mempunyai risiko paling tinggi dari ancaman gempa bumi dan tsunami.

4.2.3.3. Nilai Jarak Inundasi

Pada pengolahan ini, akan diproses semua hasil **Pengolahan Data Simulasi Tsunami** dalam bentuk koordinat yang telah dilakukan selama 60 menit. Data yang diolah selama 60 menit ini berisi 5.812.906 data. Dari semua data ini, yang akan diolah nilai inundasinya adalah data ketinggian puncak (bukit) gelombang tsunami yang terjadi mulai dari titik diatas 0 (nol) meter dari MSL (Mean Sea Level). Nilai inundasi ini diperoleh dengan menggunakan rumus Inundation Tsunami (*Hills & Mader, 1997*):

$$X_{max} = (H_s^{1.33}) * (n^{(-2)}) * k$$

Dimana:

- H_s : tinggi maksimum tsunami height (nilai puncak gelombang tsunami saja yang diolah)
- k = constant (0.06 for many tsunami)
- n = constant: 0.015 for smooth area.

Selain itu data tersebut juga dipilah kembali, karena banyak sekali titik koordinat yang sama diterjang gelombang tsunami dengan ketinggian yang berbeda-beda, maka pemilahan data dilakukan dari setiap titik koordinat yang sama dipilih satu titik koordinat dengan nilai run-up dan inundasi maksimum yang terjadi di menit awal, semua proses ini dilakukan menggunakan aplikasi microsoft excel, dengan teknik sort terhadap latitude, longitude, nilai run-up dan inundasi serta waktu kejadian.

4.2.4. Lokasi Geografi Terdampak Tsunami dan Shelter

4.2.4.1. Lokasi Geografi Terdampak Tsunami

a. Lokasi Geografi Terdampak Tsunami Secara Total

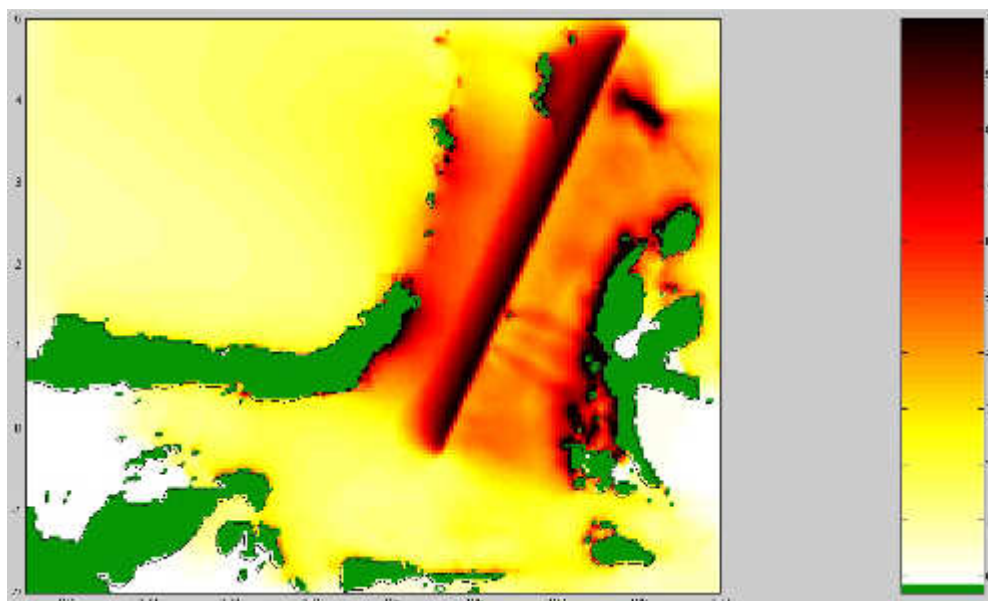
Pengolahan data ini dapat menggunakan software Quantum GIS, dengan tahapan sebagai berikut:

- **Fokus Area Dampak Run-Up Tsunami Berdasarkan Hasil Raster**

Karena data dampak tsunami yang begitu besar maka fokus data area terdampak menjadi sangat penting agar proses pengolahan nanti menjadi

lebih teliti dan efektif. Semakin kecil fokus data, maka semakin akurat hasil pengolahannya, sehingga dapat mengetahui nama geografi terdampak dalam skala geografi yang lebih kecil. Fokus area ini tetap tidak menghilangkan sekecil apapun dampak area yang akan diteliti. Ini dilakukan agar penelitian mendapatkan hasil yang benar-benar teliti.

Fokus area dampak ini berdasarkan hasil yang terlihat pada Gambar 4.7 yaitu dampak *Run-Up* tsunami yang terlihat ditandai warna kuning sampai warna hitam. Berdasarkan degradasi warna pada Gambar 4.7 tersebut, terlihat dampak *Run-Up* terhadap pulau-pulau di Indonesia terletak pada batas koordinat $120.5^{\circ}\text{BT} - 129^{\circ}\text{BT}$; $2^{\circ}\text{LS} - 5^{\circ}\text{LU}$. Batasan koordinat fokus area dampak *Run-Up* tsunami ini dilakukan dalam tahapan di software tsunami-L, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.8.



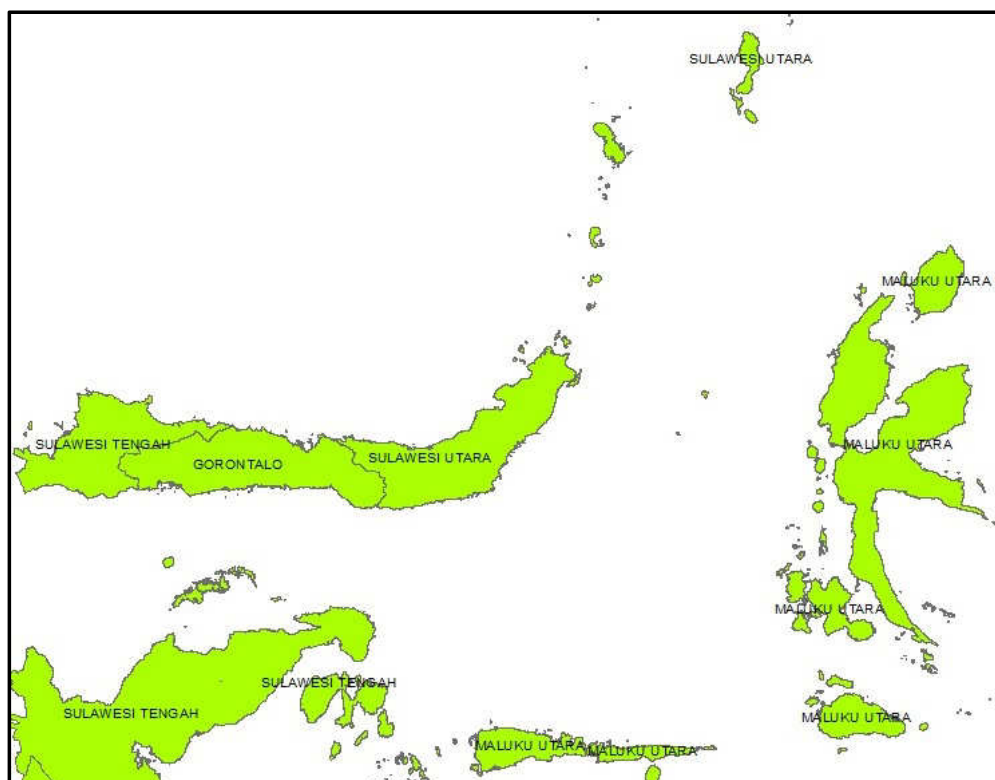
Gambar 4.8. Fokus Dampak *Run-Up* Tsunami

- **Overlay Fokus Dampak *Run-Up* Kedalam Informasi Geografi**

Dengan tujuan untuk mendapatkan informasi tentang *Run-Up* disuatu letak geografi, seperti propinsi, kota/kabupaten, kecamatan atau desa, maka hasil pada gambar 4.8 harus diolah dengan cara meng-overlay-kan dengan data letak geografi. Pengolahan data overlay ini dapat dilakukan dengan menggunakan software Quantum GIS. Dalam software Quantum GIS, hasil

dampak *Run-Up* dapat di-georeferensi-kan sehingga dapat diketahui nama letak geografi yang terdampak *Run-Up* pada Gambar 4.8 tersebut.

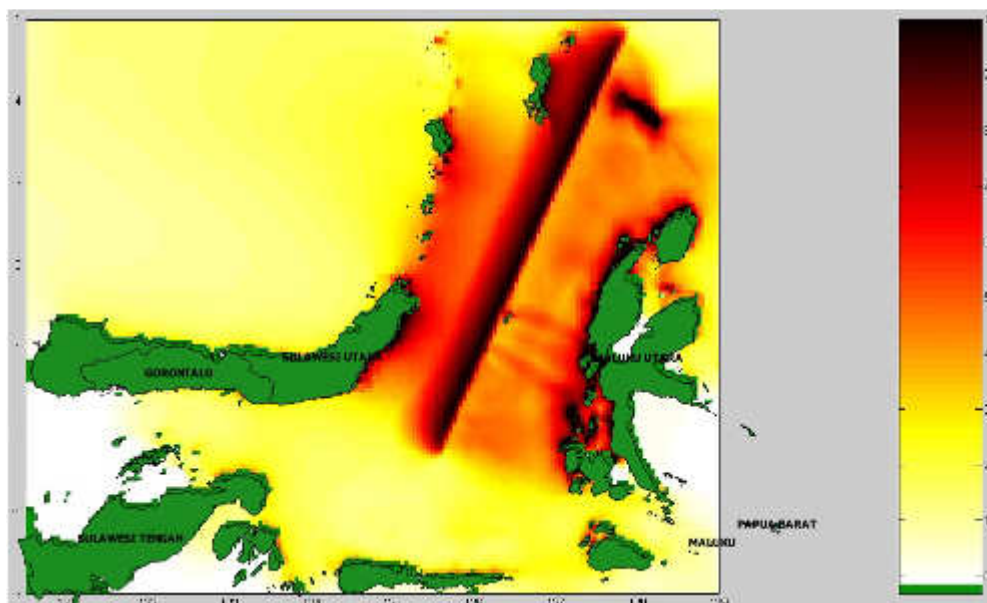
Berdasarkan hasil dampak *Run-Up* pada Gambar 4.8 yang terjadi pada beberapa propinsi, maka langkah awal overlay yang dapat dilakukan adalah dalam lingkup letak geografi propinsi. Pengolahan data geografi propinsi dalam software Quantum GIS ini dibatasi sesuai koordinat Fokus Dampak *Run-Up* Tsunami pada Gambar 4.8 di Indonesia. Hasil pengolahan letak geografi propinsi ini ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Data Geografi Propinsi Sesuai Koordinat Dampak Run-Up

Pada Gambar 4.9, sesuai koordinat Fokus Dampak *Run-Up* Tsunami pada gambar 4.8 terlihat secara geografi ada 4 propinsi di Indonesia yang nampak dalam batas koordinat tersebut, yaitu Propinsi Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Tengah, Maluku Utara.

Kemudian data geografi pada Gambar 4.9 ini akan di-overlay dengan fokus dampak run-up pada Gambar 4.8. Hasil overlay ini ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Hasil Overlay Dampak *Run-Up* Terhadap Letak Geografi.

Dari hasil overlay terlihat dari 4 propinsi tersebut hanya propinsi Sulawesi Tengah yang tidak semua pesisir pantainya terkena dampak *Run-Up* yang ditandai warna putih. Sedangkan pesisir pantai propinsi yang terdampak *Run-Up* sangat parah terjadi di Propinsi Maluku Utara terutama di posisi lintang utara yang ditandai warna hitam pekat.

b. Lokasi Geografi Terdampak Tsunami Setiap Propinsi

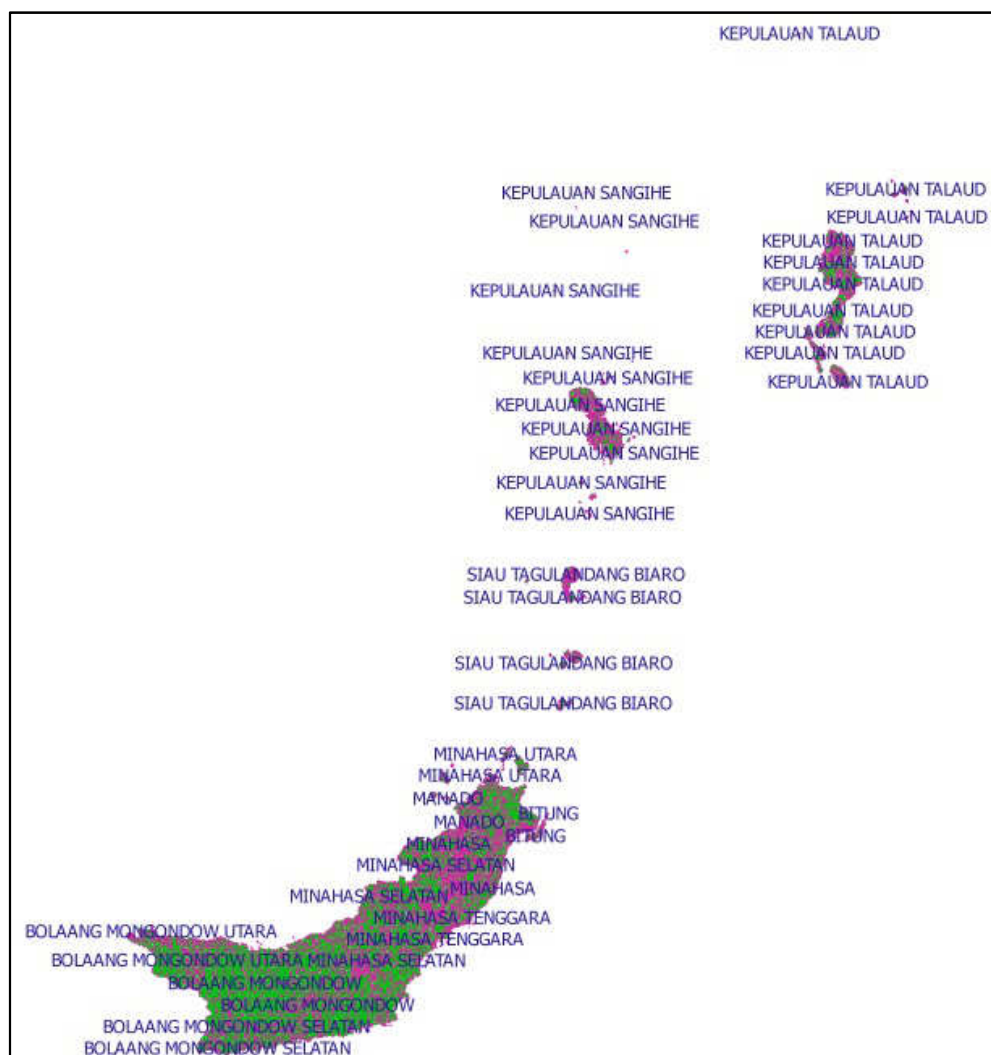
Untuk memperoleh hasil *Run-Up* dalam setiap propinsi, maka hasil fokus dampak run-up harus diolah lagi lebih detail, sehingga langkah selanjutnya adalah fokus mencari dampak *Run-Up* dengan melakukan overlay terhadap data kabupaten/kota yang ada dalam propinsi tersebut.

- **Overlay Geografi Propinsi Sulawesi Utara dengan Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Sulawesi Utara**

Berdasarkan kabupaten/kota, Propinsi Sulawesi Utara terbagi menjadi 15 kabupaten/kota yaitu:

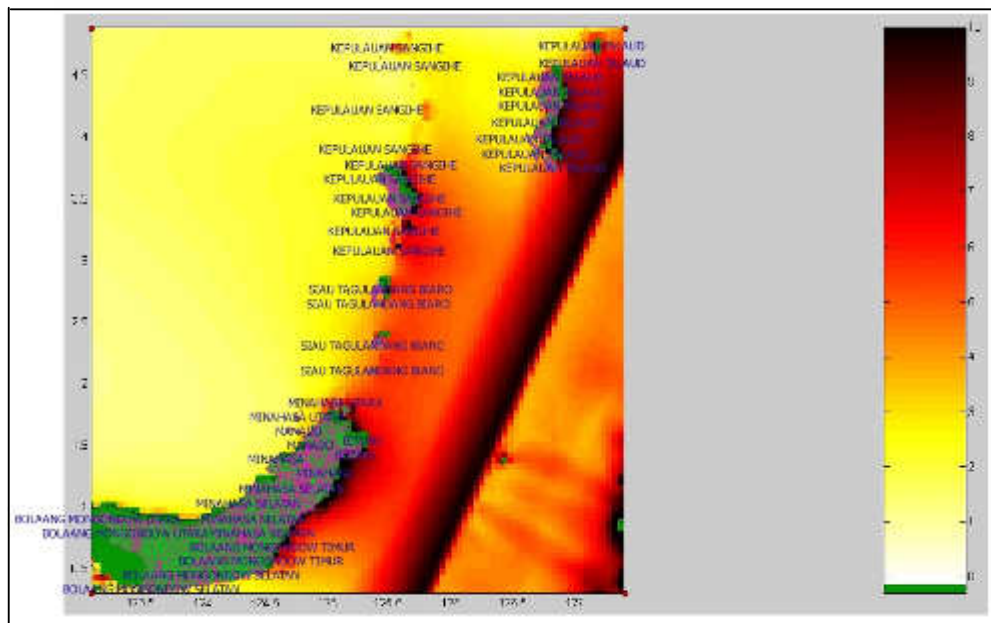
1. Minahasa	2. Minahasa Utara	3. Minahasa Selatan
4. Minahasa Tenggara	5. Kepulauan Sangihe	6. Bolaang Mongondow
7. Bolaang	8. Bolaang	9. Bolaang Mongondow
10. Tomohon	11. Siau Tagulandang	12. Kepulauan Talaud
13. Manado	14. Bitung	15. Kota Mobagu

Hasil pengolahan Software Quantum GIS data geografi kabupaten/kota didalam Propinsi Sulawesi Utara ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Kabupaten/Kota Propinsi Sulawesi Utara

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak *Run-Up* di Propinsi Sulawesi Utara yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.12



Gambar 4.12. Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Sulawesi Utara

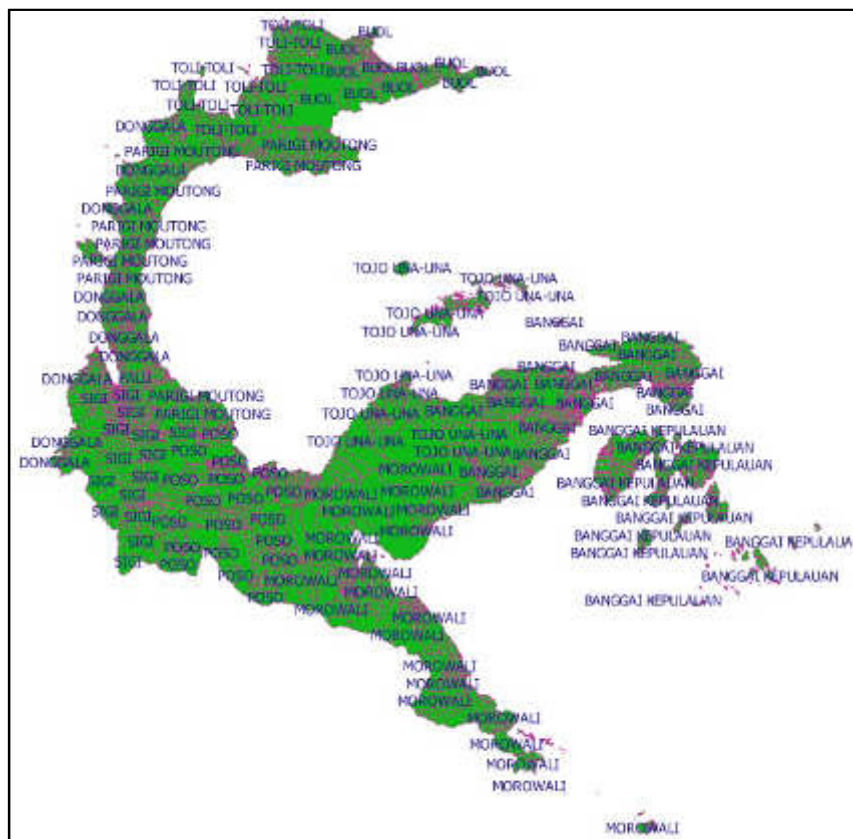
Dari degradasi warna dalam Gambar 4.12 terlihat untuk Propinsi Sulawesi Utara nilai *Run-Up* sangat menyebar dan bervariasi sangat signifikan. Warna kuning yaitu dengan nilai *Run-Up* berkisar 2 m terjadi di pesisir pantai kabupaten/kota Bolaang Mongondow Utara dan Selatan, semakin ke Utara dan pulau-pulau kecil di atasnya yang mendekati bidang patahan nilai *Run-Up* sangat bervariasi dan cenderung tinggi. Nilai *Run-Up* yang tinggi yang ditandai warna hitam pekat terjadi di pesisir pantai kabupaten/kota Bolaang Mongondow Timur, Minahasa, Bitung, Siau Tagulandang Biaro, Kepulauan Sangihe dan Kepulauan Talaud.

- **Overlay Geografi Propinsi Sulawesi Tengah Dengan Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Sulawesi Tengah**

Berdasarkan kabupaten/kota, Propinsi Sulawesi Tengah terbagi menjadi 11 kabupaten/kota, yaitu:

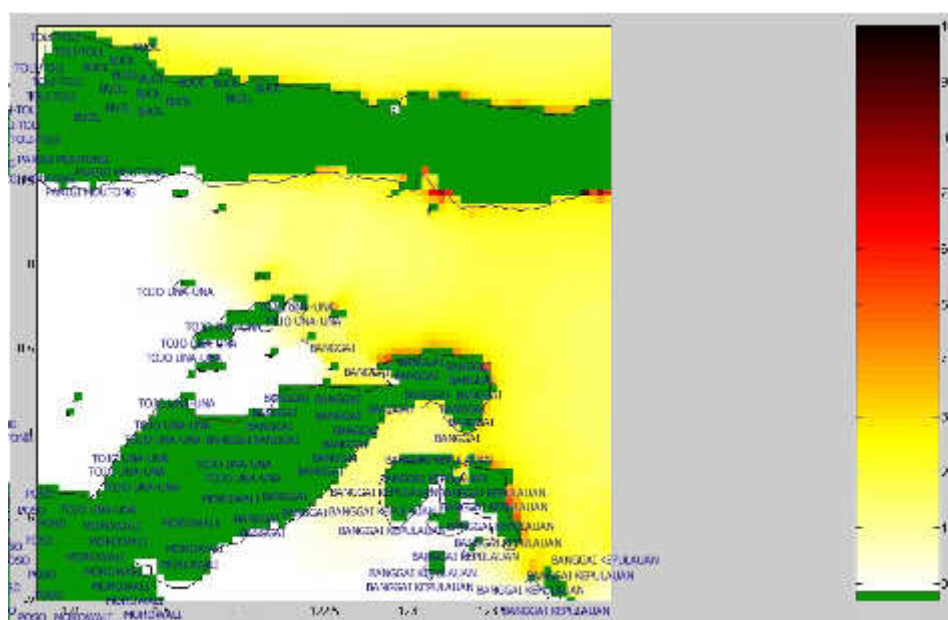
1. Banggai	2. Banggai Kepulauan	3. Donggala
4. Morowali	5. Toli-toli	6. Parigi Moutong
7. Poso	8. Palu	9. Buol
10. Sigi	11. Tojo Una-una	

Hasil pengolahan Software Quantum GIS data geografi kabupaten/kota didalam Propinsi Sulawesi Tengah ditunjukkan pada Gambar 4.13.



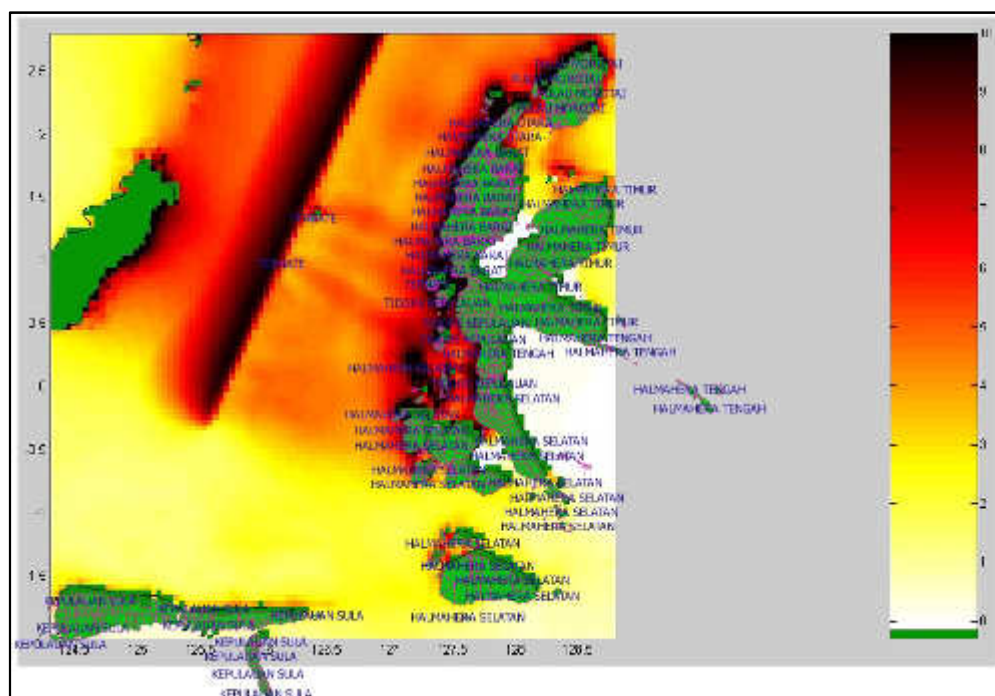
Gambar 4.13. Kabupaten/Kota Propinsi Sulawesi Tengah.

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak *Run-Up* di Propinsi Sulawesi Tengah yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.14



Gambar 4.14. Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Sulawesi Tengah

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak *Run-Up* di Propinsi Maluku Utara yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.16



Gambar 4.16. Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Maluku Utara

Dalam Gambar 4.16 dampak *Run-Up* terhadap propinsi Maluku Utara terjadi hampir disepanjang pantai yang menghadap Zona Subduksi Maluku, dampak ini pun sangat menyebar karena terpisah dengan banyak pulau besar dan kecil. Dampak ketinggian *Run-Up* pada setiap pulau tidak merata yang dimulai dari warna kuning sampai dengan hitam pekat.

Dampak *Run-Up* yang terjadi di pulau dibagian bawah yang berada di lintang Selatan yaitu di sepanjang pantai Kepulauan Sula yang menghadap Zona Subduksi Maluku ditandai dominasi warna kuning yang nilai run-up berkisar 2-4 meter.

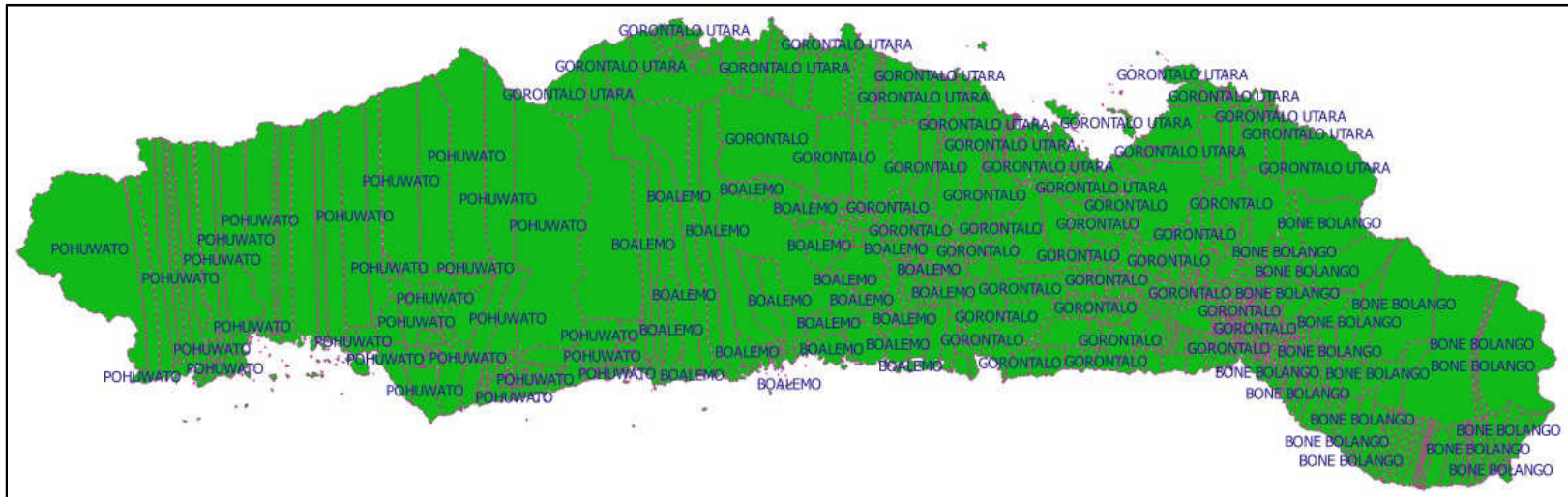
Sedangkan untuk pesisir pantai di pulau-pulau dibagian paling timur dari lintang selatan sampai dengan lintang utara, dampak *Run-Up* sangat bervariasi dengan banyak pulau kecil, semakin ke utara yang dekat dengan Zona Subduksi Maluku semakin hitam pekat, yang menunjukkan nilai run-up yang semakin tinggi diatas 10 meter.

- **Overlay Geografi Propinsi Gorontalo Dengan Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Gorontalo**

Berdasarkan kabupaten/kota, Propinsi Gorontalo terbagi menjadi 7 kabupaten/kota yaitu:

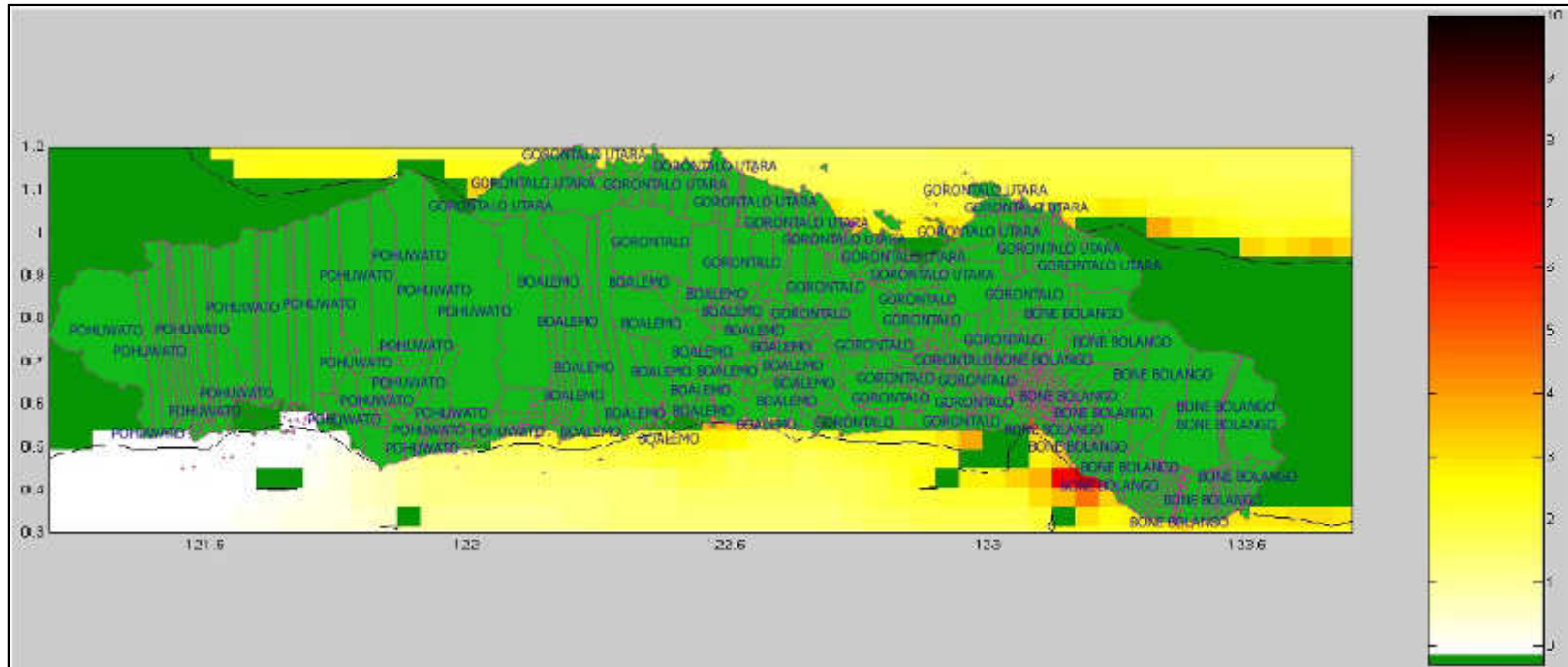
Bolaemo	Gorontalo	Tojo Una-Una	Danau Limboto
Bone Bolango	Gorontalo Utara	Pohuwato	

Hasil pengolahan Software Quantum GIS data geografi kabupaten/kota didalam Propinsi Gorontalo ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17. Kabupaten/Kota Propinsi Gorontalo.

Data kabupaten/kota ini kemudian di-overlay dengan dampak *Run-Up* di Propinsi Gorontalo yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.18



Gambar 4.18. Dampak *Run-Up* Terhadap Propinsi Gorontalo

Degradasi warna dalam Gambar 4.18 tidak terlalu tampak signifikan yang menunjukkan bahwa dampak *Run-Up* pada Propinsi Gorontalo tidak terlalu berbahaya dari ancaman tsunami. Dampak run-up dengan dominasi warna kuning yang menunjukkan nilai *Run-Up* berkisar 2 m terjadi pada kabupaten/kota yang berada dipinggir pantai kabupaten/kota Bolaemo, Bone Bolango, Gorontalo dan Gorontalo Utara. nilai run-up tertinggi berkisar 5-6 m terjadi hanya sedikit dari pesisir pantai Bone Bolango.

c. Hasil Digitasi Dampak *Run-Up* Berdasarkan Overlay Setiap Propinsi

Tahapan selanjutnya adalah melakukan digitasi agar dapat diketahui nilai *Run-Up* dipinggir pantai letak geografi terdampak tersebut menggunakan software tsunami-L.

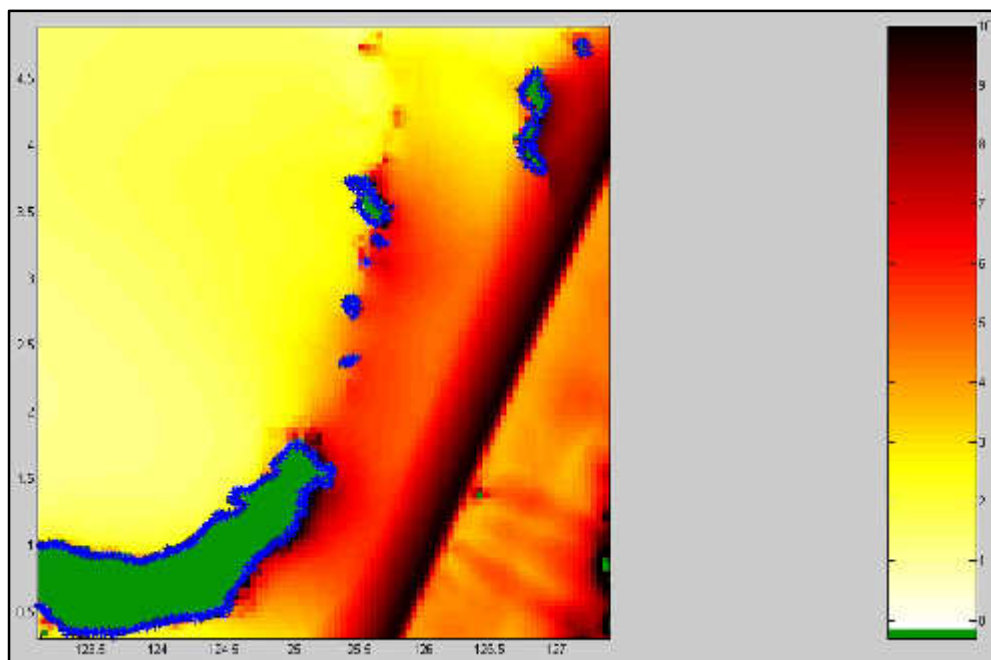
Ada 2 cara pengolahan data digitasi, yaitu poyline dan point, dalam penelitian ini pengolahan data digitasi menggunakan digitasi point, karena akan dicari secara detail nilai *Run-Up* dalam skala kecil per-point yaitu di sepanjang pantai suatu letak geografi.

Pada hasil pengolahan integrasi dampak *Run-Up* terhadap letak geografi 4 propinsi maka pembagian digitasi inipun dibagi menjadi 4 (empat) blok propinsi sebagai berikut:

- **Blok 1: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Sulawesi Utara**

Dari hasil overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi Sulawesi Utara, maka fokus digitasi berada pada koordinat: 123.1° - 127.4° BT, 0.3° - 4.9° LU.

Pengolahan data digitasi blok 1 terlihat pada Gambar 4.19 dan hasilnya ditunjukkan pada lampiran 7 (tujuh).

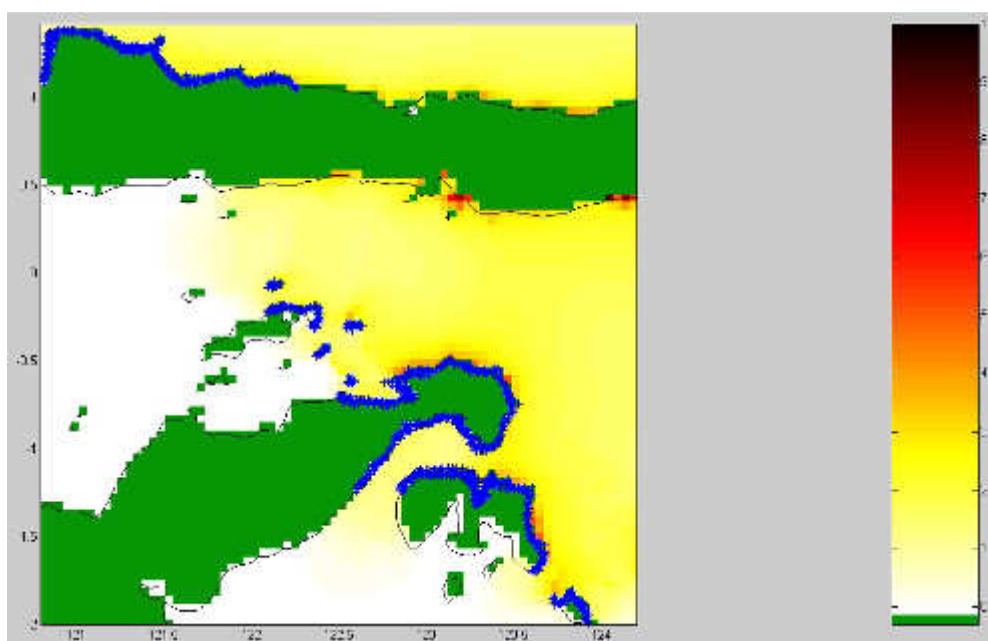


Gambar 4.19. Digitasi Points Blok 1

Dalam lampiran 7 (tujuh), pada blok 1, hasil digitasi points, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 125.68°BT ; 3.41°LU dengan nilai *Run-Up* 18.23 m yaitu berada di Kepulauan Sangihe (Desa Sampakang, Lehupu). Nilai *Run-Up* yang paling banyak terjadi berada diantara ketinggian 6-7 m.

- **Blok 2: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Sulawesi Tengah**

Dari hasil overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi Sulawesi Tengah, maka fokus digitasi berada pada koordinat: 120.8° - 124.2° BT, -2° - $1,4^{\circ}$ LU. Pengolahan data digitasi blok 2 terlihat pada Gambar 4.20 dan hasilnya ditunjukkan pada lampiran 8 (delapan).



Gambar 4.20. Digitasi Points Blok 2

Dalam lampiran 8 (delapan), dari hasil digitasi blok 2 di Propinsi Sulawesi Tengah nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 123.57°BT ; 1.44°LS dengan nilai *Run-Up* 5.02 m yang terletak di kab/kota Banggai Kepulauan, disekitar desa Abason, Tone, Sambuit, Sakay dan Bolonan. Sedangkan nilai *Run-Up* 2 m adalah yang banyak terjadi, sehingga secara umum propinsi Sulawesi Tengah cukup aman dari ancaman tsunami, dan berdasarkan catatan sejarah tsunami memang hanya pesisir pantai Kab/Kota Banggai dan Banggai Kepulauan saja yang perlu kewaspadaan dalam menghadapi ancaman tsunami.

- **Blok 3: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Maluku Utara**

Dari hasil overlay dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi Maluku Utara, maka fokus digitasi berada pada koordinat $124.3^{\circ} - 128.8^{\circ}$ BT, $-2^{\circ} - 2.8^{\circ}$ LU, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16

Fokus digitasi yang harus dilakukan pada gambar 4.16 ini terlalu kompleks terutama dibagian bujur timur dan lintang utara, dimana dampak *Run-Up* terjadi mengitari pulau-pulau kecil. Banyaknya titik yang harus didigitasi membuat Blok 3 Propinsi Maluku Utara ini harus dilakukan pembagian blok digitasi menjadi 2 blok.

Pembagian fokus digitasi ini bertujuan agar digitasi lebih detail dan dapat mendigitasi lebih rapat, sehingga dapat diketahui nilai *Run-Up* dalam jarak yang tidak terlalu jauh, karena fokus digitasi dengan batas koordinat yang besar akan membuat titik digitasi menjadi renggang sehingga ada titik koordinat yang tidak ikut terdigitasi dan membuat data nilai *Run-Up* menjadi tidak muncul. Secara penerapan di lapangan, pembagian digitasi ini dilakukan agar minimal dapat diketahui nilai *Run-Up* dalam skala kabupaten/kota.

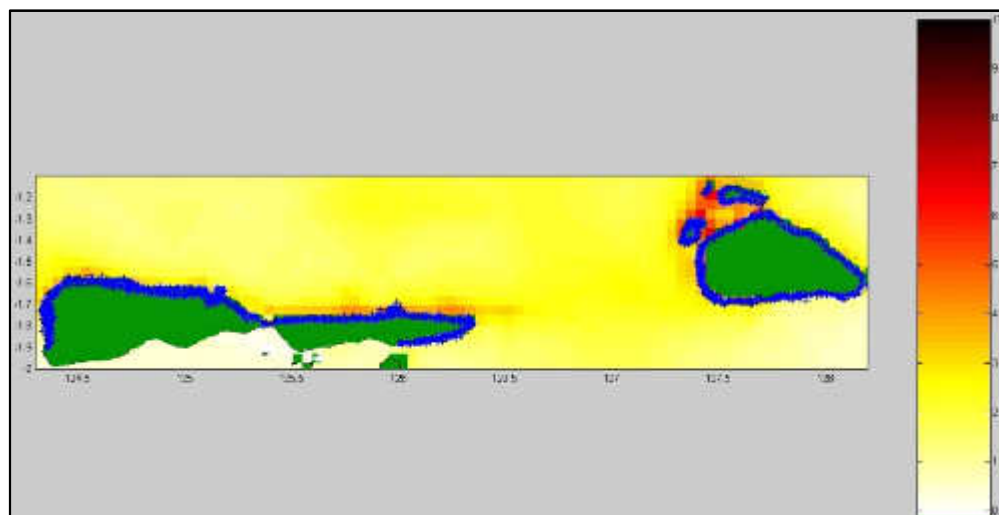
Pembagian digitasi dampak *Run-Up* di Propinsi Maluku Utara dapat dilakukan dengan melihat fokus perbedaan degradasi warna yang signifikan antara Propinsi Maluku Utara bagian bawah (lintang selatan) dan bagian atas (lintang utara), sehingga pembagian blok yang dilakukan adalah blok 3.1 dengan batas koordinat: $124.3^{\circ} - 128.2^{\circ}$ BT, $2^{\circ} - 1.1^{\circ}$ LS dan blok 3.2 dengan batas koordinat: $127^{\circ} - 128.8^{\circ}$ BT, $-1^{\circ} - 2.8^{\circ}$ LU.

Pertama. Digitasi points dampak *Run-Up* di Blok 3.1

Koordinat blok 3.1 berada pada $124.3^{\circ} - 128.2^{\circ}$ BT, $2^{\circ} - 1.1^{\circ}$ LS. Pengolahan data digitasi blok 3.1 terlihat pada Gambar 4.21 dan hasilnya ditunjukkan pada lampiran 9 (sembilan).

Dalam lampiran 9 (sembilan), dari hasil digitasi blok 3.1 nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 127.44° BT; 1.39° LS dengan nilai *Run-Up* 6.61 m yang terletak di kab/kota Halmahera Selatan disekitar desa Pasir Putih, Tapa, Cap, Galala, Waringi, Madapolo, Laiwui dan pulau kecil

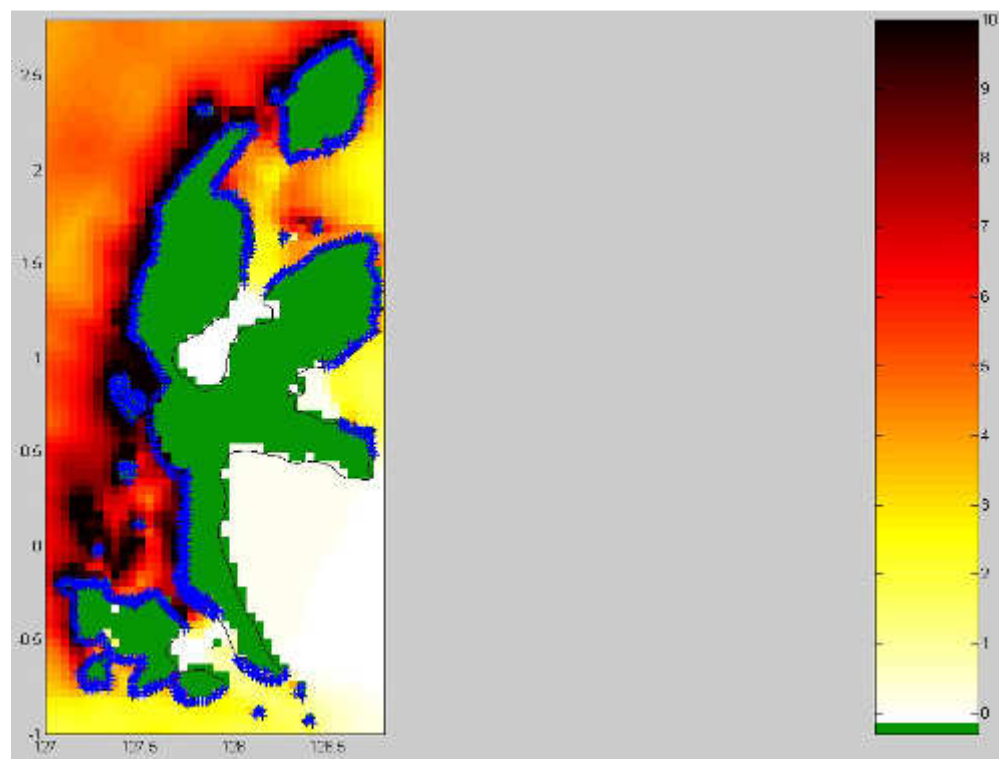
dibawahnya, sedangkan di desa lainnya dan Kepulauan Sula nilai *Run-Up* rata-rata sekitar 2 meter.



Gambar 4.21. Digitasi Points Blok 3.1

Kedua. Digitasi points dampak *Run-Up* di blok 3.2

Koordinat blok 3.2 berada pada $127^{\circ} - 128.8^{\circ}$ BT, $-1^{\circ} - 2.8^{\circ}$ LU. Pengolahan data digitasi blok 3.2 terlihat pada Gambar 4.22 dan hasilnya ditunjukkan pada lampiran 10 (sepuluh).



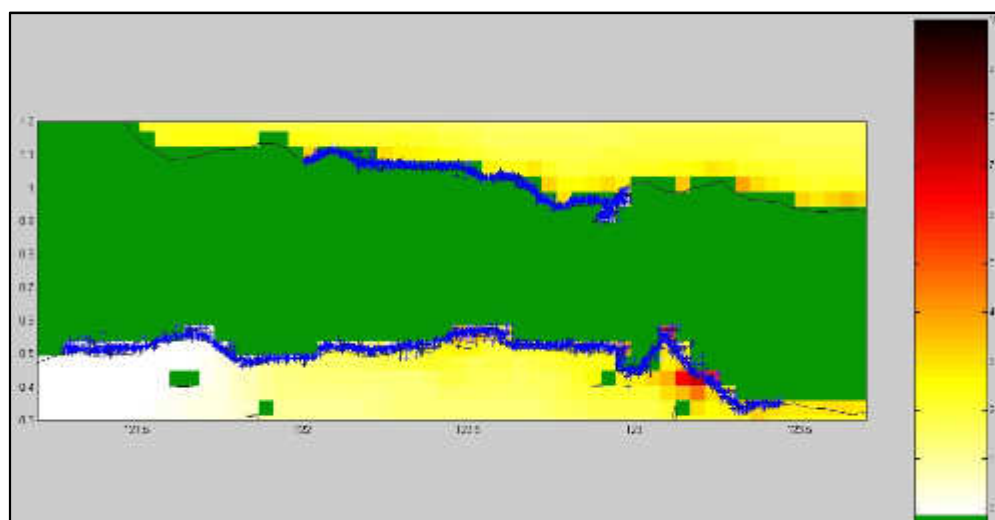
Gambar 4.22. Digitasi Points Blok 3.2

Dalam lampiran 10 (sepuluh), pada tabel hasil digitasi, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 127.57⁰BT; 0.76⁰LU dengan nilai *Run-Up* 27.64 m. Koordinat tersebut berada di pantai Kepulauan Tidore, tepatnya di Desa Galala. Nilai *Run-Up* tertinggi kedua terjadi pada koordinat 127.89⁰BT, 2.15⁰LU dengan nilai *Run-Up* 25.34 m yang berada di pantai Halmahera Utara, disepanjang pantai ini hampir semua pesisir pantai desa pada satu kecamatan tersebut terkena dampak run-up yang sama tingginya yaitu kecamatan Loloda Utara, dan kecamatan yang berdekatan juga mengalami dampak run-up yang sama yaitu kecamatan Loloda. Nilai *Run-Up* tertinggi lainnya terjadi juga pada koordinat 127.66⁰BT, 1.88⁰LU dengan nilai *Run-Up* 21.39 m. Koordinat tersebut berada di pantai Halmahera Barat.

- **Blok 4: Digitasi Dampak *Run-Up* di Propinsi Gorontalo**

Dari hasil integrasi dampak *Run-Up* terhadap letak geografi Propinsi Gorontalo, maka fokus digitasi berada pada koordinat: 121.2⁰ - 123.7⁰ BT, 0.3⁰ - 1.2⁰ LU.

Pengolahan data digitasi blok 4 terlihat pada Gambar 4.23 dan hasilnya ditunjukkan pada lampiran 11 (sebelas).



Gambar 4.23. Digitasi Points Blok 4

Dalam lampiran 11 (sebelas), pada blok 2 lokasi terdampak *Run-Up* di Propinsi Gorontalo, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 123.21⁰BT; 0.40⁰LU dengan nilai *Run-Up* 5.73 m yang terjadi di Desa Bilungala Kab/Kota Bonebolango. Sedangkan nilai *Run-Up* rata-rata, berada pada

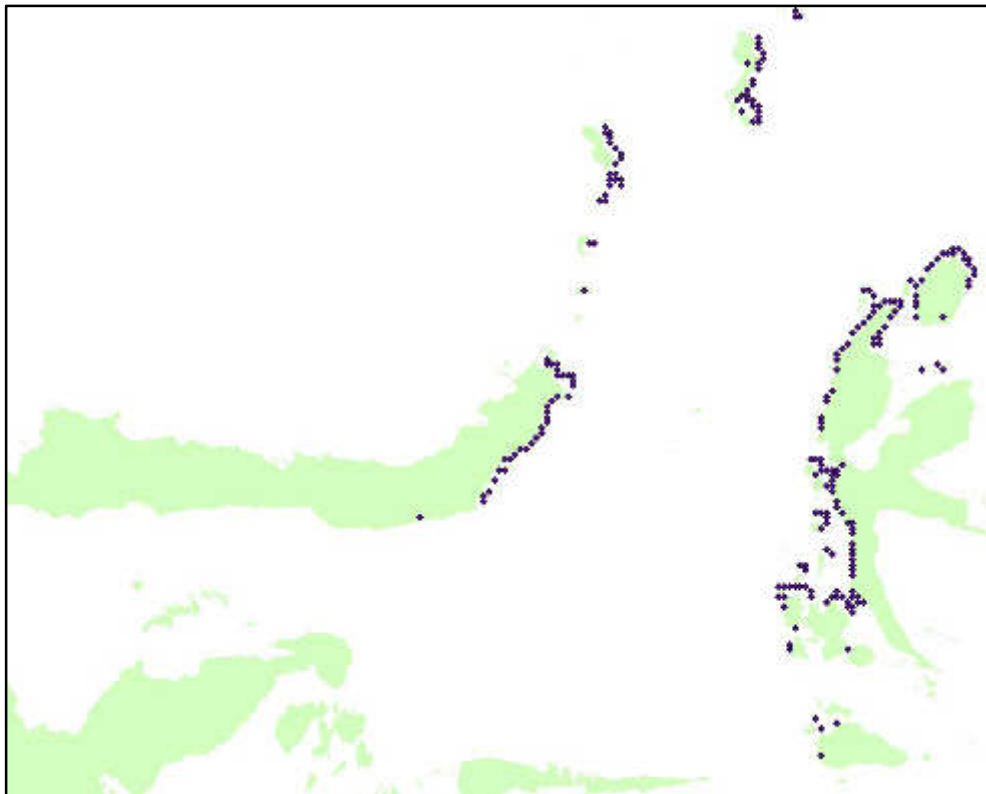
ketinggian 2 m. Secara umum propinsi ini tidak terlalu berbahaya dari ancaman tsunami.

4.2.4.2. Hasil Penentuan Tempat Evakuasi Vertikal(Shelter)

a. Hasil Data Kriteria Pertama.

Pengolahan data pertama ini menggunakan data hasil pengolahan digitasi sebelumnya. Langkah-langkah pengolahan data ini adalah sebagai berikut:

- Dengan menggunakan Ms Excel, gabungkan data digitasi setiap propinsi, kemudian sortir menjadi 3 klasifikasi yaitu: 0-2 m (rendah), 2-6 m (sedang), dan > 6m tinggi;
- Buka data koordinat lengkap hasil digitasi dengan nilai run-up > 6 m. Pada software ArcGIS, klik **File**, klik **Add Data**, klik **Add XY Data**, masukkan data koordinat run-up > 6 m, dengan X adalah nilai Longitude, Y adalah nilai Latitude dan Z adalah nilai Run-Up. Outputnya beri nama **RunUp_Tinggi**. Hasil pengolahan ini ditunjukkan pada Gambar 4.24.

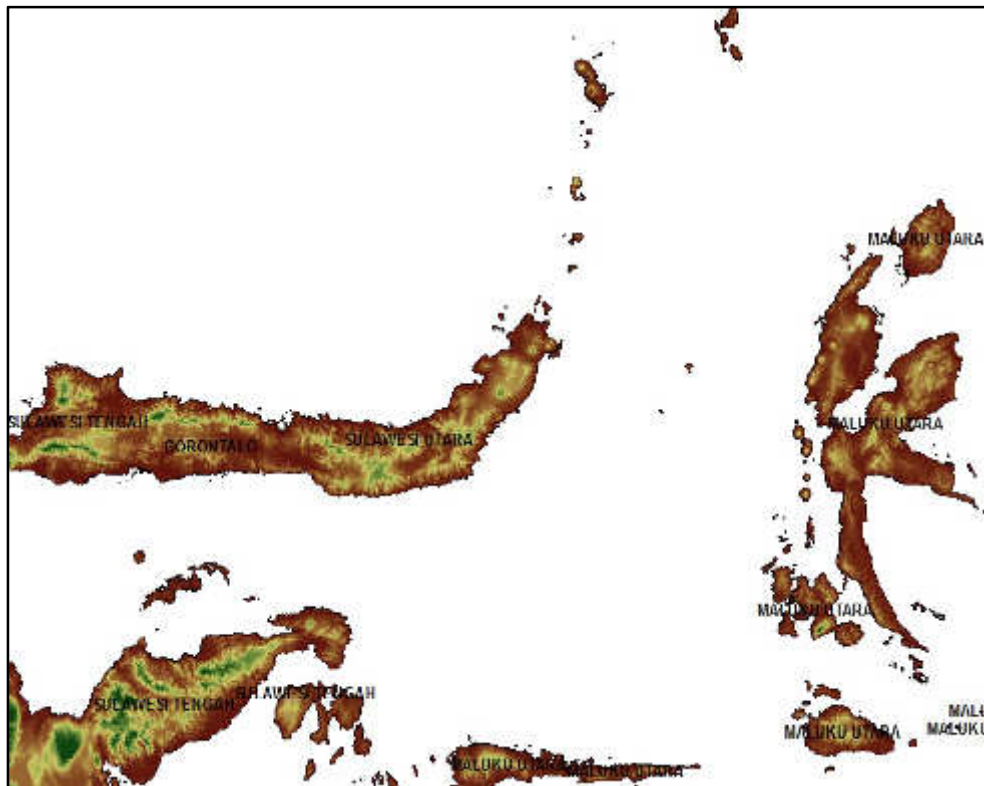


Gambar 4.24. Nilai Run-Up Klasifikasi Tinggi

Kedua. Pengolahan data DEM

Proses Pengolahan data DEM adalah sebagai berikut:

- Input data DEM area penelitian, data yang sudah di clip sesuai batas koordinat fokus area terdampak (dalam format Tiff) dengan **Add Data** (Gambar 4.26), search **Conversion**, pilih **Raster to Point** yaitu merubah format raster menjadi format vektor (point), dan beri nama outputnya **PointDEM**.



Gambar 4.26. Data DEM Fokus Area Terdampak Tsunami

Ketiga. Pengolahan data Identity Analysis PointDEM

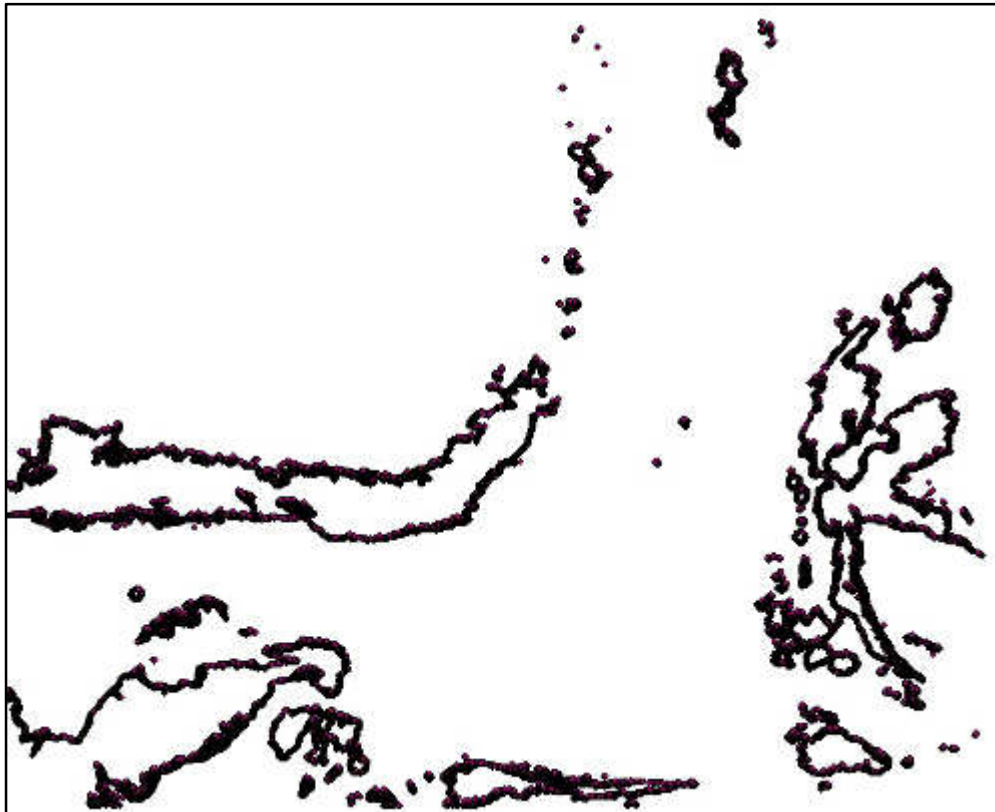
- Searching Identity pilih Identity Analysis, pilih PointDEM untuk Input Features dan Export_Output_Data_Batas_Admin untuk Identity Features dan beri nama outputnya **PointDEMIdentity**

Keempat. Pengolahan Data untuk klasifikasi Rawan Tsunami.

Data PointDEMIdentity ini kemudian akan digunakan untuk membuat klasifikasi rawan tsunami rendah, sedang dan tinggi yang akan dibuatkan suatu formula berdasarkan tinggi maksimum run-up. Berdasarkan hasil tabel simulasi tsunami diperoleh nilai run-up pada

setiap titik sepanjang pantai. Nilai ini kemudian di sortir dan diperoleh nilai maksimum run-up 27.4904. Nilai run-up maksimum ini dimasukkan kedalam Data PointDEMIdentity dan dibagi menjadi 3 daerah DEM. Jika nilai run-up maksimum 27 m maka nilai DEM yang diatas 27, sudah tidak perlu lagi dihitung karena sudah pasti aman dari run-up tsunami, sehingga dibuatkan suatu formula untuk seluruh nilai DEM yang dibawah dan sama dengan 27 m yang dibagi 3 daerah rawan yaitu rendah sedang dan tinggi. Proses pengolahan data DEM kurang dari 27 m adalah sebagai berikut:

- Klik kanan **Open atribut table** kemudian pilih **Select by Atribut** kemudian ketik rumus dengan menuliskan seluruh daerah batas administrasi yang masing-masing daerah admistrasi diakhiri `grid_code <=27`. Setelah selesai input semua lakukan klik kanan, pilih **Data**, kemudian **Export Data** dan hasilnya beri nama **GC27Rn**, yang dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27. Data Dem Dibawah 27 m

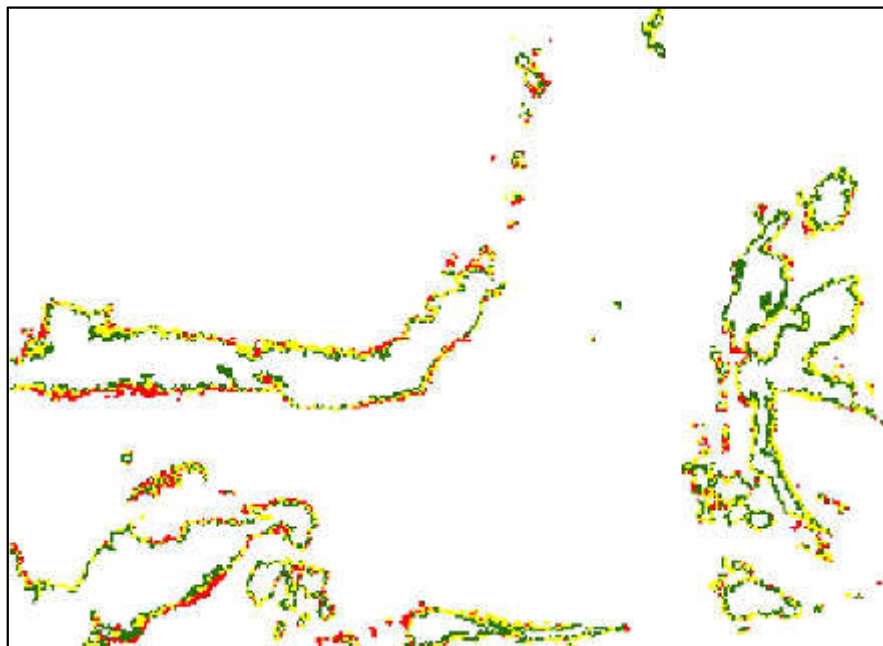
Kelima. Pengolahan Data Kelas Inundasi.

Setelah mendapatkan data DEM dibawah 27 m, kemudian dilakukan klasifikasi kelas inundasi, pengolahan datanya adalah sebagai berikut:

- Klik **Open Atribut Table**, klik **Add Field** beri nama **kelas_inun**, kemudian klik **Select By Atribut**, klik **grid code**, lalu masukkan:
 - “**grid code**” < “**9**”, klik kanan di kelas inun, pilih **field calculator** isi kelas inun dengan **3** (rawan tinggi warna merah);
 - “**grid code**” ≥ “**9**” **AND** “**grid code**” ≤ “**18**”, klik kanan di kelas inun, pilih **field calculator** isi kelas inun dengan **2** (rawan sedang warna kuning);
 - “**grid code**” > “**18**”, klik kanan di kelas inun, pilih **field calculator** isi kelas inun dengan **1** (rawan rendah warna hijau).

Hasil point klasifikasi kelas inundasi dalam bentuk point diubah kedalam bentuk raster, dengan pengolahan data sebagai berikut:

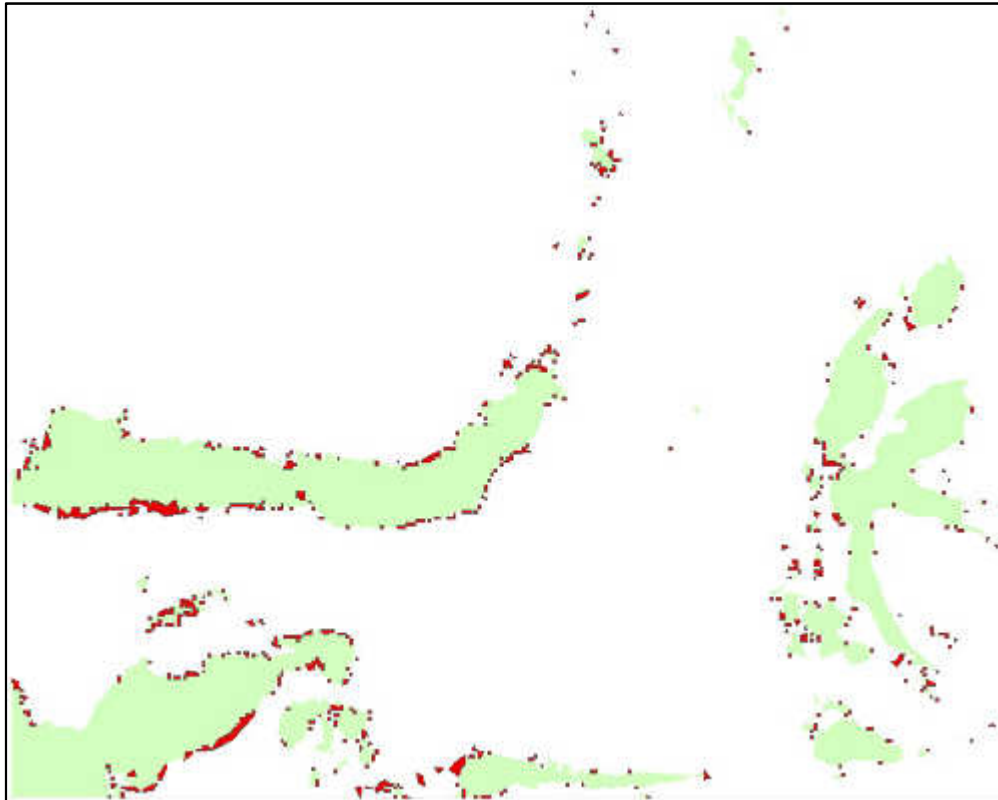
- Search **Point to Raster**, masukkan data **GC27Rn** yang sudah diklasifikasi kelas inundasinya dalam bentuk point, **kelas_inun** sebagai **value field** yaitu nilai yang ingin ditunjukkan dan beri nama **output** dengan **GC27RnRaster1.tif**. hasil pengolahan ini ditunjukkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28. Klasifikasi Kelas Inundasi

Keenam. Pengolahan data klasifikasi DEM rawan tsunami tinggi.

- Search **raster to polygon**, pilih **GC27RnRaster1.tif** sebagai input raster, pilih **kelas_inun** sebagai fieldnya dan bernama output **GC27RnPolygon**
- Klik kanan, pilih **Symbology**, pilih Value Field **kelas_inun**, pilih **Add All Value**
- Klik kanan, **Open Atribut Table**, klik **Select By Atribut**, pilih **kelas_inun**. Cari **Get Uniq Value** pilih **3**
- Klik kanan, **data**, klik **export data**, dan beri nama **Tsunami_RawanTinggi** yang ditandai warna merah. Hasil pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 4.29.

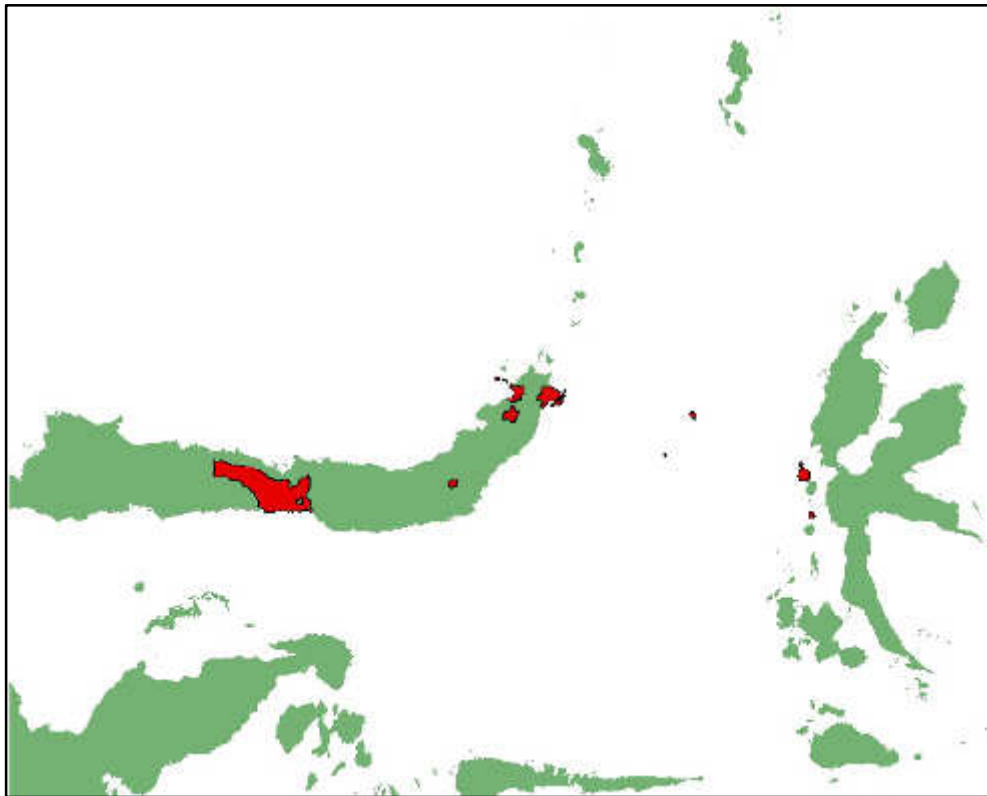


Gambar 4.29. DEM Klasifikasi Rawan Tsunami Tinggi

c. Hasil data kriteria ketiga.

- **Add Data jalan_penelitian**, klik **Open Atribut Table**, klik **Select By Atribut**, kemudian masukkan **fclass = primary OR fclass = secondary**, beri nama **jln_primer_sekunder**, setelah itu klik

- “**kpdttkabkot**” = “**500-1000**”, klik kanan di **klaskpdt**, pilih **field calculator** isi **klaskpdt** dengan **2** (rawan sedang warna kuning)
- “**kpdttkabkot**” = “**>1000**”, klik kanan di **klaskpdt**, pilih **field calculator** isi **klaskpdt** dengan **1** (rawan tinggi warna merah).
- Klik kanan, pilih **Data** kemudian **Export Data**, simpan output nya dengan nama **klskpdt** dalam suatu folder untuk ditambahkan dalam peta layer kemudian zoom untuk memperjelas.
- Klik kanan, **Open Atribut Table**, klik **Select By Atribut**, pilih **kelas_inun**. Cari **Get Uniq Value** pilih **3**
- Klik kanan, **data**, klik **export data**, dan beri nama **kpdt23** yang ditandai warna merah. Hasil pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31. Data Jumlah Penduduk/Kabupaten > 500 jiwa/km² (merah).

e. Hasil Intersection 4 (empat) Kriteria Penentuan Shelter

Pada pengolahan terakhir ini dilakukan intersection untuk mengetahui perpotongan antara 4 kriteria yang telah dilakukan. Proses pengolahannya adalah sebagai berikut:

- Klik **Geoprocessing**, pilih **Intersect** masukkan input kriteria kedua DEM **Tsunami_RawanTinggi** dan kriteria keempat jumlah penduduk **.500 jiwa.km2 kpdt23**.
- Tampilkan kriteria pertama run-up klasifikasi tinggi **RunUp_Tinggi** dan kriteria ketiga buffer jalan primer, sekunder, tersier 500 m **jln_primer_sekunder_buffer500**.

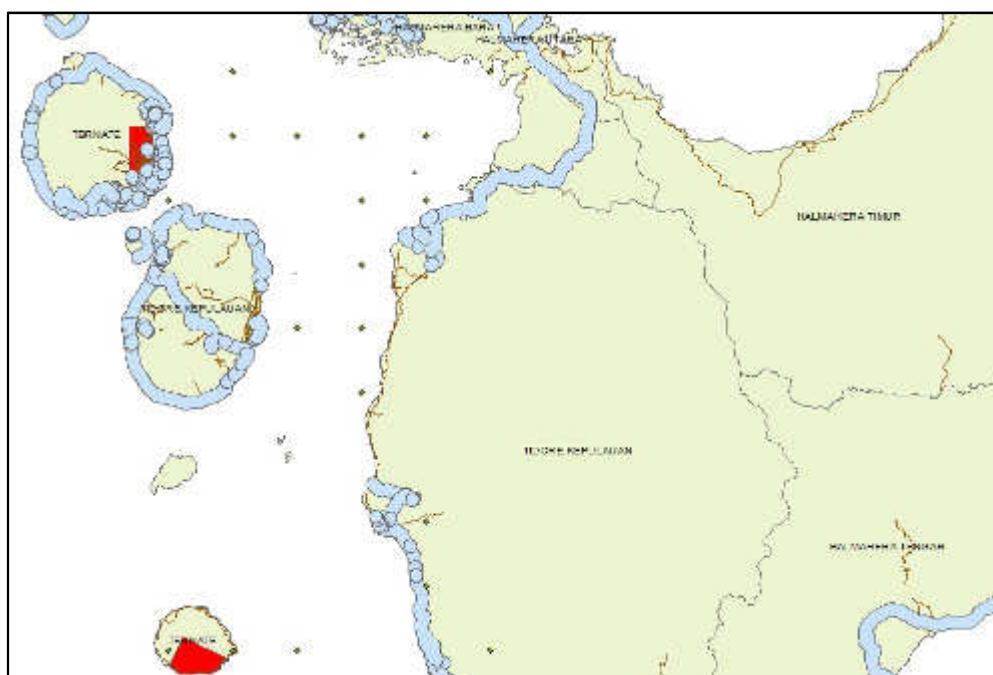
Hasil pengolahan dengan melakukan zooming ada 4 objek hasil intersection yang menunjukkan lokasi shelter yaitu 2 buah di Propinsi Sulawesi Utara yang ditunjukkan pada Gambar 4.32 dan 2 buah lagi di Propinsi Maluku Utara yang ditunjukkan pada Gambar 4.33.



Gambar 4.32. Intersection Kriteria Lokasi Shelter Propinsi Sulawesi Utara

Pada Gambar 4.32, lokasi penentuan shelter ditunjukkan warna merah. Dari hasil intersection tersebut di Propinsi Sulawesi Utara ada 2 lokasi shelter yang dapat dijadikan tempat evakuasi ketika tsunami datang dengan cepat. kedua lokasi tersebut berada di Kabupaten/Kota Bitung. Dari 2 lokasi tersebut ada 1 lokasi penentuan shelter yang mempunyai

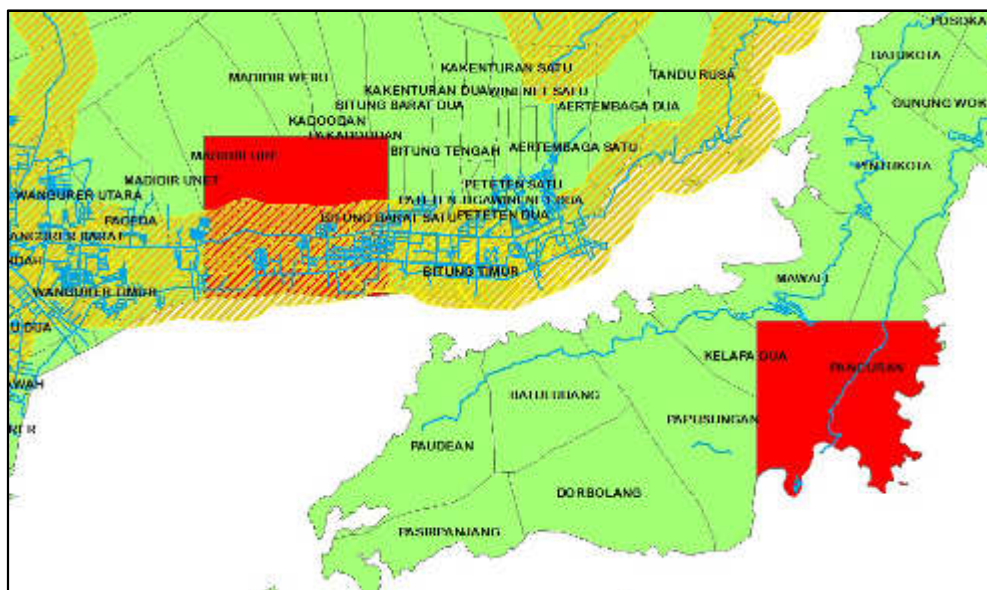
jalan primer, sekunder dan tersier yang di tandai buffer warna biru muda. Lokasi penentuan shelter ini dapat terjangkau oleh penduduk yang berada pada area terdampak, karena sudah memperhitungkan posisinya berada di pusat area terdampak dengan radius 500 meter dari jalan primer, sekunder atau tersier, sehingga penduduk yang berada di lokasi ancaman tsunami ini dapat melakukan evakuasi di lokasi tanda warna merah tersebut jika shelter ada disana. Sedangkan 1 lagi lokasi shelter tidak mempunyai jalan primer, sekunder atau tersier, tetapi mempunyai jalan jenis lain untuk dilalui yang ditandai garis berwarna coklat.



Gambar 4.33. Intersection Kriteria Lokasi Shelter Propinsi Maluku Utara

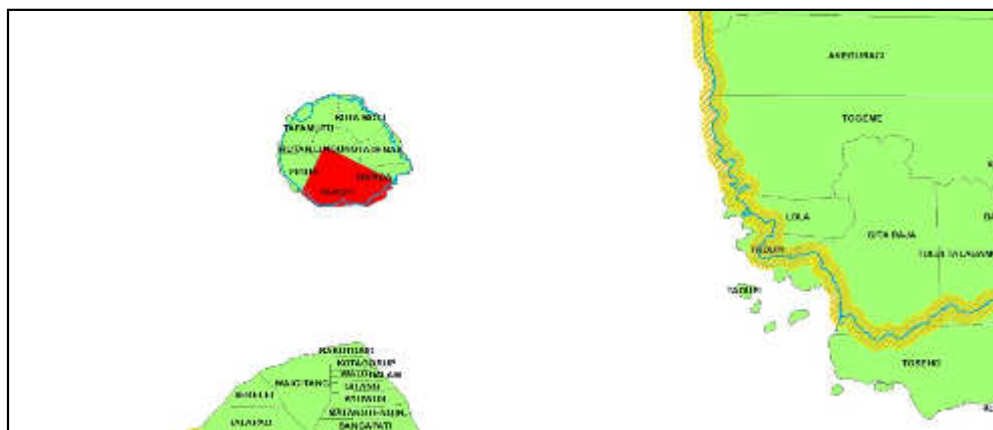
Pada Gambar 4.33 memperlihatkan shelter hasil intersection yang ditandai warna merah di Propinsi Maluku Utara. Pada hasil intersection tersebut, menunjukkan adanya 2 lokasi shelter yang dapat dijadikan tempat evakuasi, keduanya berada di kabupaten/kota Ternate. Dari 2 lokasi tersebut ada 1 lokasi penentuan shelter yang mempunyai jalan primer/sekunder/tersier yang di tandai buffer warna biru muda. Sedangkan 1 lokasi shelter lagi tidak mempunyai jalan primer/sekunder/tersier, tetapi mempunyai jalan jenis lain untuk dilalui yang ditandai garis berwarna coklat.

Untuk melihat keberadaan shelter tersebut dari letak geografi desa, maka fokus peta administrasi diperbesar dengan menggunakan atribut nama desa. Dari hasil fokus terhadap lokasi geografi desa yang harus di-zoom maka pengolahan data harus dibagi menjadi 3 (tiga) hasil pengolahan data, yaitu di Propinsi Sulawesi Utara dapat dijadikan 1 hasil pengolahan data karena jaraknya berdekatan yang ditunjukkan pada Gambar 4.34 dan untuk pengolahan data di Propinsi Maluku Utara harus dibagi menjadi 2 hasil pengolahan data, agar dapat menunjukkan dengan jelas posisi dan nama desanya tempat penentuan shelter itu berada yang ditunjukkan Gambar 4.35 dan Gambar 4.36.



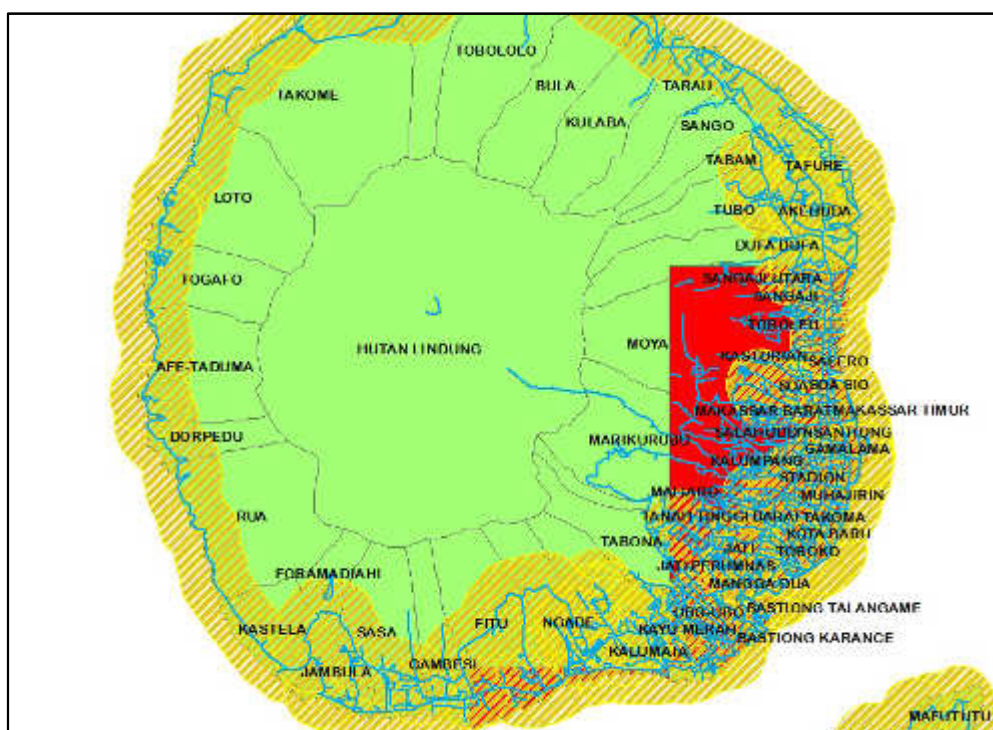
Gambar 4.34. Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Bitung Propinsi Sulawesi Utara

Pada gambar 4.34, dari hasil pengolahan data menggunakan nama atribut desa, maka lokasi shelter berwarna merah yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier yang ditandai arsir kuning berada di Desa Bitung Barat, dan 1 lokasi shelter lagi yang punya jenis jalan lain selain jalan primer/sekunder/tersier yang ditandai warna biru tanpa arsiran kuning berada di Desa Pancuran.



Gambar 4.35. Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Ternate Bagian Bawah Propinsi Maluku Utara

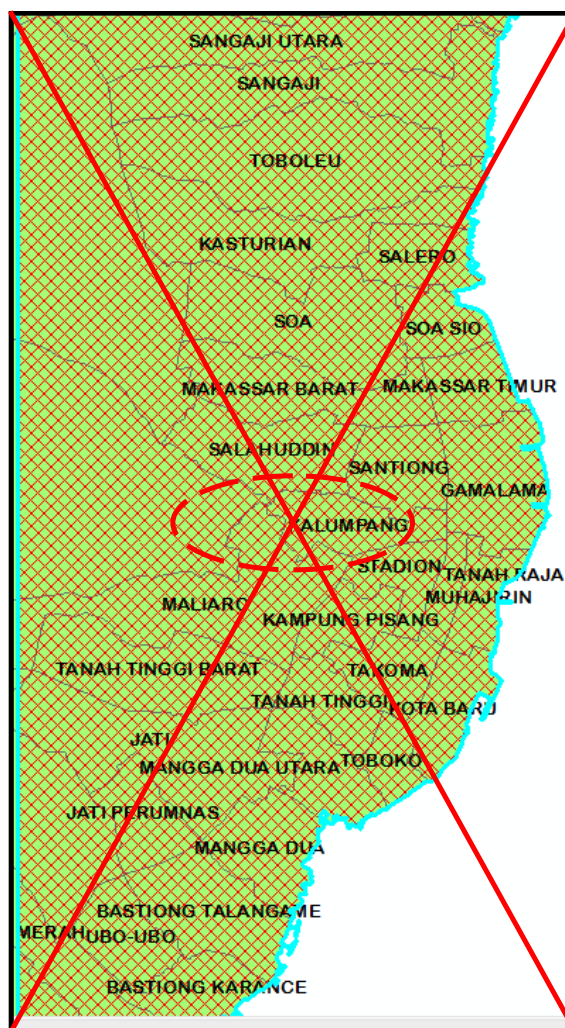
Pada gambar 4.35, dari hasil pengolahan data menggunakan nama atribut desa, menunjukkan lokasi shelter berwarna merah yang mempunyai akses selain jalan primer/sekunder/tersier warna biru berada di Desa Takofi.



Gambar 4.36. Lokasi Shelter Menggunakan Nama Desa Di Kabupaten/Kota Ternate Bagian Atas Propinsi Maluku Utara

Pada gambar 4.36, dari pengolahan data menggunakan nama atribut desa, untuk penentuan lokasi shelter berwarna merah yang

mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier arsir kuning memerlukan analisis simetris, hal ini terjadi karena dampak dari tsunami melanda banyak nama desa. Hasil analisis simetris ini ditunjukkan pada gambar 4.37.



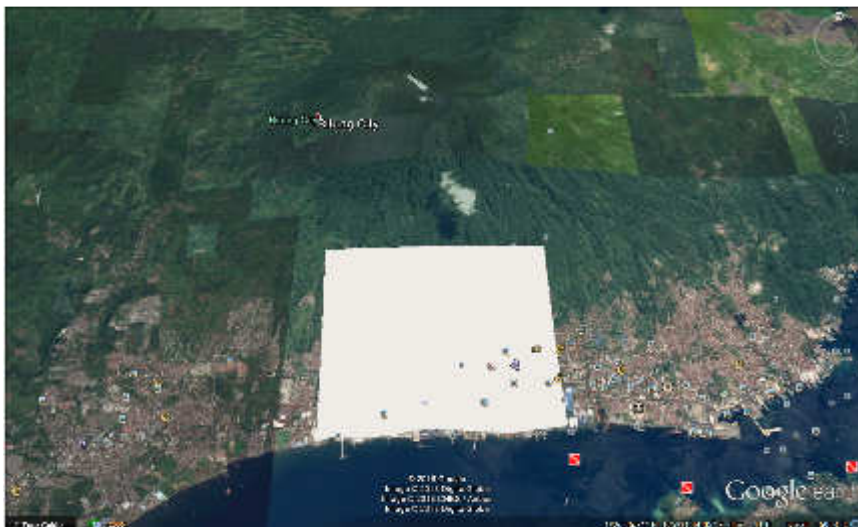
Gambar 4.37. Analisis Simetris Lokasi Shelter Bagian Atas Propinsi Maluku Utara

Berdasarkan analisis simetris pada gambar 4.37 menunjukkan lokasi shelter berada di Desa Kalumpang.

4.3. Uji Validitas Lokasi Shelter

Dalam uji validitas ini, digunakan aplikasi Google Earth Pro, yang sudah terkoneksi dengan jaringan satelit, yang dapat menentukan dengan akurat letak suatu lokasi yang ingin kita ketahui. Proses yang dilakukan

adalah membuka aplikasi Google Earth Pro, kemudian input data koordinat lokasi shelter dalam format shp yang ada dalam software ArcGIS untuk diubah kedalam format kst, suatu format yang ada dalam aplikasi Google Earth Pro. Hasil uji ini kemudian di zoom yang ditunjukkan pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39.



Gambar 4.38. Uji Lokasi Shelter di Propinsi Sulawesi Utara
Warna putih menunjukkan lokasi shelter di Propinsi Sulawesi Utara.



Gambar 4.39. Uji Lokasi Shelter di Propinsi Maluku Utara
Warna putih menunjukkan lokasi shelter di Propinsi Maluku Utara.

Pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39, lokasi warna putih menunjukkan lokasi shelter hasil intersection yang berada di Propinsi Maluku Utara yang di overlay kedalam aplikasi Google Earth Pro.

Pada hasil uji tersebut terlihat bahwa setiap lokasi shelter hasil pengolahan data intersection, menunjukkan validitas data bahwa lokasi tersebut adalah area lahan terbuka yang sudah banyak pemukiman penduduk dengan akses jalan pimer, sekunder atau tersier yang sudah ada.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan pada bab 4, maka kesimpulan dari setiap rumusan permasalahan yang terdapat pada bab I adalah sebagai berikut:

5.1.1. Koordinat area yang mempunyai potensi terdampak tsunami

Koordinat lokasi yang mempunyai potensi terdampak tsunami akibat gempa bumi besar pembangkit tsunami pada Zona Subduksi Maluku berada pada koordinat **7⁰LU-7⁰LS dan 119⁰BT-133⁰BT**;

5.1.2. Kejadian gempa bumi yang akan dijadikan input pemodelan gelombang tsunami

Kejadian gempa bumi yang akan dijadikan input pemodelan gelombang tsunami yaitu event gempa bumi yang terjadi pada **15 November 2014**, pukul **02:31:43.8 UTC** dengan **Magnitude=7.0**, koordinat **1.98⁰ LU dan 126.48⁰BT**, kedalaman **53 km**, **Strike= 204** dan **Dip= 50**;

5.1.3. Area terdampak Run-up Tsunami

Area terdampak Run-up Tsunami berdasarkan waktu penjararan, nilai *run-up* dan nilai inundasi tsunami, terdapat dalam lampiran 9. Dari tabel data lampiran 9 tersebut, nilai run-up tertinggi adalah 27.49 m, dengan jarak inundasi maksimum 21.881 m yang terjadi pada koordinat 127.5721 BT; 0.76359 LU pada menit 44.

5.1.4. Lokasi Geografi Terdampak Tsunami dan Penentuan Shelter

5.1.4.1. Lokasi Geografi Terdampak tsunami

Lokasi terdampak tsunami berdasarkan fokus area terdampak tsunami berada pada koordinat **120.5⁰BT - 129⁰BT ; 2⁰LS - 5⁰LU**, koordinat tersebut melingkupi 4 propinsi terdampak yaitu: Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Tengah dan Maluku Utara.

Berdasarkan Hasil Overlay Dampak Run-Up dan Hasil Digitasinya diperoleh kesesuaian data run-up tertinggi sebagai berikut:

- a. Nilai run-up tertinggi untuk pesisir pantai di Propinsi Sulawesi Utara terjadi pada koordinat 125.68°BT , 3.41°LU dengan nilai *Run-Up* 18.23 m yang terjadi di Kepulauan Sangihe
- b. Nilai run-up tertinggi untuk pesisir pantai di Propinsi Sulawesi Tengah terjadi pada koordinat 123.57°BT , -1.44°LU dengan nilai *Run-Up* 5.02 m yang terletak di kab/kota Banggai dan Banggai Kepulauan.
- c. Nilai run-up tertinggi untuk pesisir pantai di Propinsi Maluku Utara dibagi menjadi 2 blok digitasi.
 Hasil digitasi blok 4.1, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 127.44°BT ; 1.39°LS dengan nilai *Run-Up* 6.61 m yang terletak di kab/kota Halmahera Selatan.
 Hasil digitasi blok 4.2, nilai *Run-Up* tertinggi terjadi pada koordinat 127.57°BT , 0.76°LU dengan nilai *Run-Up* 27.64 m. Koordinat tersebut berada di pantai Kepulauan Tidore.
- d. Nilai run-up tertinggi untuk pesisir pantai di Propinsi Gorontalo terjadi pada koordinat 123.2^{10}BT , 0.4^{00}LU dengan nilai *Run-Up* 5.73 m yang terjadi di Desa Bilungala Kab/Kota Bonebolango.
- e. Nilai gabungan digitasi setiap propinsi terdampak tsunami akan diklasifikasi dan klasifikasi tertinggi akan menjadi salah satu input kriteria yaitu nilai run-up klasifikasi tinggi.

5.1.4.2. Penentuan Shelter

Tempat evakuasi vertikal (shelter) yang harus ditentukan berdasarkan hasil intersection 4 kriteria tersebut, diperoleh kesimpulan terakhir sebagai berikut:

- Dengan melakukan zooming ada 4 objek hasil intersection yang menunjukkan lokasi shelter yaitu 2 buah di Propinsi Sulawesi Utara dan 2 buah lagi di Propinsi Maluku Utara;
- Untuk di Propinsi Sulawesi Utara, kedua lokasi shelter tersebut berada di Kabupaten/Kota Bitung. Dari hasil pengolahan data menggunakan nama atribut desa, maka lokasi shelter yang punya jenis jalan lain selain jalan primer/sekunder/tersier berada di Desa

Pancuran, sedangkan yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier berada di Desa Bitung Barat

- Untuk di Propinsi Maluku Utara, kedua lokasi shelter tersebut berada di Kabupaten/Kota Ternate. Dari hasil pengolahan data menggunakan nama atribut desa untuk lokasi shelter yang tidak mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier berada di Desa Takofi, sedangkan lokasi shelter yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier, berdasarkan analisis simetris berada di Desa Kalumpang.
- Pada hasil uji validasi menggunakan overlay lokasi shelter kedalam aplikasi Google Earth Pro menunjukkan validitas data bahwa lokasi tersebut adalah area lahan terbuka yang sudah banyak pemukiman penduduk dengan akses jalan primer, sekunder atau tersier yang sudah ada.

5.2 Saran

- Di Propinsi Maluku Utara, lokasi shelter yang mempunyai akses jalan primer/sekunder/tersier, untuk efektivitas evakuasi, dikarenakan penyebaran penduduk di banyak desa terdampak, maka rekomendasi penentuan shelter jika memungkinkan dibangun di desa Salero, Kalumpang dan Mangga Dua. Tetapi untuk tujuan efisiensi, maka 1 shelter Desa Kalumpang harus ada dan dipertahankan.
- Dengan jumlah peneliti kebencanaan yang masih sangat minim dibanding dengan sumber bencana yang sangat banyak di Indonesia, maka dengan penelitian ini, lokasi yang berpotensi terdampak bencana menjadi sangat penting disampaikan kepada para peneliti dan pengajar (guru) untuk mempelajari sumber data kebencanaan dan mengolahnya menjadi informasi pengurangan risiko bencana melalui sistem informasi geografis, karena sistem informasi geografi ini merupakan sebuah ilmu yang akan menjadi ketangguhan informasi untuk mendukung pengurangan risiko bencana sebagai bagian dari pertahanan yang bersifat non militer.

DAFTAR REFERENSI

BUKU

- Ahmad M. (2000). Tektonik Lempeng. Program Studi Geofisika Institut Teknologi Bandung.
- Badan Pusat Statistik Gorontalo.(2017). Provinsi Gorontalo Dalam Angka. Katalog:1102001.75
- Badan Pusat Statistik Maluku Utara.(2017). Provinsi Maluku Utara Dalam Angka. Katalog:1102001.82
- Badan Pusat Statistik Sulawesi Tengah.(2017). Provinsi Sulawesi Tengah Dalam Angka. Katalog:1102001.72
- Badan Pusat Statistik Sulawesi Utara.(2017). Provinsi Sulawesi Utara Dalam Angka. Katalog:1102001.71
- Desonie, D. (2012). Seafloor Spreading Hypothesis. CK-12 Foundation.
- Diposaptono, S., Budiman. (2006). Tsunami Edisi II. Bogor. Buku Ilmiah Populer.
- Humanitarian Open Street Map Team. (2010). Menganalisis Data dengan Quantum GIS dan InaSafe Tingkat Dasar Unit 2 Modul 10, Analisis Vektor untuk Pemecahan Masalah.
- Husein Umar, 2003, Metodologi Penelitian Untuk Skripsi dan Tesis, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka.
- Kedepujian Bidang Geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika(2015). Katalog Tsunami Indonesia tahun 416-2014. ISSN 2477-1805
- Kuntjojo. 2009. Metodologi Penelitian. Kediri Jawa Timur
- Latief Hamzah. (2002). Penyusunan Konsep Basis Data Sumber Tsunami dan Sistem Informasi Geografis Tsunami. Pusat Riset Tsunami. KPPKL-ITB.
- Merritt, J.I. (1966). Hess's Geological Revolution. How an "Essay in Geopoetry Describing Evidence for Sea-Floor Spreading" led to the new science of Plate Tectonics. Princeton's Geology Department.

- 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
- Puspito, N.T. (2000), Tsunami di Indonesia Program Studi Geofisika Institut Teknologi Bandung,
- Sekretariat Jenderal Dewan Ketahanan Nasional. (2010). Keamanan Nasional, Sebuah Konsep dan Sistem Keamanan bagi Bangsa Indonesia
- Singarimbun, Masri dan Sofyan Effendi, 1987. *Metode Penelitian Survey*. Jakarta: PT. Pustaka LP3ES. Indonesia.
- Sugito Trianawati, N. (2008), Tsunami, Jurusan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&B*. Bandung: Alfabeta
- The Sphere Project. 2011. *Humanitarian Charter and Minimum Standars in Humanitarian Response*.
- UNESCO-IOC. (2006). *Karakteristik Perubahan Ketinggian Gelombang Tsunami*
- V. Wiratna Sujarweni. (2014). *Metodologi Penelitian*. Pustaka Baru Press. Yogyakarta.
- Widiyantoro S. (2007). *Fisika dan Struktur Interior Bumi*, ISBN : 978-979-1241-06-9. Penerbit: Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta

JURNAL, ARTIKEL DAN MAKALAH

- Aditya Riadi Gusman, Yuichiro Tanioka, Shinichi Sakai, Hiroaki Tsushima. (2012). Source Model of The Great 2011 Tohoku Earthquake Estimated from Tsunami Waveforms and Crustal Deformation Data. *Earth and Planetary Science Letters* 341-344 (2012) 234-242.
- Andriyani, G., Kahar, S., Awaluddin, M., Meilano, I. (2015) *Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu Tahun 2009-2011*

- Hanks, Thomas C., Kanamori, H. 1979. "Moment magnitude scale". *Journal of Geophysical Research*, 84 (B5): 2348–2350. Retrieved 2007-10-06.
- Hills, J. G. & Mader, C, L. 1997. Tsunami produced by the impacts of the small asteroids. *Annals of the New York Accademy of Sciences*, 822, 381-394.
- Lumintang, V.G., Pasau, G., Tongkukut, H.J.. (2015). Analisis Tingkat Seismisitas Dan Tingkat Kerapuhan Batuan Di Maluku Utara, *Jurnal Ilmiah Sains* Vol. 15 No. 2, Oktober 2015, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Nakamura, M. 2009. Tsunami Numerical Simulation. *Journal of Ryukyu University*, Vol. 17, No. 1, 18-22.
- 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.
- PusLit Geoteknologi – LIPI 2009; Peran Puslit Geoteknologi dalam Optimalisasi Pemanfaatan Sumber Daya Alam dan Mitigasi Kebencanaan di Indonesia , Bandung, 3 Desember 2009. ISBN: 978-979-8636-16-5
- Sengaji, Ernawati Dan Nababan, Bisman. (2009). Pemetaan Tingkat Resiko Tsunami di Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur.
- Setyonegoro, W. (2011). Tsunami Numerical Simulation Applied To Tsunami Early Warning System Along Sumatra Region. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* Volume 12 Nomor 1 Tahun 2011: 21-32.
- Sugimoto dalam Kurniati, T.and Pratama N. (2013). Studi Tingkat Aksesibilitas Masyarakat Menuju Bangunan Penyelamatan (Shelter) Pada Daerah Rawan Tsunami (Studi Kasus: Kota Painan, Sumatera Barat), *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UniversitasAndalas* Vol. 20 No. 1 April 2013 ISSN : 0854-8471,

- Wallansha, R. dan Setyonegoro, W. (2015). Skenario Tsunami Menggunakan Data Parameter Gempabumi Berdasarkan Kondisi Batimetri (Studi Kasus: Gempabumi Maluku 28 Januari 2004). Jurnal Segara Kementrian Kelautan dan Perikanan (KKP), ISSN: 1907-0659, Vol.11, No.2, page: 159-168.
- Wells, D.L., dan Coppersmith, K. J., (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974–1002.
- Yudhicara dan Budiono. (2008). Tsunamigenik di Selat Sunda: Kajian terhadap katalog Tsunami Soloviev. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3 No. 4 Desember 2008: 241-251

LAPORAN DAN PUBLIKASI ONLINE

- Ayu Dewi Azizatul Ni'mah .(2015). Teknik Uji Keabsahan Data, Universitas Islam Negeri Walisongo. Semarang
- Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geolog, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral <http://vsi.esdm.go.id>, 04 September 2015
- Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geolog, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral <http://vsi.esdm.go.id>, 03 Juli 2017
- Charlton et al, (2000). Regional Tectonics, The Bird's Head-Halmahera microplate: an unrecognised plate simplifies present-day SE Asia tectonics, (<http://www.timcharlton.co.uk/other-projects/regional-tectonics>, diakses tanggal 21 agustus 2017)
- Colin G. Macpherson, Emily J. Forde, Robert Hall dan Matthew F. Thirlwall. (2003). Geochemical Evolution of Magmatism In An Arc-Arc Collision: The Halmahera and Sangihe Arcs, Eastern Indonesia.
- Daryono. (2015), Catatan Sejarah Gempabumi Dan Tsunami Maluku Utara. (<http://rumahpengetahuan.web.id/lempeng-tektunik-di-kawasan-maluku-aktif-tinggi>, diakses tanggal 21 agustus 2017)

- Database gempabumi BMKG: (<http://repogempa.bmkg.go.id/query.php>, diakses tanggal 21 Agustus 2017).
- Database gempabumi GeoForschungsZentrum (GFZ): (<http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/form.php>, diakses tanggal 21 Agustus 2017).
- ERI - Seismicity Analysis System (earthquake catalog). (<https://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/db/harvard>, diakses tanggal 21 Agustus 2017).
- Katili (1995). Proses Terjadinya Gempabumi, Bab II Dasar Teori Gempabumi, Halaman 10. (<http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/621/jbptitbpp-gdl-meiriskayu-31049-3-2008ta-2.pdf>, diakses 21 Agustus 2017)
- Kious, W. Jacquelyne and Tilling, Robert I., (1996). This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics. U.S. Government Printing Office Superintendent of Documents, Washington, DC 20402-9328, (<https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic>, diakses 21 Agustus 2017)
- Meilano Irwan (2014). Zona Gempa Maluku Istimewa. Pusat Penelitian Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung. (<https://m.tempo.co/read/news/2014/11/16/058622218/zona-gempa-maluku-istimewa>, diakses tanggal 21 Agustus 2017)
- Meilano Irwan (2014). Gempa Halmahera. Pusat Penelitian Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung, (<http://rumahpengetahuan.web.id/gempa-halmahera>, diakses tanggal 21 Agustus 2017)
- Natawidjaja, D.H. (2007), Tectonic Setting Indonesia dan Pemodelan Sumber Gempa dan Tsunami, Geoteknologi-LIPI, Laporan Pelatihan Pemodelan Run-Up Tsunami, RISTEK, 20-24 Agustus 2007.
- Plate tectonic theory. (<http://thebritishgeographer.weebly.com/plate-tectonic-theory>, diakses tanggal 21 Agustus 2017)
- Report on International Workshop on Tsunami Inundation Mapping, in Tokyo, Japan, 25-27 November 2015.

- Stein, S. Schramm, K. Swafford, L. (2005). How The Solid Earth Works, GEOLOGY 107 Our Dynamic Planet Fall 2005. (<http://www.earth.northwestern.edu/public/seth/107/>, diakses tanggal 21 agustus 2017)
- Shiddiq, H.A., Widiyantoro, S., Nugraha, A.D., Ramdhan, M., Wandono, Sutiyono, Handayani, T. (2015), Spatiotemporal Variation Of B-Value In Molucca Collision Zone Using High Precision Relocated Hypocenters, The 9th International Workshop on Statistical Seismology Potsdam, Germany, 14 – 18 June 2015.
- United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction. (UN-ISDR-2000:24), (<http://www.unisdr.org/2000/campaign/pa-camp00-pressrelease-eng.htm>, diakses tanggal 21 agustus 2017).
- Yudhicara (2014). Zona Kegempaan Maluku Sangat Kompleks. (<http://rumahpengetahuan.web.id/zona-kegempaan-maluku-sangat-kompleks/>), diakses tanggal 21 agustus 2017).

PERATURAN DAN PERUNDANG-UNDANGAN

- Pembukaan UUD Republik Indonesia tahun 1945
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2008, Tentang Badan Nasional Penanggulangan Bencana
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2008 Tentang Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2008 Tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana.
- Peraturan Rektor Universitas Pertahanan Nomor 22 Tahun 2014 Tentang Penulisan Karya Akhir Studi Universitas Pertahanan
- Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 2 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 tahun 2002 Tentang Pertahanan Negara
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.

Lampiran 4.1. Database Gempabumi BMKG

Meteorological Climatological and Geophysical Agency, BMKG
Earthquake Database

=====

File Created: Wed Dec 13 2017 10:24:18 WIB
Earthquake Events = 1 - 100 from 557 Events
Date Range: 2014-01-01 - 2014-12-31
Latitude: 4N - 1S
Longitude: 127E - 125E
Magnitude Range: 1 - 9 SR
Depth Range: 1 - 60 Km

Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	Region
11/15/2014	31:44.3	1.95	126.49	60	7.2	Northern Molucca Sea
11/26/2014	33:46.8	2.02	126.51	59	6.7	Northern Molucca Sea
12/21/2014	34:14.4	2.11	126.65	45	6.3	Northern Molucca Sea
9/10/2014	46:11.3	-0.17	125.13	56	6.2	Southern Molucca Sea
9/10/2014	19:25.3	-0.2	125.21	48	5.8	Southern Molucca Sea
12/9/2014	09:24.6	1.64	126.36	58	5.7	Northern Molucca Sea
9/10/2014	33:02.8	-0.19	125.23	53	5.6	Southern Molucca Sea
11/15/2014	47:58.9	1.91	126.47	10	5.6	Northern Molucca Sea
11/15/2014	12:03.4	1.79	126.49	10	5.6	Northern Molucca Sea
11/18/2014	47:20.9	1.91	126.41	51	5.6	Northern Molucca Sea
11/26/2014	49:53.1	2.05	126.61	48	5.5	Northern Molucca Sea
11/26/2014	48:32.8	1.94	126.54	37	5.3	Northern Molucca Sea
2/25/2014	42:39.2	-0.39	125.25	26	5.2	Southern Molucca Sea
11/15/2014	43:13.8	1.81	126.48	10	5.2	Northern Molucca Sea
12/8/2014	35:55.5	1.97	126.42	40	5.2	Northern Molucca Sea
1/16/2014	48:54.9	1.41	126.41	55	5.1	Northern Molucca Sea
2/24/2014	56:05.6	0.57	126.13	49	5.1	Northern Molucca Sea
5/29/2014	16:51.1	-0.16	125.36	50	5.1	Southern Molucca Sea
6/29/2014	19:27.4	1.41	126.35	48	5.1	Northern Molucca Sea
11/15/2014	06:07.5	1.88	126.58	38	5.1	Northern Molucca Sea
11/28/2014	29:31.8	2.05	126.52	10	5.1	Northern Molucca Sea
3/26/2014	11:15.4	1.57	126.39	30	5	Northern Molucca Sea
9/10/2014	59:51.1	-0.16	125.33	52	5	Southern Molucca Sea
9/10/2014	30:52.9	-0.12	125.24	53	5	Southern Molucca Sea
9/12/2014	00:26.9	-0.18	125.23	52	5	Southern Molucca Sea
10/24/2014	23:48.5	1.53	126.46	48	5	Northern Molucca Sea
11/15/2014	57:04.9	1.74	126.34	53	5	Northern Molucca Sea
11/26/2014	46:36.5	2.03	126.58	10	5	Northern Molucca Sea
12/21/2014	29:58.6	2.14	126.69	43	5	Northern Molucca Sea
1/30/2014	15:43.2	1.24	126.89	45	4.9	Northern Molucca Sea
3/8/2014	56:59.3	0.36	126.28	44	4.9	Northern Molucca Sea

11/16/2014	42:47.7	1.81	126.37	10	4.9	Northern Molucca Sea
11/21/2014	51:27.2	3.95	126.82	10	4.9	Talaud Islands, Indonesia
12/5/2014	55:54.8	2.03	126.55	49	4.9	Northern Molucca Sea
12/13/2014	17:51.8	1.92	126.55	58	4.9	Northern Molucca Sea
1/8/2014	05:09.3	1.39	126.32	41	4.8	Northern Molucca Sea
1/8/2014	06:05.4	1.4	126.39	45	4.8	Northern Molucca Sea
1/8/2014	29:10.5	1.42	126.4	42	4.8	Northern Molucca Sea
1/27/2014	24:39.8	1.07	126.24	38	4.8	Northern Molucca Sea
2/1/2014	43:37.7	1.49	126.32	23	4.8	Northern Molucca Sea
3/2/2014	50:04.8	0.27	126.25	10	4.8	Northern Molucca Sea
9/10/2014	49:40.9	-0.27	125.14	10	4.8	Southern Molucca Sea
11/15/2014	11:45.8	1.84	126.36	46	4.8	Northern Molucca Sea
11/15/2014	26:57.3	1.81	126.51	14	4.8	Northern Molucca Sea
11/18/2014	30:27.2	1.95	126.44	17	4.8	Northern Molucca Sea
11/18/2014	43:21.8	2	126.49	10	4.8	Northern Molucca Sea
11/26/2014	02:46.4	1.9	126.55	10	4.8	Northern Molucca Sea
11/26/2014	16:03.1	1.93	126.55	19	4.8	Northern Molucca Sea
11/26/2014	05:42.1	2.08	126.7	46	4.8	Northern Molucca Sea
11/29/2014	24:00.4	2.1	126.63	57	4.8	Northern Molucca Sea
12/10/2014	18:46.4	1.9	126.41	10	4.8	Northern Molucca Sea
12/14/2014	14:38.6	1.94	126.4	47	4.8	Northern Molucca Sea
1/8/2014	14:53.7	1.41	126.4	10	4.7	Northern Molucca Sea
2/6/2014	19:20.3	3.15	125.96	10	4.7	Talaud Islands, Indonesia
2/28/2014	47:41.7	1.35	126.34	41	4.7	Northern Molucca Sea
5/2/2014	21:22.7	1.46	126.44	10	4.7	Northern Molucca Sea
5/2/2014	52:51.1	1.57	126.44	30	4.7	Northern Molucca Sea
5/30/2014	49:51.9	1.21	126.57	23	4.7	Northern Molucca Sea
8/22/2014	44:26.8	0.79	125.37	27	4.7	Northern Molucca Sea
10/16/2014	59:21.1	1.83	126.47	10	4.7	Northern Molucca Sea
10/17/2014	29:43.9	2.66	126.96	10	4.7	Northern Molucca Sea
11/15/2014	39:26.6	1.79	126.58	41	4.7	Northern Molucca Sea
11/16/2014	12:20.5	1.64	126.54	10	4.7	Northern Molucca Sea
11/18/2014	56:12.1	1.94	126.46	35	4.7	Northern Molucca Sea
11/18/2014	03:17.4	1.91	126.44	43	4.7	Northern Molucca Sea
11/21/2014	07:02.5	1.81	126.35	31	4.7	Northern Molucca Sea
12/1/2014	36:59.5	1.87	126.45	49	4.7	Northern Molucca Sea
12/14/2014	42:34.8	3.7	126.72	50	4.7	Talaud Islands, Indonesia
1/14/2014	51:26.1	1.13	126.06	10	4.6	Northern Molucca Sea
3/8/2014	33:30.1	0.63	125.36	58	4.6	Northern Molucca Sea
3/26/2014	21:40.7	-0.11	125.07	45	4.6	Southern Molucca Sea
9/13/2014	22:17.9	-0.21	125.19	20	4.6	Southern Molucca Sea
10/19/2014	29:45.2	0.68	126.67	42	4.6	Northern Molucca Sea
10/22/2014	58:44.1	2.78	126.01	10	4.6	Northern Molucca Sea

11/15/2014	13:59.2	1.94	126.49	10	4.6	Northern Molucca Sea
11/15/2014	34:56.8	1.81	126.36	10	4.6	Northern Molucca Sea
11/16/2014	04:02.7	1.61	126.51	10	4.6	Northern Molucca Sea
11/16/2014	31:18.6	1.8	126.52	29	4.6	Northern Molucca Sea
11/21/2014	43:50.5	1.89	126.41	43	4.6	Northern Molucca Sea
11/21/2014	55:16.2	1.82	126.33	25	4.6	Northern Molucca Sea
11/27/2014	22:15.3	2.08	126.62	40	4.6	Northern Molucca Sea
12/14/2014	44:59.8	1.97	126.41	50	4.6	Northern Molucca Sea
12/21/2014	14:24.9	2.21	126.71	14	4.6	Northern Molucca Sea
12/21/2014	01:03.5	-0.21	125.26	50	4.6	Southern Molucca Sea
12/22/2014	20:18.7	-0.41	126.54	45	4.6	Southern Molucca Sea
12/29/2014	17:25.5	1.84	126.15	15	4.6	Northern Molucca Sea
9/28/2014	51:18.3	2.46	126.88	59	4.5	Northern Molucca Sea
9/29/2014	07:38.1	0.74	126.61	38	4.5	Northern Molucca Sea
11/15/2014	00:27.7	2.4	126.5	10	4.5	Northern Molucca Sea
11/18/2014	48:08.5	1.86	126.42	55	4.5	Northern Molucca Sea
11/23/2014	26:24.3	1.87	126.51	59	4.5	Northern Molucca Sea
11/26/2014	07:55.4	1.88	126.54	10	4.5	Northern Molucca Sea
11/27/2014	26:39.2	1.91	126.59	48	4.5	Northern Molucca Sea
12/6/2014	03:01.6	1.92	126.49	19	4.5	Northern Molucca Sea
1/6/2014	14:27.2	1.38	126.29	10	4.4	Northern Molucca Sea
1/8/2014	00:31.4	1.42	126.31	41	4.4	Northern Molucca Sea
1/20/2014	23:11.6	0.85	126.01	10	4.4	Northern Molucca Sea
1/21/2014	20:45.8	2.27	126.78	24	4.4	Northern Molucca Sea
2/10/2014	15:04.9	1.2	126.92	53	4.4	Northern Molucca Sea
6/13/2014	32:43.2	1.83	126.32	53	4.4	Northern Molucca Sea
6/14/2014	41:18.8	2.89	126.72	55	4.4	Northern Molucca Sea
8/6/2014	34:10.5	1.66	126.64	45	4.4	Northern Molucca Sea
8/23/2014	02:36.8	3.66	126.66	10	4.4	Talau Islands, Indonesia
9/10/2014	55:49.2	-0.24	125.25	16	4.4	Southern Molucca Sea
10/22/2014	10:41.4	1.5	126.47	10	4.4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	24:09.7	1.67	126.32	10	4.4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	41:52.2	1.77	126.53	26	4.4	Northern Molucca Sea
11/25/2014	59:18.7	1.79	126.45	52	4.4	Northern Molucca Sea
11/26/2014	18:48.1	2.02	126.62	10	4.4	Northern Molucca Sea
11/26/2014	30:40.5	2.2	126.67	10	4.4	Northern Molucca Sea
11/26/2014	28:49.9	2.02	126.66	20	4.4	Northern Molucca Sea
11/27/2014	17:33.4	1.4	126.64	10	4.4	Northern Molucca Sea
11/28/2014	22:02.3	1.46	126.72	15	4.4	Northern Molucca Sea
12/3/2014	43:37.4	1.77	126.84	14	4.4	Northern Molucca Sea
12/21/2014	01:05.2	2.23	126.7	50	4.4	Northern Molucca Sea
12/26/2014	51:36.7	1.98	126.53	35	4.4	Northern Molucca Sea
12/26/2014	51:36.8	1.99	126.49	44	4.4	Northern Molucca Sea
1/26/2014	17:59.4	3.95	126.67	10	4.3	Talau Islands, Indonesia

1/30/2014	06:02.9	0.44	125.46	21	4.3	Northern Molucca Sea
1/31/2014	36:10.9	1.56	126.27	10	4.3	Northern Molucca Sea
3/6/2014	44:00.1	0.27	126.25	10	4.3	Northern Molucca Sea
3/14/2014	49:31.3	0.6	126.56	24	4.3	Northern Molucca Sea
4/8/2014	00:28.5	2.1	126.67	33	4.3	Northern Molucca Sea
4/13/2014	55:57.3	2.32	126.11	21	4.3	Northern Molucca Sea
4/17/2014	06:21.7	0.85	126.08	10	4.3	Northern Molucca Sea
5/8/2014	35:05.7	0.38	126.41	22	4.3	Northern Molucca Sea
8/2/2014	16:42.9	3.13	126.92	24	4.3	Talau Islands, Indonesia
8/10/2014	38:14.6	2.75	126.46	38	4.3	Northern Molucca Sea
8/11/2014	14:26.6	0.65	126.04	54	4.3	Northern Molucca Sea
9/10/2014	38:58.2	-0.21	125.17	10	4.3	Southern Molucca Sea
9/13/2014	18:56.1	-0.24	125.19	10	4.3	Southern Molucca Sea
10/19/2014	59:59.9	2.79	126.21	43	4.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	38:06.5	1.95	126.66	44	4.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	47:58.1	1.82	126.32	10	4.3	Northern Molucca Sea
11/16/2014	45:19.8	1.79	126.51	10	4.3	Northern Molucca Sea
11/16/2014	38:44.7	1.85	126.41	38	4.3	Northern Molucca Sea
11/17/2014	06:50.4	1.63	126.55	14	4.3	Northern Molucca Sea
11/21/2014	28:49.2	0.6	125.91	10	4.3	Northern Molucca Sea
11/25/2014	57:01.8	1.86	126.38	10	4.3	Northern Molucca Sea
11/26/2014	33:53.3	2.02	126.52	10	4.3	Northern Molucca Sea
11/26/2014	43:54.3	1.97	126.54	19	4.3	Northern Molucca Sea
12/8/2014	41:58.2	1.49	126.57	20	4.3	Northern Molucca Sea
12/9/2014	42:35.7	2.06	126.57	10	4.3	Northern Molucca Sea
12/21/2014	46:50.1	2.15	126.72	32	4.3	Northern Molucca Sea
12/27/2014	14:05.3	1.15	126.44	42	4.3	Northern Molucca Sea
12/29/2014	29:44.8	1.3	126.48	10	4.3	Northern Molucca Sea
1/6/2014	22:25.7	1.34	126.26	10	4.2	Northern Molucca Sea
1/30/2014	14:27.7	0.38	125.46	10	4.2	Northern Molucca Sea
1/31/2014	01:21.6	1.54	126.38	10	4.2	Northern Molucca Sea
3/2/2014	16:58.7	0.52	126.18	20	4.2	Northern Molucca Sea
3/7/2014	26:45.6	0.25	126.24	48	4.2	Northern Molucca Sea
3/14/2014	18:37.9	1.21	126.88	35	4.2	Northern Molucca Sea
4/27/2014	43:10.5	2.39	126.86	30	4.2	Northern Molucca Sea
5/12/2014	44:40.3	0.38	126.42	10	4.2	Northern Molucca Sea
7/5/2014	00:34.7	0.87	126.06	11	4.2	Northern Molucca Sea
7/30/2014	13:02.2	1.28	126.39	10	4.2	Northern Molucca Sea
8/6/2014	35:13.4	1.05	126.39	36	4.2	Northern Molucca Sea
8/10/2014	47:15.6	0.08	125.44	24	4.2	Northern Molucca Sea
8/27/2014	12:04.1	3.63	126.66	12	4.2	Talau Islands, Indonesia
9/8/2014	51:11.2	2.92	125.97	19	4.2	Talau Islands, Indonesia
11/2/2014	06:33.9	2.48	126.87	39	4.2	Northern Molucca Sea

11/13/2014	02:36.7	1.44	126.53	19	4.2	Northern Molucca Sea
11/15/2014	48:30.3	1.81	126.65	28	4.2	Northern Molucca Sea
11/15/2014	25:56.9	1.73	126.54	10	4.2	Northern Molucca Sea
11/15/2014	42:44.9	1.63	126.59	10	4.2	Northern Molucca Sea
11/16/2014	20:38.7	1.62	126.53	10	4.2	Northern Molucca Sea
11/17/2014	51:32.4	1.79	126.61	42	4.2	Northern Molucca Sea
11/27/2014	23:41.4	1.98	126.62	59	4.2	Northern Molucca Sea
12/2/2014	40:49.6	2.04	126.51	10	4.2	Northern Molucca Sea
12/8/2014	50:18.9	3.69	126.73	32	4.2	Talaud Islands, Indonesia
12/8/2014	40:16.2	2.08	126.46	17	4.2	Northern Molucca Sea
12/10/2014	16:51.7	1.78	126.45	10	4.2	Northern Molucca Sea
12/21/2014	52:12.1	2.09	126.68	41	4.2	Northern Molucca Sea
12/25/2014	36:33.8	2.16	126.65	12	4.2	Northern Molucca Sea
1/1/2014	18:04.9	3.45	126.94	10	4.1	Talaud Islands, Indonesia
1/1/2014	55:27.5	3.89	126.74	32	4.1	Talaud Islands, Indonesia
3/12/2014	12:36.9	1.72	126.54	10	4.1	Northern Molucca Sea
3/20/2014	52:21.4	3.02	126.2	10	4.1	Talaud Islands, Indonesia
3/30/2014	47:02.7	1.77	126.38	10	4.1	Northern Molucca Sea
5/2/2014	33:01.3	0.38	126.41	10	4.1	Northern Molucca Sea
5/10/2014	33:31.4	-0.45	125.33	15	4.1	Southern Molucca Sea
5/10/2014	33:31.8	-0.36	125.35	14	4.1	Southern Molucca Sea
5/12/2014	40:44.6	1.54	126.97	15	4.1	Northern Molucca Sea
5/26/2014	41:02.4	0.11	125.33	10	4.1	Northern Molucca Sea
6/9/2014	17:04.5	0.6	125.23	25	4.1	Northern Molucca Sea
6/18/2014	36:54.9	1.6	126.39	10	4.1	Northern Molucca Sea
7/2/2014	35:49.9	1.15	126.84	24	4.1	Northern Molucca Sea
8/5/2014	01:39.5	1.43	126.68	20	4.1	Northern Molucca Sea
9/23/2014	48:40.6	2.8	126.01	30	4.1	Northern Molucca Sea
10/12/2014	03:33.2	1.76	126.94	10	4.1	Northern Molucca Sea
10/29/2014	56:21.2	3.46	126.53	10	4.1	Talaud Islands, Indonesia
10/31/2014	21:43.1	0.75	125.42	24	4.1	Northern Molucca Sea
11/5/2014	56:51.4	0.37	126.66	21	4.1	Northern Molucca Sea
11/15/2014	29:10.1	1.82	126.66	11	4.1	Northern Molucca Sea
11/15/2014	49:25.3	1.82	126.63	26	4.1	Northern Molucca Sea
11/15/2014	09:46.5	1.81	126.58	10	4.1	Northern Molucca Sea
11/15/2014	54:25.9	1.87	126.35	10	4.1	Northern Molucca Sea
11/15/2014	06:42.2	1.77	126.44	43	4.1	Northern Molucca Sea
11/19/2014	37:51.3	1.69	126.52	36	4.1	Northern Molucca Sea
11/20/2014	08:06.7	1.92	126.56	26	4.1	Northern Molucca Sea
11/21/2014	27:12.5	1.94	126.46	20	4.1	Northern Molucca Sea
11/21/2014	40:22.8	1.8	126.59	10	4.1	Northern Molucca Sea
11/26/2014	31:56.3	1.82	126.5	31	4.1	Northern Molucca Sea

11/26/2014	47:53.9	1.86	126.57	35	4.1	Northern Molucca Sea
11/28/2014	38:17.1	1.74	126.52	10	4.1	Northern Molucca Sea
11/29/2014	28:20.7	1.39	126.61	10	4.1	Northern Molucca Sea
11/30/2014	11:15.1	1.79	126.28	10	4.1	Northern Molucca Sea
12/4/2014	49:07.9	2.07	126.58	10	4.1	Northern Molucca Sea
12/10/2014	22:20.5	1.88	126.36	10	4.1	Northern Molucca Sea
12/10/2014	44:59.7	2.1	126.48	33	4.1	Northern Molucca Sea
12/17/2014	47:05.7	1.84	126.52	23	4.1	Northern Molucca Sea
12/21/2014	10:36.3	2.04	126.66	10	4.1	Northern Molucca Sea
12/21/2014	19:03.3	2.1	126.61	15	4.1	Northern Molucca Sea
12/29/2014	10:44.9	2.03	126.54	30	4.1	Northern Molucca Sea
1/28/2014	01:07.4	0.24	126.03	30	4	Northern Molucca Sea
2/1/2014	04:10.5	2.66	125.99	13	4	Talau Islands, Indonesia
2/7/2014	30:23.4	3.53	126.79	10	4	Talau Islands, Indonesia
2/14/2014	52:37.4	-0.12	125.35	23	4	Southern Molucca Sea
3/16/2014	36:44.3	0.53	126.52	30	4	Northern Molucca Sea
3/21/2014	18:21.3	1.28	126.19	10	4	Northern Molucca Sea
3/25/2014	05:47.8	1.31	126.38	10	4	Northern Molucca Sea
6/13/2014	23:34.5	0.13	126.57	13	4	Northern Molucca Sea
7/10/2014	24:11.1	0.49	125.26	10	4	Northern Molucca Sea
7/29/2014	57:56.2	-0.18	125.1	10	4	Southern Molucca Sea
8/26/2014	31:31.6	0.61	125.17	25	4	Northern Molucca Sea
9/14/2014	22:16.8	1.51	126.3	10	4	Northern Molucca Sea
9/25/2014	42:24.9	1.84	125.96	23	4	Northern Molucca Sea
9/28/2014	32:55.4	2.33	126.88	33	4	Northern Molucca Sea
10/5/2014	23:48.9	-0.29	125.18	10	4	Southern Molucca Sea
10/13/2014	22:04.6	-0.3	125.2	10	4	Southern Molucca Sea
10/15/2014	11:32.2	2.29	125.99	23	4	Talau Islands, Indonesia
11/15/2014	01:58.9	1.83	126.54	10	4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	02:12.3	1.48	126.72	10	4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	50:25.3	1.95	126.53	25	4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	20:50.4	1.72	126.45	10	4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	04:32.7	1.83	126.34	13	4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	29:56.3	1.72	126.44	10	4	Northern Molucca Sea
11/20/2014	00:49.7	1.7	126.48	30	4	Northern Molucca Sea
11/22/2014	20:20.9	1.89	126.36	13	4	Northern Molucca Sea
11/28/2014	07:54.4	1.43	126.61	19	4	Northern Molucca Sea
12/1/2014	39:57.1	1.77	126.41	26	4	Northern Molucca Sea
12/8/2014	54:53.7	0.38	126.08	10	4	Northern Molucca Sea
12/13/2014	18:42.8	2.85	126.15	10	4	Northern Molucca Sea
12/21/2014	07:19.6	2.2	126.7	10	4	Northern Molucca Sea
12/24/2014	10:14.3	1.98	126.41	10	4	Northern Molucca Sea
1/3/2014	48:56.5	0.67	126.7	36	3.9	Northern Molucca Sea

1/4/2014	03:03.6	1.33	126.21	10	3.9	Northern Molucca Sea
1/19/2014	33:48.5	-0.36	126.74	10	3.9	Southern Molucca Sea
2/5/2014	37:21.9	1.61	126.69	39	3.9	Northern Molucca Sea
3/3/2014	59:37.2	-0.38	125.16	10	3.9	Southern Molucca Sea
4/17/2014	54:30.8	1.79	126.48	10	3.9	Northern Molucca Sea
5/2/2014	53:22.4	1.03	126.14	54	3.9	Northern Molucca Sea
5/8/2014	20:17.5	0.36	126.38	10	3.9	Northern Molucca Sea
5/22/2014	43:59.3	2.91	126.8	10	3.9	Northern Molucca Sea
6/17/2014	27:55.5	-0.71	126.83	10	3.9	Southern Molucca Sea
10/27/2014	52:15.7	2.04	126.78	23	3.9	Northern Molucca Sea
10/28/2014	20:54.9	2.31	126.82	12	3.9	Northern Molucca Sea
11/1/2014	35:45.1	1.64	125.89	11	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	22:04.7	1.81	126.47	25	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	09:01.8	1.86	126.55	10	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	12:06.7	1.56	126.92	10	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	23:42.5	1.75	126.36	10	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	46:02.6	1.81	126.53	10	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	22:47.2	1.71	126.54	15	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	02:18.6	1.91	126.53	16	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	22:02.8	1.96	126.42	10	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	27:00.3	1.46	126.5	10	3.9	Northern Molucca Sea
11/15/2014	53:01.5	1.95	126.53	10	3.9	Northern Molucca Sea
11/16/2014	52:04.4	1.88	126.47	15	3.9	Northern Molucca Sea
11/16/2014	55:05.4	1.55	126.48	11	3.9	Northern Molucca Sea
11/17/2014	44:08.6	1.55	126.56	25	3.9	Northern Molucca Sea
11/20/2014	20:56.4	1.86	126.52	20	3.9	Northern Molucca Sea
11/22/2014	43:56.6	-0.11	125.72	10	3.9	Southern Molucca Sea
12/1/2014	52:14.7	2.11	126.55	53	3.9	Northern Molucca Sea
12/2/2014	40:24.6	1.63	126.41	25	3.9	Northern Molucca Sea
12/5/2014	21:27.9	1.85	126.47	39	3.9	Northern Molucca Sea
12/8/2014	43:59.9	1.87	126.47	10	3.9	Northern Molucca Sea
12/12/2014	22:54.6	1.63	126.9	23	3.9	Northern Molucca Sea
12/21/2014	59:06.9	2.16	126.69	11	3.9	Northern Molucca Sea
12/21/2014	06:51.7	2.14	126.71	10	3.9	Northern Molucca Sea
12/21/2014	46:23.9	2.22	126.71	15	3.9	Northern Molucca Sea
12/30/2014	03:15.5	2.67	125.76	11	3.9	Talud Islands, Indonesia
1/6/2014	56:48.4	3.48	126.38	10	3.8	Talud Islands, Indonesia
1/8/2014	41:06.4	1.36	126.28	10	3.8	Northern Molucca Sea
1/11/2014	25:34.5	1.79	126.53	10	3.8	Northern Molucca Sea
2/11/2014	41:02.4	1.23	126.81	20	3.8	Northern Molucca Sea
3/22/2014	05:14.9	1.18	126.43	30	3.8	Northern Molucca Sea
3/25/2014	20:30.1	1.69	126.28	10	3.8	Northern Molucca Sea
3/30/2014	58:22.1	1.32	126.36	29	3.8	Northern Molucca Sea
4/5/2014	52:27.7	1.59	126.37	10	3.8	Northern Molucca Sea

4/9/2014	10:38.5	2.28	126.18	45	3.8	Northern Molucca Sea
4/16/2014	13:59.2	-0.29	125.28	10	3.8	Southern Molucca Sea
4/17/2014	36:16.8	0.96	126.83	20	3.8	Northern Molucca Sea
5/19/2014	58:48.6	1.08	126.35	17	3.8	Northern Molucca Sea
5/27/2014	47:33.5	1.64	126.6	17	3.8	Northern Molucca Sea
6/5/2014	45:42.5	2.01	126.15	10	3.8	Northern Molucca Sea
6/23/2014	34:57.9	0.36	125.66	10	3.8	Northern Molucca Sea
7/11/2014	12:04.7	0.54	125.56	10	3.8	Northern Molucca Sea
7/19/2014	22:15.3	1.64	126.83	10	3.8	Northern Molucca Sea
7/20/2014	06:07.5	1.36	126.73	31	3.8	Northern Molucca Sea
7/26/2014	18:28.6	1.72	125.84	28	3.8	Northern Molucca Sea
7/30/2014	32:26.7	-0.26	125.12	10	3.8	Southern Molucca Sea
8/24/2014	41:55.6	1.41	126.41	10	3.8	Northern Molucca Sea
9/12/2014	02:40.3	-0.21	125.42	10	3.8	Southern Molucca Sea
10/14/2014	12:41.6	-0.3	125.17	10	3.8	Southern Molucca Sea
10/23/2014	34:12.7	2.67	126.05	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/6/2014	50:53.7	1.39	126.4	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/8/2014	58:20.9	1.11	126.31	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/15/2014	33:31.2	1.88	126.54	13	3.8	Northern Molucca Sea
11/15/2014	27:38.9	1.98	126.59	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/15/2014	58:41.4	1.4	126.63	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/15/2014	32:02.7	1.73	126.51	21	3.8	Northern Molucca Sea
11/16/2014	27:47.9	1.84	126.52	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/16/2014	19:15.3	1.88	126.44	34	3.8	Northern Molucca Sea
11/16/2014	55:13.2	1.63	126.5	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/16/2014	12:15.7	1.68	126.33	31	3.8	Northern Molucca Sea
11/17/2014	14:38.7	1.81	126.48	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/18/2014	16:19.1	1.84	126.51	33	3.8	Northern Molucca Sea
11/18/2014	33:23.9	1.87	126.38	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/19/2014	23:02.4	1.91	126.44	16	3.8	Northern Molucca Sea
11/22/2014	57:44.6	2.2	126.19	48	3.8	Northern Molucca Sea
11/26/2014	55:13.1	1.9	126.61	16	3.8	Northern Molucca Sea
11/28/2014	05:24.9	2.09	126.55	10	3.8	Northern Molucca Sea
11/30/2014	44:51.5	-0.27	125.42	10	3.8	Southern Molucca Sea
11/30/2014	33:47.3	1.92	126.45	34	3.8	Northern Molucca Sea
12/10/2014	29:52.6	1.95	126.56	10	3.8	Northern Molucca Sea
12/15/2014	15:58.4	1.26	125.95	11	3.8	Northern Molucca Sea
12/21/2014	03:41.9	2.19	126.63	10	3.8	Northern Molucca Sea
12/23/2014	24:45.6	1.86	126.38	36	3.8	Northern Molucca Sea
1/7/2014	04:01.3	-0.1	125.14	10	3.7	Southern Molucca Sea
1/22/2014	00:45.3	0.94	126.11	23	3.7	Northern Molucca Sea
2/3/2014	30:38.9	1.73	126.35	19	3.7	Northern Molucca Sea
3/29/2014	18:36.1	1.56	126.46	10	3.7	Northern Molucca Sea
4/2/2014	34:25.5	0.65	125.4	10	3.7	Northern Molucca Sea
4/8/2014	57:59.2	0.15	125.99	10	3.7	Northern Molucca Sea

4/22/2014	22:33.4	2.18	126.78	17	3.7	Northern Molucca Sea
4/29/2014	24:47.4	0.01	125.71	22	3.7	Northern Molucca Sea
7/20/2014	35:22.2	-0.37	125.33	10	3.7	Southern Molucca Sea
8/31/2014	42:14.2	1.04	126.15	21	3.7	Northern Molucca Sea
9/10/2014	17:40.8	-0.3	125.23	10	3.7	Southern Molucca Sea
9/10/2014	46:25.1	-0.07	125.16	11	3.7	Southern Molucca Sea
11/2/2014	40:19.3	1.15	126.17	46	3.7	Northern Molucca Sea
11/5/2014	07:14.6	1.21	125.35	10	3.7	Northern Molucca Sea
11/9/2014	47:06.8	0.51	125.32	14	3.7	Northern Molucca Sea
11/15/2014	50:18.6	1.87	126.38	33	3.7	Northern Molucca Sea
11/15/2014	29:40.7	1.76	126.48	33	3.7	Northern Molucca Sea
11/16/2014	50:20.9	1.94	126.52	10	3.7	Northern Molucca Sea
11/18/2014	29:15.5	1.96	126.43	11	3.7	Northern Molucca Sea
11/19/2014	37:47.6	1.83	126.3	10	3.7	Northern Molucca Sea
11/19/2014	55:18.6	2.29	126.81	16	3.7	Northern Molucca Sea
11/20/2014	53:56.1	1.91	126.74	17	3.7	Northern Molucca Sea
11/21/2014	00:15.2	1.91	126.88	12	3.7	Northern Molucca Sea
11/26/2014	03:49.5	1.92	126.62	10	3.7	Northern Molucca Sea
11/26/2014	40:36.1	1.98	126.46	21	3.7	Northern Molucca Sea
11/26/2014	23:01.3	1.88	126.57	30	3.7	Northern Molucca Sea
11/29/2014	50:22.2	1.84	126.85	28	3.7	Northern Molucca Sea
12/2/2014	03:26.7	1.9	126.42	10	3.7	Northern Molucca Sea
12/11/2014	37:23.1	1.23	125.52	21	3.7	Northern Molucca Sea
12/15/2014	30:08.3	1.81	126.34	10	3.7	Northern Molucca Sea
12/16/2014	38:20.3	1.5	126.28	29	3.7	Northern Molucca Sea
12/18/2014	04:15.8	0.14	125.85	10	3.7	Northern Molucca Sea
12/22/2014	26:26.6	1.05	125.89	19	3.7	Northern Molucca Sea
1/24/2014	04:16.2	2.09	126.67	10	3.6	Northern Molucca Sea
2/6/2014	16:40.1	0.06	125.58	10	3.6	Northern Molucca Sea
2/7/2014	11:23.4	1.16	126.2	17	3.6	Northern Molucca Sea
3/25/2014	33:44.3	1.14	125.91	10	3.6	Northern Molucca Sea
4/4/2014	40:53.4	1.45	125.84	54	3.6	Northern Molucca Sea
4/25/2014	27:23.2	1.31	126.21	15	3.6	Northern Molucca Sea
5/14/2014	22:05.9	1.2	126.68	30	3.6	Northern Molucca Sea
5/30/2014	05:19.2	1.25	125.28	15	3.6	Northern Molucca Sea
6/25/2014	46:18.2	0.24	125.95	10	3.6	Northern Molucca Sea
7/19/2014	31:36.2	-0.75	125.06	24	3.6	Southern Molucca Sea
8/31/2014	46:39.5	0.94	126.11	10	3.6	Northern Molucca Sea
9/10/2014	43:30.5	-0.3	125.2	18	3.6	Southern Molucca Sea
9/12/2014	48:45.4	-0.24	125.34	10	3.6	Southern Molucca Sea
9/14/2014	02:53.8	-0.31	125.3	10	3.6	Southern Molucca Sea
9/29/2014	26:37.3	0.53	125.64	10	3.6	Northern Molucca Sea
10/14/2014	36:23.8	-0.38	125.18	10	3.6	Southern Molucca Sea
11/15/2014	32:36.8	1.78	126.5	10	3.6	Northern Molucca Sea
11/15/2014	04:41.9	1.53	126.7	10	3.6	Northern Molucca Sea

11/15/2014	48:44.3	1.76	126.41	34	3.6	Northern Molucca Sea
11/15/2014	31:40.8	1.78	126.55	32	3.6	Northern Molucca Sea
11/15/2014	28:21.1	1.86	126.59	10	3.6	Northern Molucca Sea
11/15/2014	29:02.8	1.85	126.55	36	3.6	Northern Molucca Sea
11/16/2014	16:33.2	1.62	126.63	10	3.6	Northern Molucca Sea
11/16/2014	13:50.7	1.64	126.51	10	3.6	Northern Molucca Sea
11/16/2014	50:51.1	1.45	126.57	41	3.6	Northern Molucca Sea
11/18/2014	05:27.6	1.91	126.18	10	3.6	Northern Molucca Sea
11/18/2014	23:09.3	1.91	126.39	12	3.6	Northern Molucca Sea
11/23/2014	02:27.9	0.64	126.01	11	3.6	Northern Molucca Sea
11/26/2014	16:59.2	1.93	126.52	10	3.6	Northern Molucca Sea
11/27/2014	23:10.2	0.33	125.37	10	3.6	Northern Molucca Sea
11/28/2014	27:48.9	2.04	126.54	27	3.6	Northern Molucca Sea
11/29/2014	30:50.8	2.06	126.55	10	3.6	Northern Molucca Sea
12/4/2014	18:43.7	1.94	126.4	10	3.6	Northern Molucca Sea
12/4/2014	34:58.7	1.92	126.64	10	3.6	Northern Molucca Sea
12/9/2014	33:48.6	1.97	126.44	10	3.6	Northern Molucca Sea
12/15/2014	55:22.2	1.82	126.35	28	3.6	Northern Molucca Sea
1/24/2014	34:37.8	0.31	125.46	10	3.5	Northern Molucca Sea
2/4/2014	46:23.8	0.83	126.61	10	3.5	Northern Molucca Sea
2/11/2014	37:17.1	1.34	126.81	10	3.5	Northern Molucca Sea
2/12/2014	30:16.4	1.39	126.42	10	3.5	Northern Molucca Sea
4/22/2014	30:38.4	1.24	126.36	10	3.5	Northern Molucca Sea
5/5/2014	02:02.7	0.32	126.36	10	3.5	Northern Molucca Sea
5/5/2014	04:07.4	0.29	126.34	10	3.5	Northern Molucca Sea
5/20/2014	03:38.8	1.91	125.83	13	3.5	Northern Molucca Sea
6/2/2014	27:41.8	1.76	126.56	10	3.5	Northern Molucca Sea
6/9/2014	04:39.2	2.21	126.71	26	3.5	Northern Molucca Sea
7/22/2014	08:00.7	0.92	126.74	14	3.5	Northern Molucca Sea
8/11/2014	20:23.7	1.1	126.84	10	3.5	Northern Molucca Sea
8/20/2014	26:12.1	-0.2	125.02	10	3.5	Southern Molucca Sea
9/10/2014	52:33.5	-0.38	125.11	13	3.5	Southern Molucca Sea
9/10/2014	57:32.7	-0.32	125.27	34	3.5	Southern Molucca Sea
9/10/2014	56:01.1	-0.35	125.14	10	3.5	Southern Molucca Sea
9/13/2014	09:36.4	1.01	126.91	56	3.5	Northern Molucca Sea
9/14/2014	08:58.3	-0.26	125.13	10	3.5	Southern Molucca Sea
9/30/2014	07:45.4	-0.32	125	12	3.5	Southern Molucca Sea
11/15/2014	21:52.5	1.58	126.62	11	3.5	Northern Molucca Sea
11/15/2014	12:41.1	1.89	126.34	10	3.5	Northern Molucca Sea
11/15/2014	54:37.3	1.8	126.51	10	3.5	Northern Molucca Sea
11/16/2014	41:22.7	1.78	126.5	28	3.5	Northern Molucca Sea
11/16/2014	36:29.2	1.81	126.37	28	3.5	Northern Molucca Sea
11/17/2014	30:07.9	1.74	126.34	12	3.5	Northern Molucca Sea
11/18/2014	50:59.1	2.28	126.92	10	3.5	Northern Molucca Sea
11/19/2014	01:58.5	1.95	126.68	22	3.5	Northern Molucca Sea

11/24/2014	40:32.3	1.71	126.41	42	3.5	Northern Molucca Sea
11/25/2014	10:32.3	1.83	126.29	10	3.5	Northern Molucca Sea
11/26/2014	11:53.4	1.71	126.47	11	3.5	Northern Molucca Sea
11/26/2014	58:40.6	1.9	126.55	10	3.5	Northern Molucca Sea
11/28/2014	16:30.3	1.89	126.52	26	3.5	Northern Molucca Sea
11/30/2014	13:08.9	2.24	126.98	10	3.5	Northern Molucca Sea
12/17/2014	09:00.2	1.18	126.32	19	3.5	Northern Molucca Sea
12/20/2014	12:58.3	1.79	126.31	21	3.5	Northern Molucca Sea
12/21/2014	30:40.5	2.04	126.74	17	3.5	Northern Molucca Sea
12/21/2014	10:40.8	2.11	126.67	23	3.5	Northern Molucca Sea
12/22/2014	40:30.6	2.08	126.65	22	3.5	Northern Molucca Sea
12/29/2014	35:09.5	1.84	126.43	10	3.5	Northern Molucca Sea
1/5/2014	16:25.6	0.78	126.74	10	3.4	Northern Molucca Sea
2/2/2014	42:24.2	1.12	126.89	37	3.4	Northern Molucca Sea
2/26/2014	24:15.2	2.58	126.76	10	3.4	Northern Molucca Sea
2/27/2014	34:58.5	1.55	126.35	10	3.4	Northern Molucca Sea
4/10/2014	00:03.9	1.1	126.13	10	3.4	Northern Molucca Sea
4/28/2014	37:20.6	1.19	126.38	16	3.4	Northern Molucca Sea
5/17/2014	49:28.4	0.46	126.78	24	3.4	Northern Molucca Sea
5/17/2014	25:30.5	-0.52	125.85	22	3.4	Southern Molucca Sea
7/28/2014	36:32.4	1.65	126.54	10	3.4	Northern Molucca Sea
8/13/2014	36:08.1	-0.97	126.9	10	3.4	Southern Molucca Sea
9/4/2014	31:46.2	-0.19	125.24	10	3.4	Southern Molucca Sea
9/14/2014	19:04.9	-0.13	125.41	11	3.4	Southern Molucca Sea
10/28/2014	56:58.6	1.15	126.05	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/3/2014	12:25.9	0.2	125.85	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/4/2014	50:01.3	1.91	125.92	27	3.4	Northern Molucca Sea
11/12/2014	03:36.6	3.06	126.47	45	3.4	Talau Islands, Indonesia
11/15/2014	24:25.6	1.37	126.99	45	3.4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	51:08.6	1.73	126.57	42	3.4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	19:42.6	1.73	126.55	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	26:27.6	1.54	126.53	11	3.4	Northern Molucca Sea
11/15/2014	01:01.1	1.4	126.45	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/16/2014	44:24.7	1.68	126.45	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/16/2014	22:13.5	1.76	126.45	12	3.4	Northern Molucca Sea
11/19/2014	14:43.4	1.72	126.41	17	3.4	Northern Molucca Sea
11/20/2014	52:30.2	0.58	126.23	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/22/2014	45:10.5	0.45	125.56	12	3.4	Northern Molucca Sea
11/25/2014	01:29.8	2.07	126.76	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/26/2014	47:27.4	1.82	126.48	15	3.4	Northern Molucca Sea
11/26/2014	54:16.2	1.7	126.55	10	3.4	Northern Molucca Sea
11/26/2014	31:14.2	1.88	126.52	21	3.4	Northern Molucca Sea
12/10/2014	25:18.9	1.76	126.6	40	3.4	Northern Molucca Sea
12/11/2014	10:58.1	1.73	126.45	15	3.4	Northern Molucca Sea

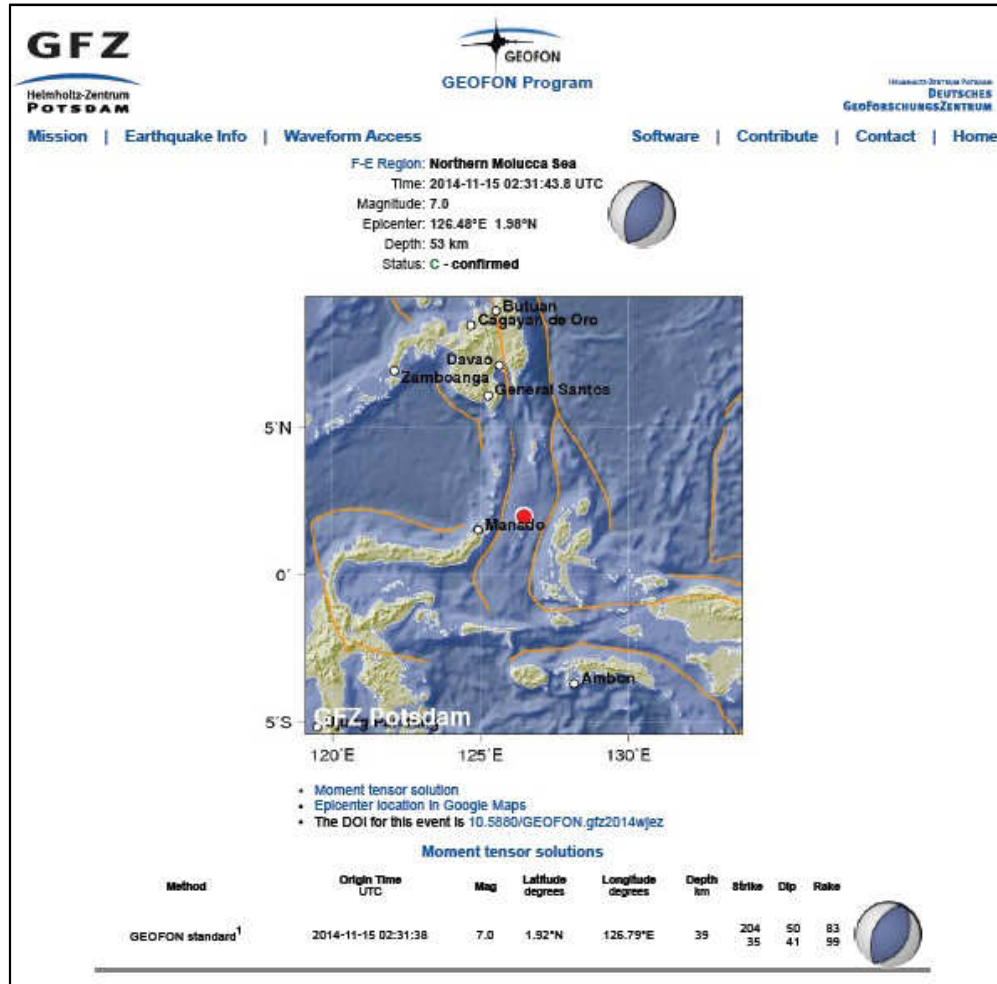
12/23/2014	09:56.5	-0.31	125.25	10	3.4	Southern Molucca Sea
1/5/2014	03:00.9	1.3	126.27	26	3.3	Northern Molucca Sea
2/13/2014	05:13.1	1.11	126.63	27	3.3	Northern Molucca Sea
6/6/2014	03:19.3	0.54	125.01	21	3.3	Northern Molucca Sea
7/6/2014	27:44.1	-0.24	125.4	14	3.3	Southern Molucca Sea
7/31/2014	03:55.2	-0.22	125.25	11	3.3	Southern Molucca Sea
8/6/2014	38:19.7	1.5	126.41	27	3.3	Northern Molucca Sea
8/15/2014	40:37.7	0.27	126.91	22	3.3	Northern Molucca Sea
8/16/2014	50:49.7	1.62	126.87	10	3.3	Northern Molucca Sea
8/20/2014	25:44.1	-0.22	125.01	26	3.3	Southern Molucca Sea
9/10/2014	00:05.9	-0.24	125.36	12	3.3	Southern Molucca Sea
9/19/2014	04:47.8	1.43	126.36	10	3.3	Northern Molucca Sea
9/25/2014	55:18.5	1.53	126.39	10	3.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	07:06.6	1.79	126.56	13	3.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	16:00.7	1.44	126.57	26	3.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	20:43.1	1.81	126.55	10	3.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	30:59.7	1.68	126.51	10	3.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	44:49.6	1.78	126.46	37	3.3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	38:29.4	1.84	126.52	23	3.3	Northern Molucca Sea
11/16/2014	57:17.9	1.78	126.48	12	3.3	Northern Molucca Sea
11/16/2014	45:54.1	1.63	126.44	19	3.3	Northern Molucca Sea
11/17/2014	04:00.1	1.79	126.35	10	3.3	Northern Molucca Sea
11/19/2014	29:00.3	1.87	126.46	46	3.3	Northern Molucca Sea
11/26/2014	30:09.7	2	126.64	10	3.3	Northern Molucca Sea
11/28/2014	09:45.5	1.81	126.4	16	3.3	Northern Molucca Sea
12/20/2014	44:50.2	1.69	126.55	10	3.3	Northern Molucca Sea
3/14/2014	14:42.5	1.23	126.83	31	3.2	Northern Molucca Sea
3/25/2014	12:47.2	2.28	125.75	10	3.2	Talau Islands, Indonesia
5/13/2014	53:17.7	-0.24	125.3	14	3.2	Southern Molucca Sea
5/17/2014	25:31.4	1.62	126.64	28	3.2	Northern Molucca Sea
5/17/2014	16:33.7	1.78	126.36	10	3.2	Northern Molucca Sea
5/23/2014	44:49.9	1.67	126.55	27	3.2	Northern Molucca Sea
9/10/2014	33:52.5	-0.39	125.07	31	3.2	Southern Molucca Sea
10/25/2014	54:06.9	-0.11	125.07	30	3.2	Southern Molucca Sea
11/15/2014	20:16.4	1.82	126.44	34	3.2	Northern Molucca Sea
11/17/2014	22:38.1	1.77	126.41	12	3.2	Northern Molucca Sea
11/18/2014	00:24.4	1.76	126.48	26	3.2	Northern Molucca Sea
11/19/2014	26:24.9	1.91	126.58	36	3.2	Northern Molucca Sea
11/23/2014	43:30.9	1.72	126.27	23	3.2	Northern Molucca Sea
11/26/2014	38:04.4	1.85	126.62	10	3.2	Northern Molucca Sea
12/8/2014	23:05.1	0.31	125.96	38	3.2	Northern Molucca Sea
4/11/2014	39:01.4	1.79	125.96	18	3.1	Northern Molucca Sea
5/8/2014	04:49.3	0.55	125.59	12	3.1	Northern Molucca Sea
5/27/2014	05:13.1	2.53	126.85	10	3.1	Northern Molucca Sea

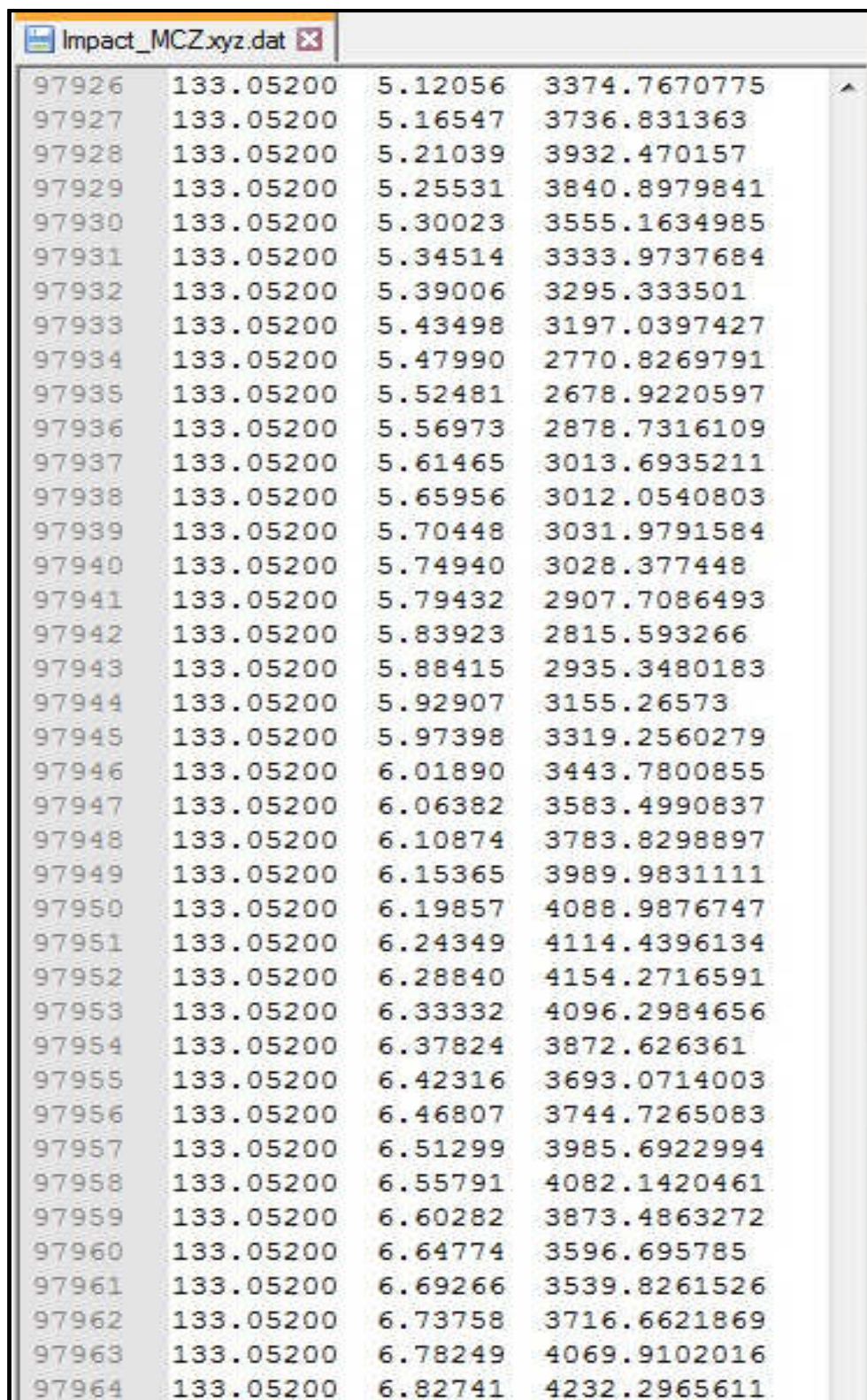
6/7/2014	55:01.7	2.1	126.99	14	3.1	Northern Molucca Sea
6/11/2014	56:07.1	0.87	126.43	11	3.1	Northern Molucca Sea
6/29/2014	09:08.6	0.63	126.2	22	3.1	Northern Molucca Sea
7/10/2014	44:08.1	1.19	126.12	10	3.1	Northern Molucca Sea
8/8/2014	20:51.2	1.14	126.25	10	3.1	Northern Molucca Sea
8/16/2014	23:49.1	1.61	126.42	11	3.1	Northern Molucca Sea
8/16/2014	25:05.7	0.97	126.23	10	3.1	Northern Molucca Sea
10/8/2014	09:05.7	0.43	125.18	11	3.1	Northern Molucca Sea
10/17/2014	15:24.7	0.93	126.9	23	3.1	Northern Molucca Sea
11/15/2014	51:39.3	1.54	126.29	10	3.1	Northern Molucca Sea
11/17/2014	30:47.8	1.6	126.51	10	3.1	Northern Molucca Sea
11/19/2014	57:28.1	1.7	126.49	35	3.1	Northern Molucca Sea
11/19/2014	54:53.5	1.8	126.42	15	3.1	Northern Molucca Sea
11/19/2014	37:34.8	1.85	126.44	34	3.1	Northern Molucca Sea
11/21/2014	12:04.4	1.9	126.83	10	3.1	Northern Molucca Sea
11/24/2014	23:01.2	1.79	126.51	49	3.1	Northern Molucca Sea
11/26/2014	18:31.4	1.96	126.57	31	3.1	Northern Molucca Sea
11/26/2014	26:28.5	1.95	126.58	10	3.1	Northern Molucca Sea
12/1/2014	15:57.4	1.26	126.14	19	3.1	Northern Molucca Sea
3/31/2014	08:18.7	0.54	126.17	10	3	Northern Molucca Sea
4/1/2014	49:39.9	1.16	127	16	3	Northern Molucca Sea
5/31/2014	00:57.2	-0.16	125.03	10	3	Southern Molucca Sea
7/31/2014	29:36.7	1.14	126.35	26	3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	14:27.5	1.84	126.57	11	3	Northern Molucca Sea
11/15/2014	47:41.7	1.8	126.54	13	3	Northern Molucca Sea
11/17/2014	14:55.9	1.8	126.51	10	3	Northern Molucca Sea
11/19/2014	06:25.4	1.93	126.44	11	3	Northern Molucca Sea
11/19/2014	48:04.2	1.73	126.5	26	3	Northern Molucca Sea
11/23/2014	20:02.3	1.88	126.54	10	3	Northern Molucca Sea
11/26/2014	09:21.4	1.75	126.57	20	3	Northern Molucca Sea
3/28/2014	03:18.8	0.48	126.18	10	2.9	Northern Molucca Sea
7/14/2014	52:59.4	1.27	126.39	29	2.9	Northern Molucca Sea
8/16/2014	47:57.9	0.61	126.78	34	2.9	Northern Molucca Sea
11/9/2014	18:40.9	-0.37	126.64	16	2.9	Southern Molucca Sea
11/15/2014	17:06.6	1.72	126.38	10	2.9	Northern Molucca Sea
11/17/2014	03:47.2	1.88	126.5	10	2.9	Northern Molucca Sea
11/19/2014	22:30.2	1.7	126.3	30	2.9	Northern Molucca Sea
11/19/2014	13:52.7	1.72	126.48	10	2.9	Northern Molucca Sea
11/24/2014	33:17.5	1.85	126.57	10	2.9	Northern Molucca Sea
3/18/2014	08:55.8	0.52	125.98	10	2.8	Northern Molucca Sea
5/23/2014	22:22.7	0.05	125.71	10	2.8	Northern Molucca Sea
6/2/2014	35:12.6	0.43	126.61	10	2.8	Northern Molucca Sea
3/25/2014	46:25.7	1.63	126.68	24	2.7	Northern Molucca Sea
5/23/2014	49:33.2	1.62	126.53	10	2.4	Northern Molucca Sea

Lampiran 4.2. Data Event Gempabumi GFZ

Origin Time UTC	Mag	Latitude degrees	Longitude degrees	Depth km	A M	Fliinn-Engdahl Region Name
2017-06-27 14:55:29	5.0	1.47°N	126.82°E	80	M	Northern Molucca Sea
2017-03-29 03:30:26	5.0	2.82°N	126.12°E	128	C MT	Northern Molucca Sea
2017-01-14 11:41:17	5.3	1.28°N	126.41°E	17	M MT	Northern Molucca Sea
2016-10-27 08:17:51	5.7	1.42°N	125.76°E	82	C MT	Northern Molucca Sea
2016-10-19 04:54:51	5.0	1.05°N	126.19°E	56	C	Northern Molucca Sea
2016-06-19 05:00:15	5.1	1.02°N	126.21°E	61	C MT	Northern Molucca Sea
2016-06-07 19:15:17	6.3	1.36°N	126.34°E	47	C MT	Northern Molucca Sea
2016-03-29 09:18:13	5.3	2.42°N	126.16°E	78	C MT	Northern Molucca Sea
2016-03-13 15:20:19	5.0	1.08°N	126.29°E	27	M MT	Northern Molucca Sea
2015-11-25 18:57:44	5.6	1.46°N	126.32°E	51	C MT	Northern Molucca Sea
2015-10-18 13:00:22	5.1	2.83°N	126.66°E	64	C	Northern Molucca Sea
2015-10-02 15:51:55	5.1	1.26°N	125.07°E	126	C MT	Northern Molucca Sea
2015-09-16 07:40:59	6.2	1.95°N	126.55°E	47	C MT	Northern Molucca Sea
2015-09-03 13:24:01	5.4	2.09°N	126.72°E	65	C MT	Northern Molucca Sea
2015-05-20 17:20:46	5.3	1.85°N	126.43°E	56	C MT	Northern Molucca Sea
2015-04-11 05:00:45	5.5	2.14°N	126.72°E	60	C MT	Northern Molucca Sea
2015-03-29 07:50:55	5.6	1.67°N	126.50°E	43	M MT	Northern Molucca Sea
2015-03-27 13:56:25	5.2	1.51°N	126.32°E	57	M MT	Northern Molucca Sea
2015-03-24 14:50:27	5.2	2.09°N	126.66°E	23	M MT	Northern Molucca Sea
2015-03-19 10:06:00	5.2	1.97°N	126.40°E	39	M MT	Northern Molucca Sea
2015-03-17 22:12:29	6.2	1.75°N	126.46°E	38	M MT	Northern Molucca Sea
2015-02-25 03:02:40	5.1	1.83°N	126.35°E	30	M MT	Northern Molucca Sea
2015-01-25 09:20:55	5.1	1.11°N	126.36°E	23	M MT	Northern Molucca Sea
2014-12-21 14:18:43	5.1	2.28°N	126.72°E	52	C MT	Northern Molucca Sea
2014-12-21 13:40:42	5.3	2.10°N	126.62°E	44	C MT	Northern Molucca Sea
2014-12-21 11:34:12	6.3	2.24°N	126.59°E	29	M MT	Northern Molucca Sea
2014-12-09 03:09:26	5.7	1.58°N	126.30°E	53	C MT	Northern Molucca Sea
2014-12-08 07:35:58	5.1	1.99°N	126.40°E	59	C MT	Northern Molucca Sea
2014-12-08 01:28:18	5.2	1.77°N	126.98°E	113	M MT	Northern Molucca Sea
2014-12-05 15:39:06	5.2	2.00°N	126.60°E	62	C MT	Northern Molucca Sea
2014-11-26 14:49:51	5.6	2.01°N	126.53°E	35	M MT	Northern Molucca Sea
2014-11-26 14:48:32	5.2	2.02°N	126.52°E	35	M	Northern Molucca Sea
2014-11-26 14:33:45	6.7	1.97°N	126.53°E	51	M MT	Northern Molucca Sea
2014-11-18 04:47:21	5.6	1.94°N	126.40°E	59	C MT	Northern Molucca Sea
2014-11-15 11:12:06	5.3	1.86°N	126.53°E	51	C MT	Northern Molucca Sea
2014-11-15 09:48:00	5.3	1.90°N	126.50°E	45	M MT	Northern Molucca Sea
2014-11-15 04:06:07	5.6	1.91°N	126.53°E	50	C MT	Northern Molucca Sea
2014-11-15 02:31:43	7.0	1.98°N	126.48°E	53	C MT	Northern Molucca Sea

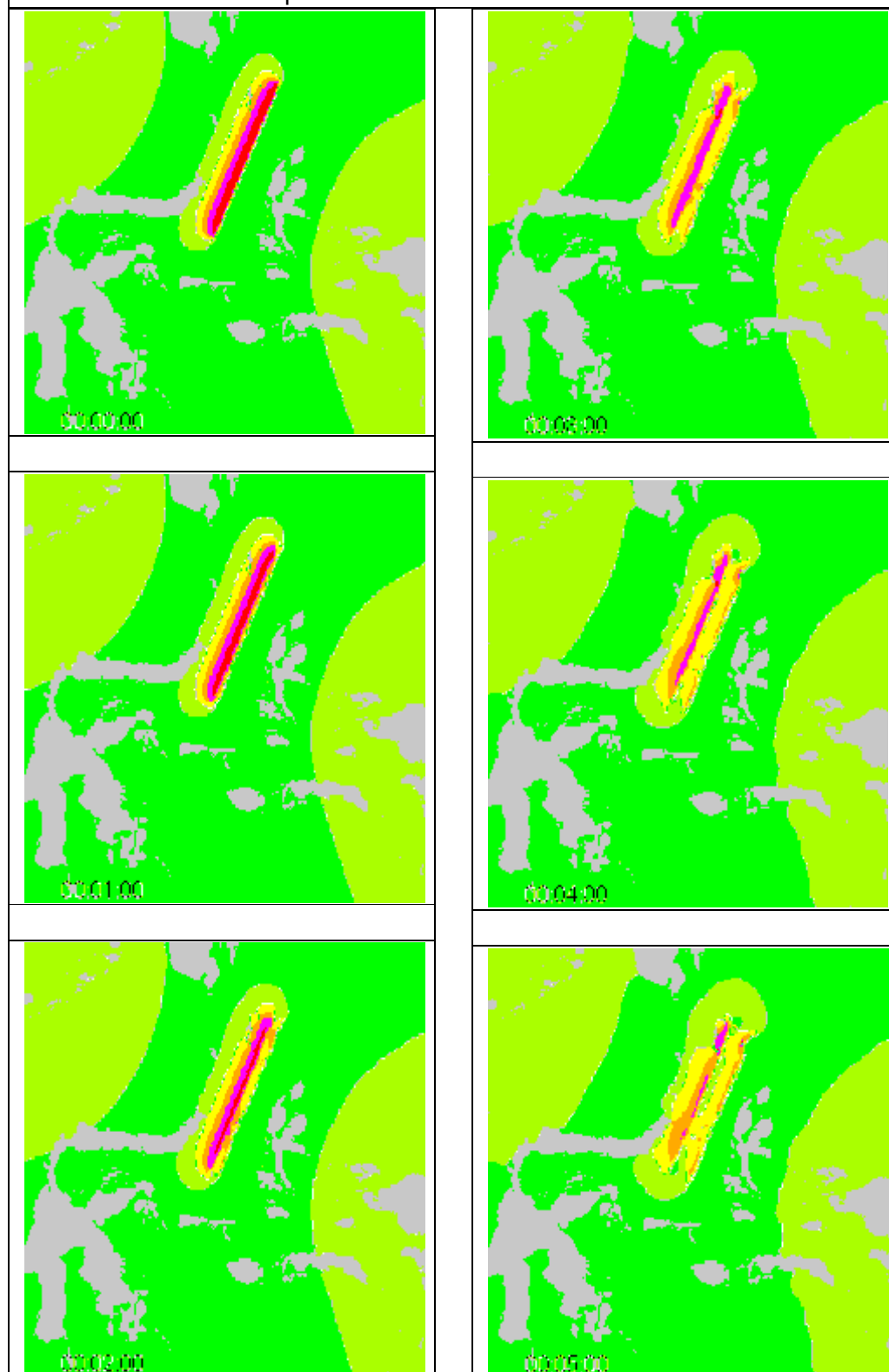
Lampiran 4.3. Hasil Parameter Database Gempabumi GFZ

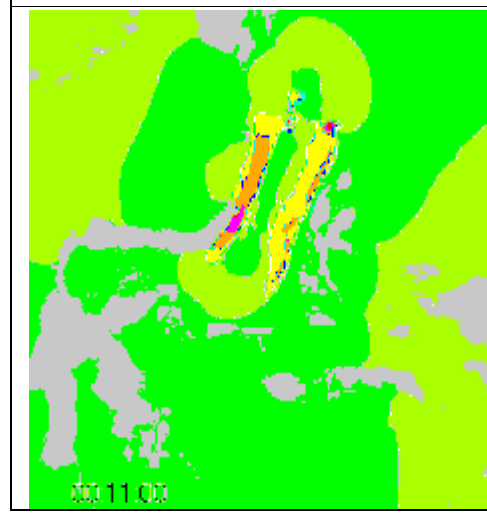
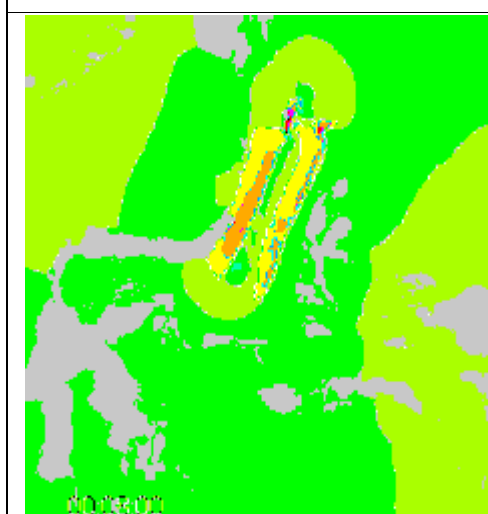
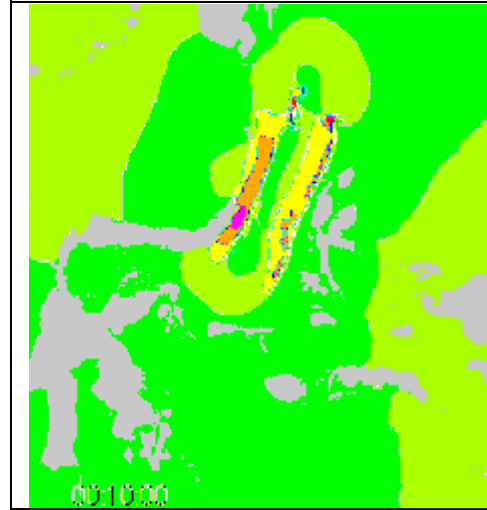
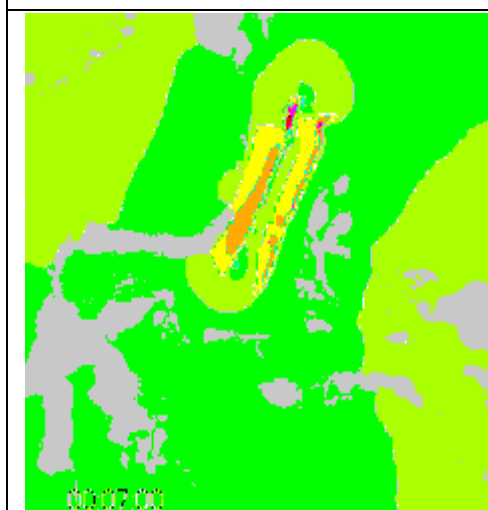
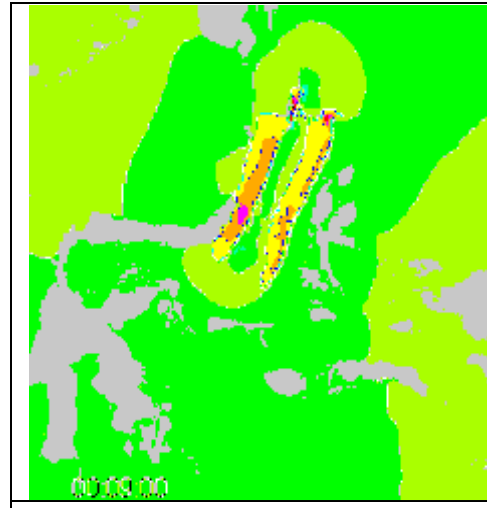
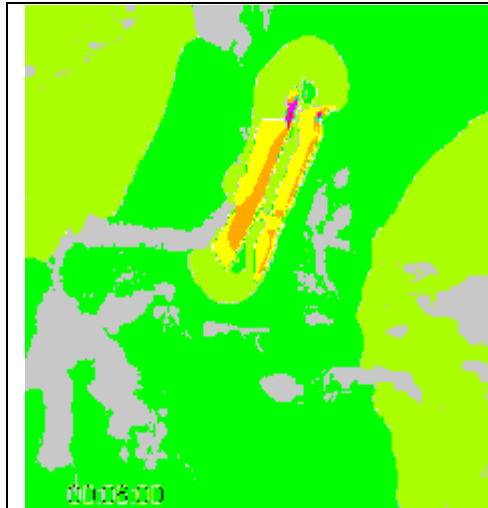


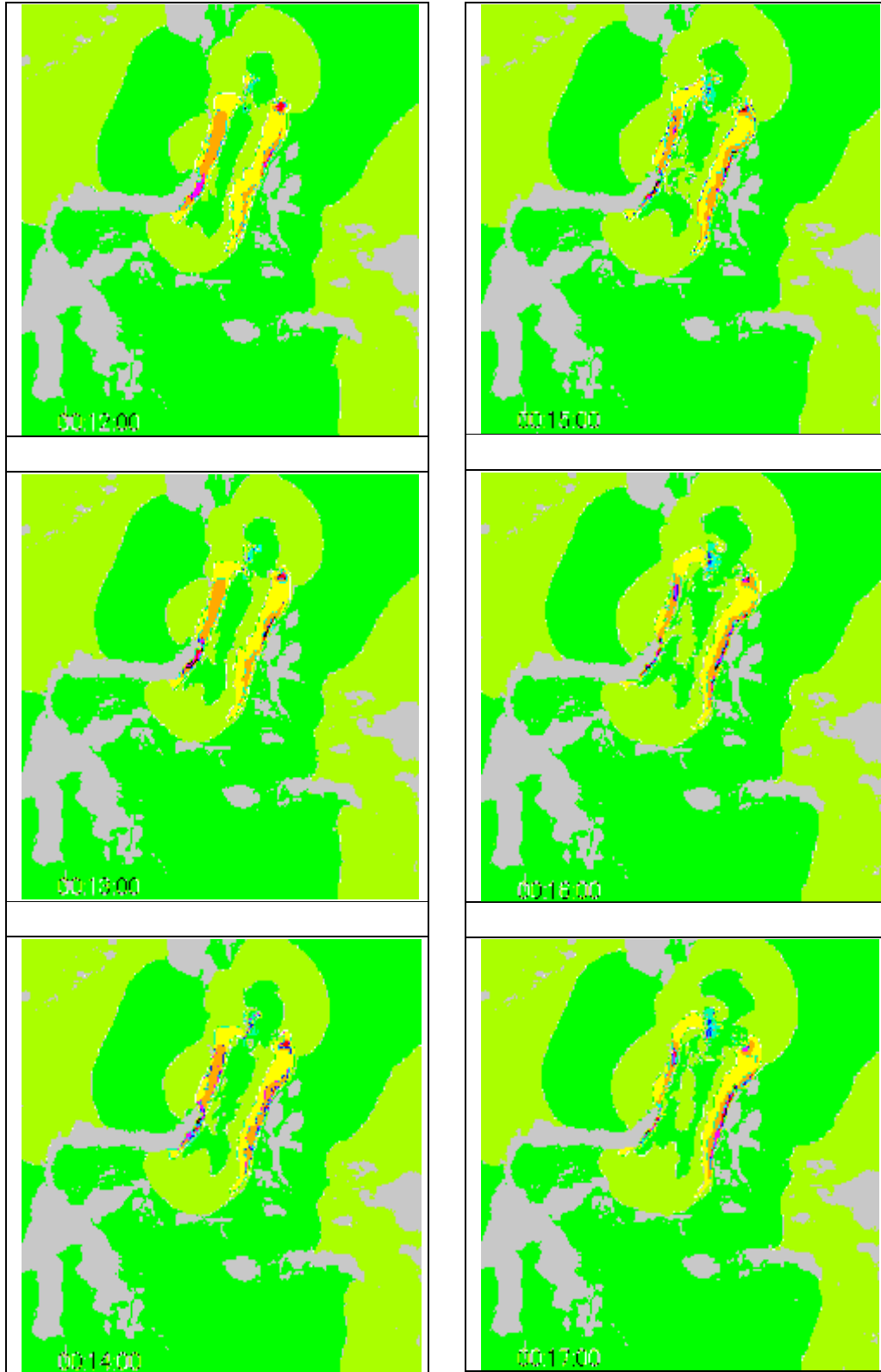
Lampiran 4.5. Cuplikan Tabel Data Topography (Bathymetri) *Impact_MCZ*

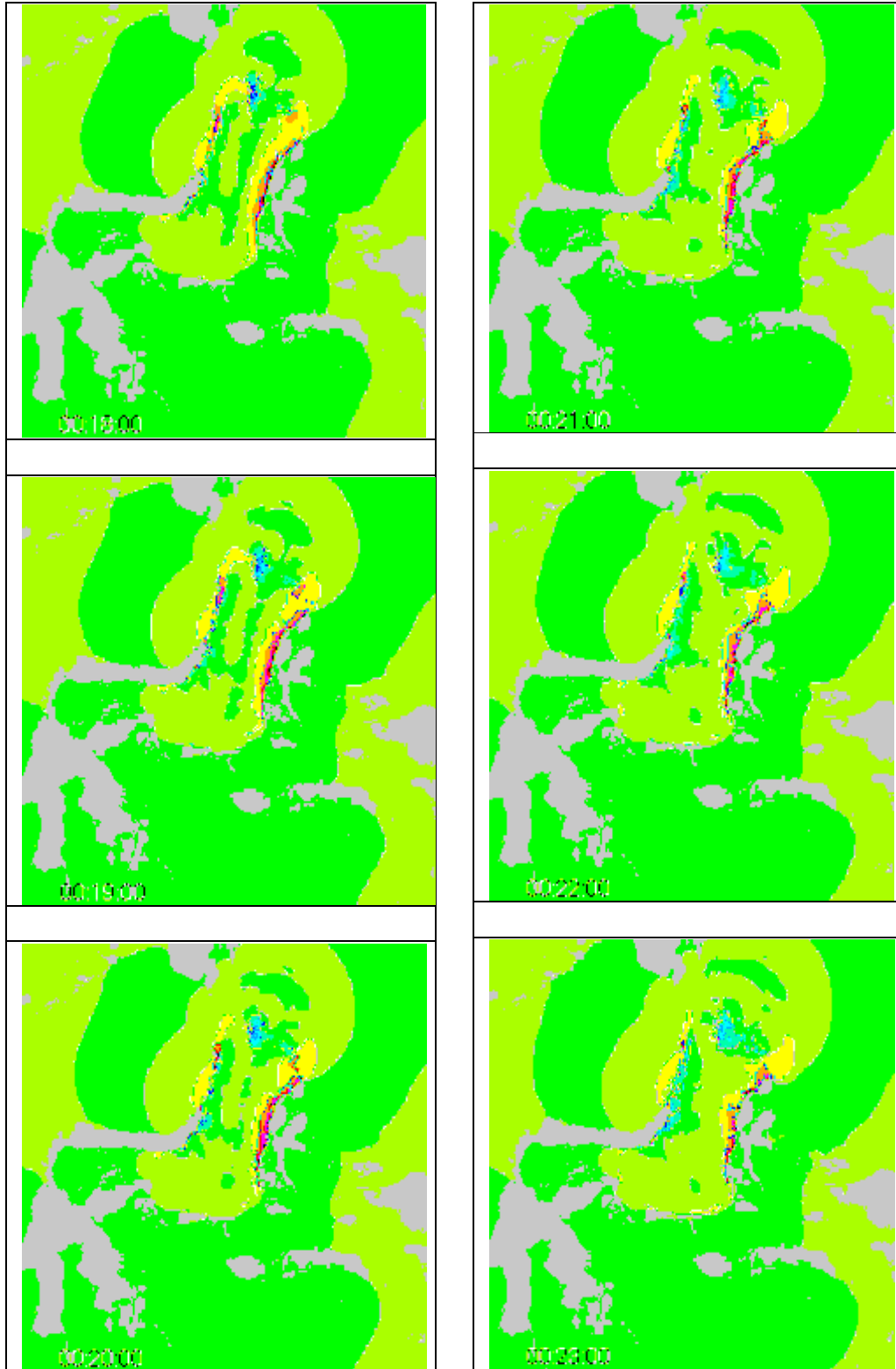
ID	X	Y	Z
97926	133.05200	5.12056	3374.7670775
97927	133.05200	5.16547	3736.831363
97928	133.05200	5.21039	3932.470157
97929	133.05200	5.25531	3840.8979841
97930	133.05200	5.30023	3555.1634985
97931	133.05200	5.34514	3333.9737684
97932	133.05200	5.39006	3295.333501
97933	133.05200	5.43498	3197.0397427
97934	133.05200	5.47990	2770.8269791
97935	133.05200	5.52481	2678.9220597
97936	133.05200	5.56973	2878.7316109
97937	133.05200	5.61465	3013.6935211
97938	133.05200	5.65956	3012.0540803
97939	133.05200	5.70448	3031.9791584
97940	133.05200	5.74940	3028.377448
97941	133.05200	5.79432	2907.7086493
97942	133.05200	5.83923	2815.593266
97943	133.05200	5.88415	2935.3480183
97944	133.05200	5.92907	3155.26573
97945	133.05200	5.97398	3319.2560279
97946	133.05200	6.01890	3443.7800855
97947	133.05200	6.06382	3583.4990837
97948	133.05200	6.10874	3783.8298897
97949	133.05200	6.15365	3989.9831111
97950	133.05200	6.19857	4088.9876747
97951	133.05200	6.24349	4114.4396134
97952	133.05200	6.28840	4154.2716591
97953	133.05200	6.33332	4096.2984656
97954	133.05200	6.37824	3872.626361
97955	133.05200	6.42316	3693.0714003
97956	133.05200	6.46807	3744.7265083
97957	133.05200	6.51299	3985.6922994
97958	133.05200	6.55791	4082.1420461
97959	133.05200	6.60282	3873.4863272
97960	133.05200	6.64774	3596.695785
97961	133.05200	6.69266	3539.8261526
97962	133.05200	6.73758	3716.6621869
97963	133.05200	6.78249	4069.9102016
97964	133.05200	6.82741	4232.2965611

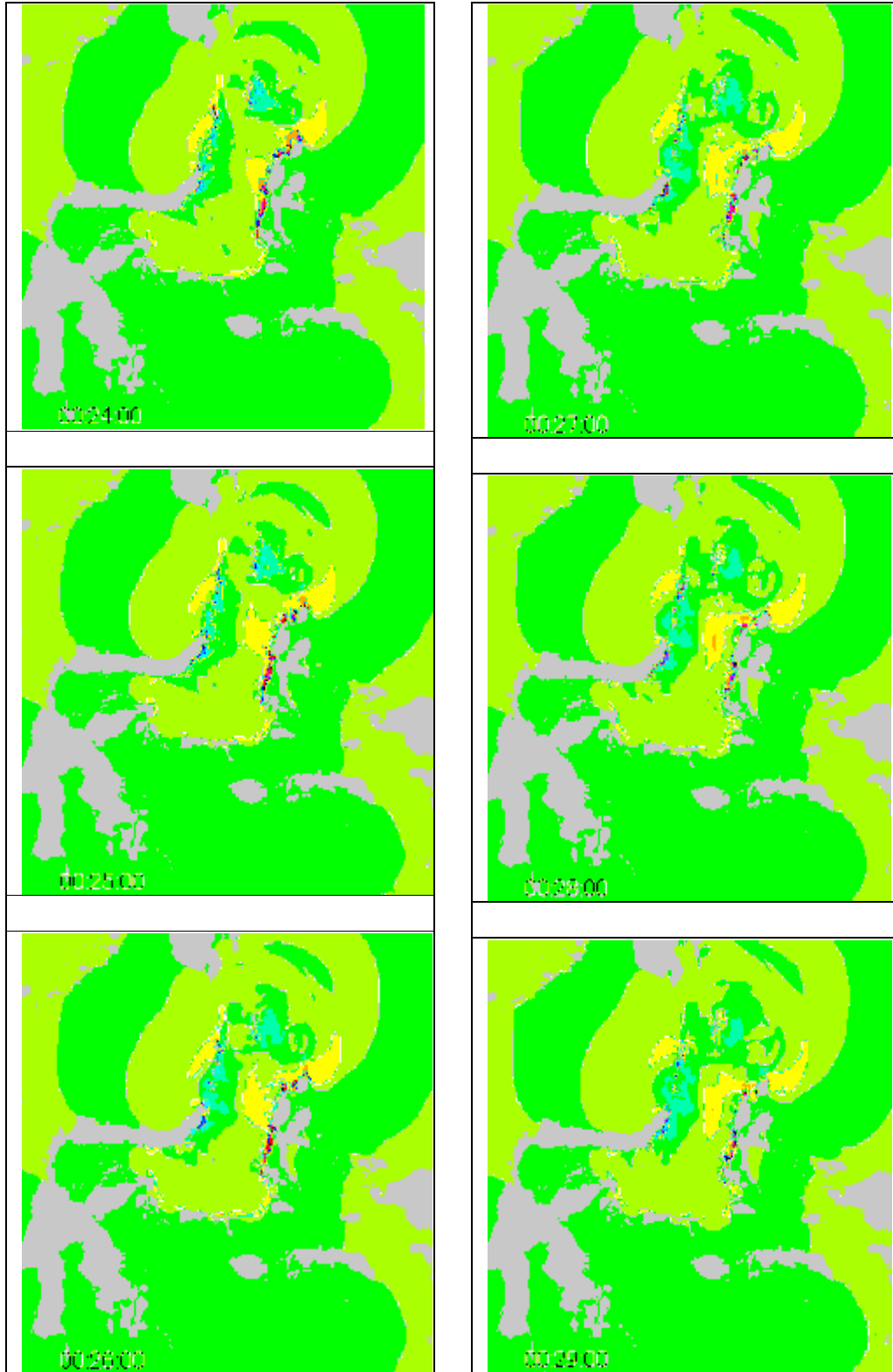
Lampiran 4.6. Hasil Simulasi Tsunami

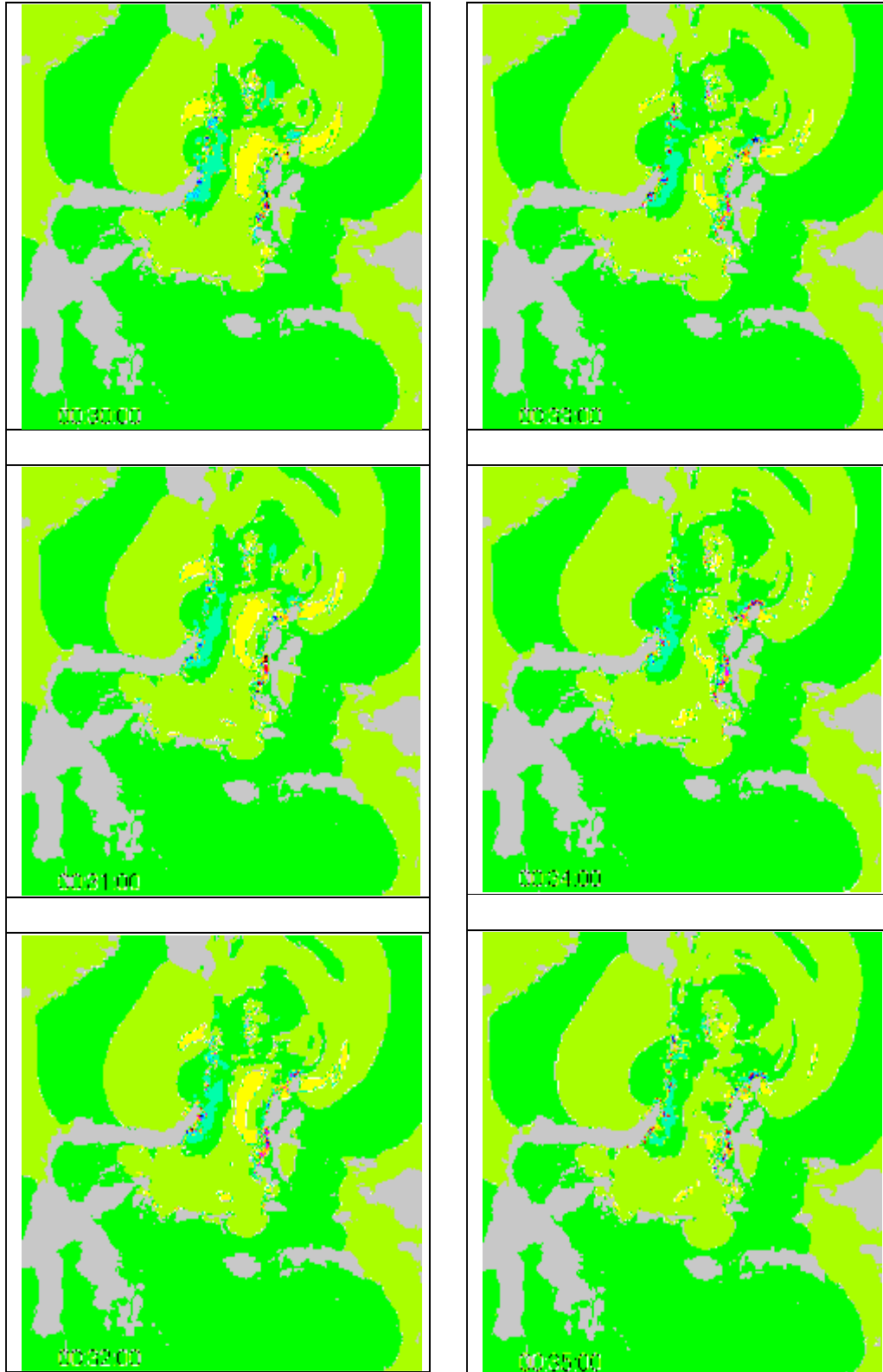


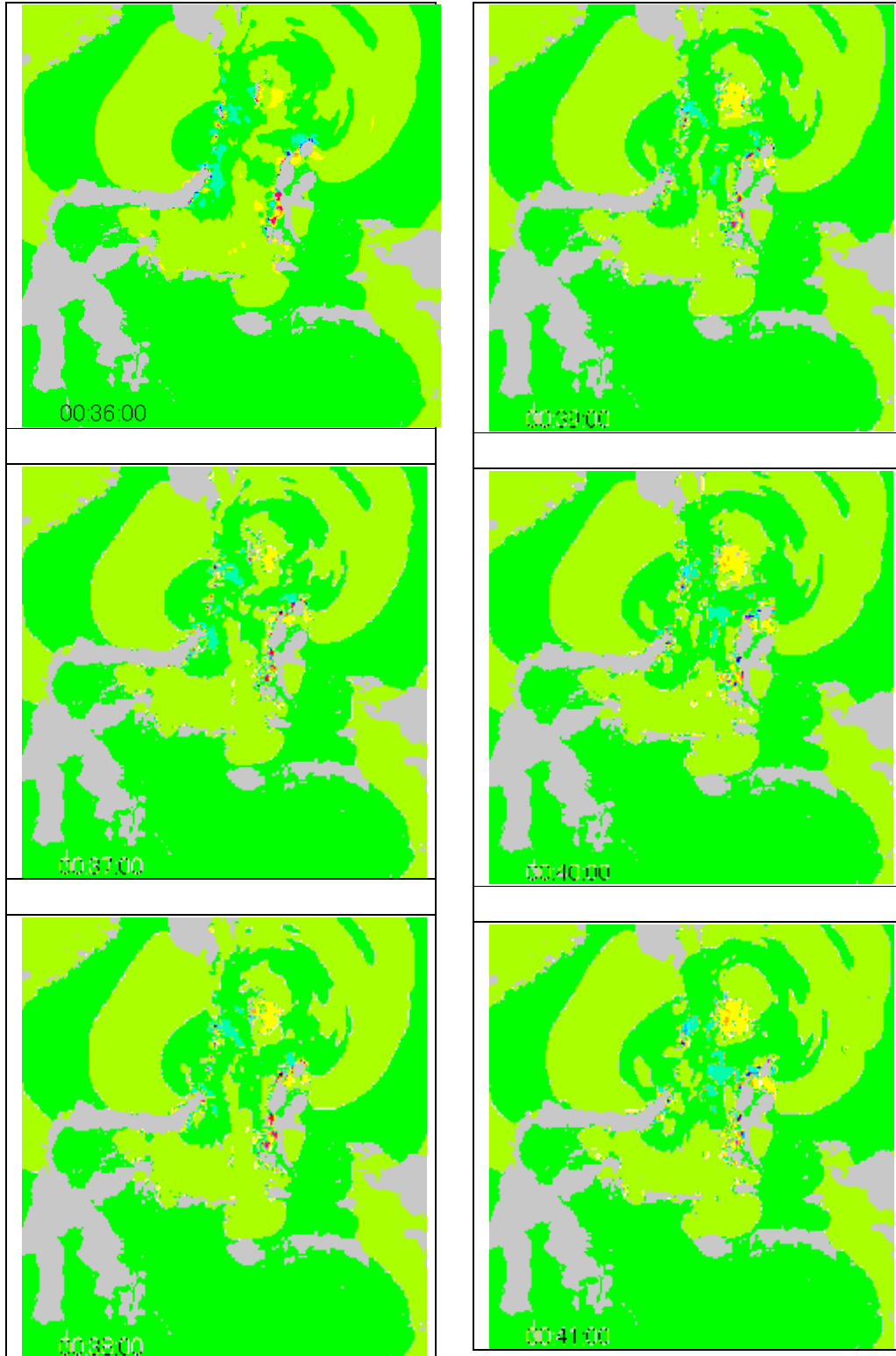


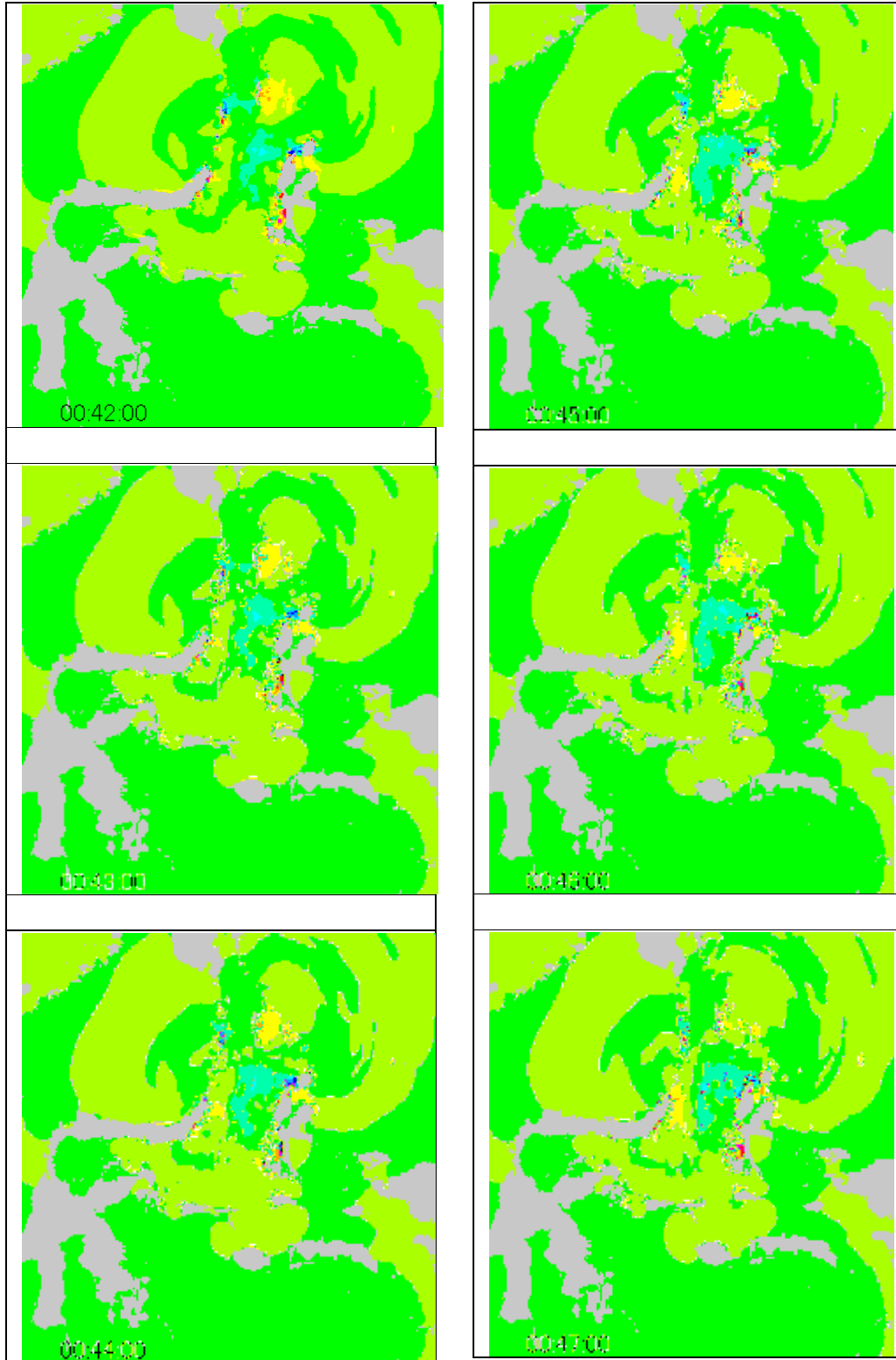


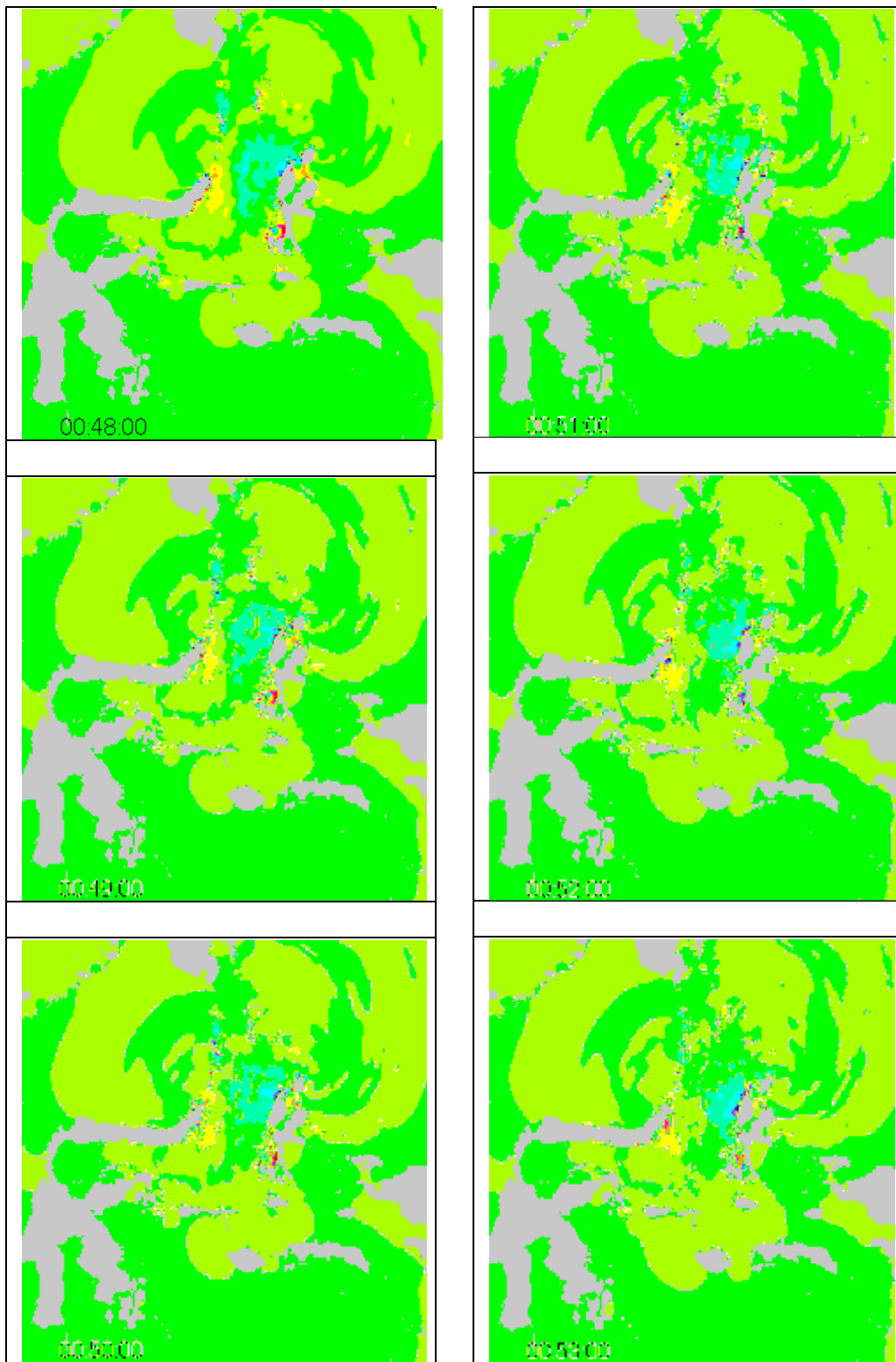


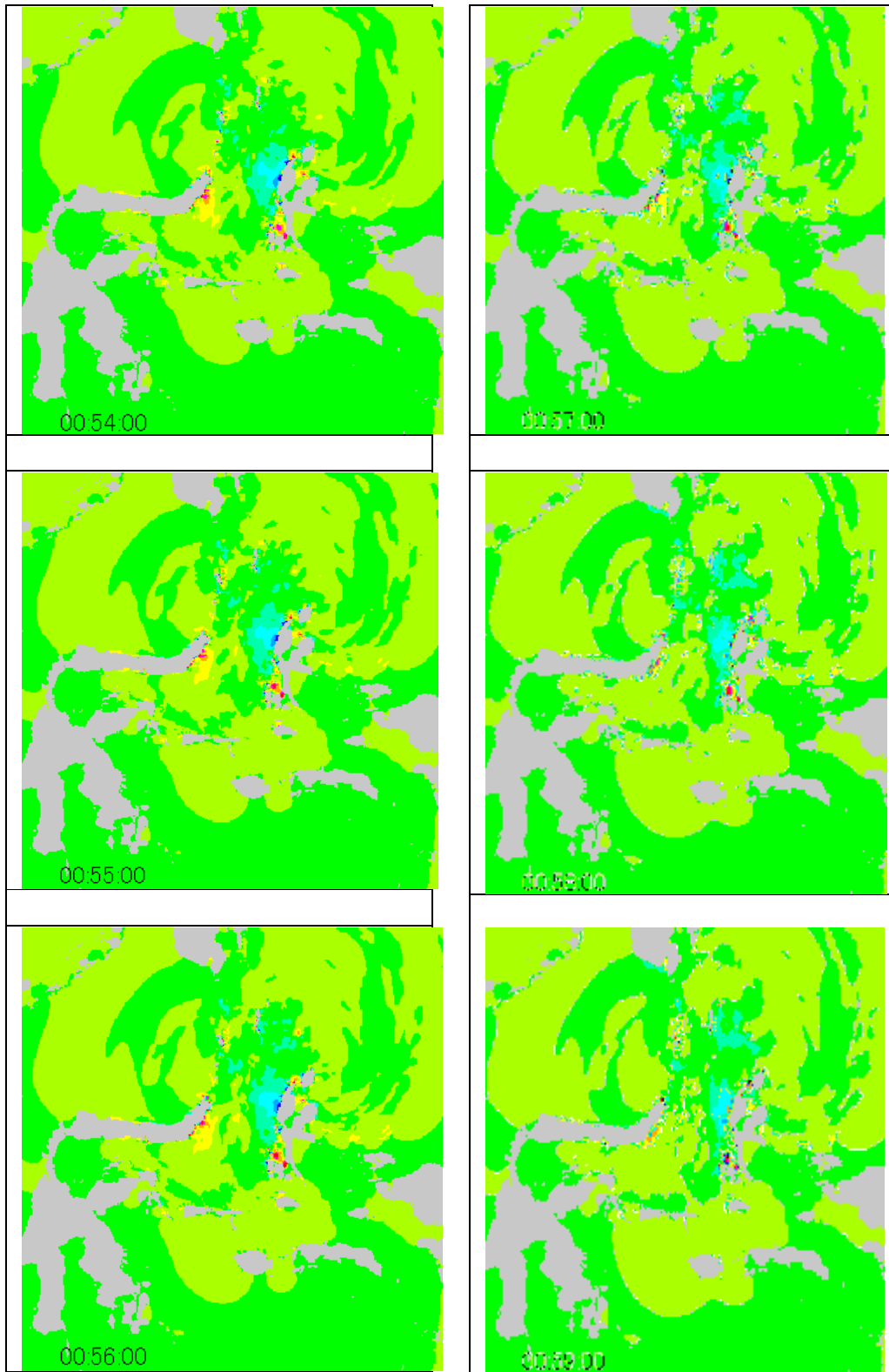


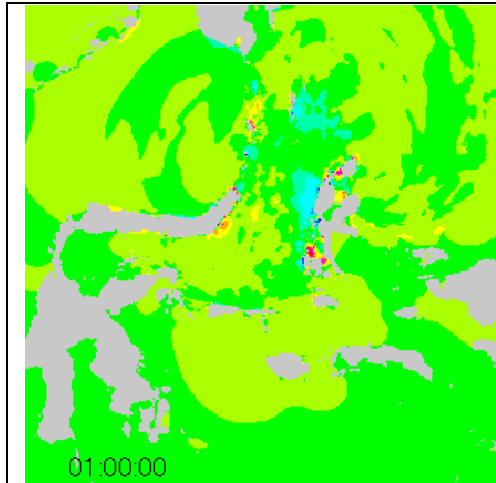












Lampiran 4.7. Data Digitasi Dampak Run-up di Sulawesi Utara

Long	Lat	Run-Up	Long	Lat	Run-Up
125.68558	3.41371	18.23	126.89834	4.22221	9.14
124.65248	0.71867	17.99	126.85343	3.90779	9.03
125.19149	1.61702	17.95	125.23641	1.61702	9.01
124.74232	0.89834	15.90	124.02364	0.40425	8.83
125.10166	1.34752	15.43	125.73050	3.50354	8.76
125.19149	1.43735	15.40	126.85343	3.95271	8.69
124.92199	0.98818	14.59	126.89834	3.81796	8.63
125.59575	3.68321	14.07	126.85343	3.77304	8.61
125.01182	1.07801	13.91	125.10166	1.75177	8.40
125.14657	1.39243	13.58	126.94326	4.31205	8.38
124.87707	0.98818	13.12	125.19149	1.70685	8.36
124.78724	0.89834	12.56	126.89834	3.86288	8.32
125.46099	2.73995	12.45	126.89834	3.90779	8.14
124.56265	0.58392	12.42	126.94326	4.35697	8.10
126.76359	3.99763	12.08	125.59575	3.72813	7.94
125.10166	1.30260	11.84	126.89834	3.77304	7.85
124.83215	0.94326	11.50	124.74232	0.80851	7.79
126.76359	3.86288	11.45	126.89834	4.44680	7.74
126.80851	3.95271	11.40	125.14657	1.70685	7.67
124.96691	1.03309	11.38	127.21276	4.71630	7.55
124.69740	0.80851	11.18	125.64066	3.63829	7.44
125.55083	3.09928	10.77	125.73050	3.45862	7.40
125.64066	3.23404	10.77	125.64066	3.68321	7.35
125.64066	3.59337	10.74	125.28133	1.61702	7.24
125.05674	1.16785	10.68	125.32624	1.57210	7.09
125.10166	1.25768	10.47	125.32624	1.52718	7.07
126.80851	4.04255	10.17	124.60757	0.62884	6.98
125.05674	1.12293	10.10	126.89834	4.49172	6.92
126.89834	4.26713	9.98	125.59575	3.09928	6.78
126.85343	4.13238	9.97	127.21276	4.67139	6.73
125.10166	1.21276	9.97	125.32624	1.61702	6.70
125.10166	1.70685	9.83	125.59575	3.14420	6.64
126.80851	3.99763	9.64	125.41608	2.33569	6.60
126.85343	4.08746	9.61	124.56265	0.53901	6.48
125.68558	3.54846	9.60	125.68558	3.32387	6.46
125.28133	1.43735	9.42	125.64066	3.32387	6.42
125.19149	1.66194	9.26	126.71867	3.95271	6.38
125.64066	3.27895	9.23	125.73050	3.27895	6.29
126.80851	4.26713	9.23	125.68558	3.27895	6.27
126.89834	4.40188	9.19	125.73050	3.23404	6.23

Long	Lat	Run-Up
127.25768	4.67139	6.09
125.50591	2.73995	6.07
125.50591	2.78486	5.92
124.87707	1.52718	5.91
125.59575	3.41371	5.77
125.50591	2.38061	5.76
125.46099	2.33569	5.73
126.76359	4.49172	5.71
125.77541	3.54846	5.66
127.21276	4.76122	5.56
125.37116	2.38061	5.56
125.50591	2.82978	5.44
126.76359	4.31205	5.44
125.50591	3.09928	5.41
125.50591	2.42553	5.39
127.25768	4.71630	5.36
125.46099	2.42553	5.26
124.06856	0.40425	5.11
124.96691	1.75177	5.09
125.55083	3.14420	5.07
125.41608	2.42553	4.90
127.25768	4.76122	4.80
126.76359	3.81796	4.80
124.51773	0.44917	4.76
125.05674	1.79669	4.72
124.92199	1.66194	4.69
125.50591	2.87470	4.47
125.55083	3.77304	4.47
126.71867	4.35697	4.37
124.83215	1.52718	4.34
126.71867	4.40188	4.25
125.50591	3.59337	4.20
125.41608	2.73995	4.11
124.78724	1.52718	3.92
125.50591	3.63829	3.86
123.30497	0.98818	3.77
123.79906	0.89834	3.77
124.60757	1.25768	3.74
123.84398	0.89834	3.73
125.46099	2.87470	3.69
125.50591	3.77304	3.60
123.61939	0.94326	3.54

Long	Lat	Run-Up
123.93381	0.89834	3.52
126.85343	4.58155	3.51
124.87707	1.66194	3.50
123.88889	0.89834	3.45
124.29315	0.40425	3.44
123.12530	0.98818	3.37
126.80851	4.58155	3.29
124.60757	1.30260	3.26
124.83215	1.61702	3.21
123.48464	0.94326	3.20
123.34989	0.31442	3.18
123.66431	0.94326	3.16
123.57447	0.94326	3.13
123.61939	0.31442	3.09
123.57447	0.31442	3.07
124.24823	1.03309	3.05
123.34989	0.98818	3.04
123.30497	0.31442	3.02
124.69740	1.43735	2.98
124.74232	1.48227	2.98
123.52956	0.94326	2.95
123.43972	0.31442	2.94
123.52956	0.31442	2.94
123.21514	1.03309	2.88
123.66431	0.31442	2.88
123.48464	0.31442	2.87
123.88889	0.35934	2.85
124.02364	0.94326	2.83
123.39480	0.98818	2.81
123.26005	1.03309	2.81
123.70922	0.94326	2.77
125.50591	3.50354	2.74
124.56265	1.25768	2.68
123.84398	0.35934	2.68
123.70922	0.31442	2.66
125.46099	3.54846	2.66
125.41608	3.72813	2.63
123.97873	0.94326	2.62
123.17022	1.03309	2.62
124.20331	1.03309	2.61
124.38298	1.16785	2.57
123.93381	0.35934	2.57

Long	Lat	Run-Up
125.46099	3.77304	2.54
124.65248	1.43735	2.54
124.56265	1.30260	2.52
124.15840	0.98818	2.50
123.43972	0.98818	2.49
124.29315	1.07801	2.41
124.24823	1.07801	2.38
124.51773	1.25768	2.36

Long	Lat	Run-Up
124.33806	1.12293	2.35
124.11348	0.98818	2.31
123.48464	0.98818	2.27
124.47282	1.25768	2.24
124.06856	0.98818	2.20
124.60757	1.43735	2.01
124.56265	1.39243	1.92
124.56265	1.43735	1.83

Lampiran 4.8 Data Digitasi Dampak Run-up di Sulawesi Tengah

Long	Lat	Run-Up	Long	Lat	Run-Up
123.57447	-1.43735	5.02	123.43972	-0.58392	2.93
123.61939	-1.52718	5.00	123.26005	-1.16785	2.93
123.43972	-0.62884	4.95	123.66431	-1.52718	2.91
122.85580	-0.58392	4.73	123.43972	-0.94326	2.86
123.57447	-1.39243	4.29	123.39480	-1.12293	2.84
123.26005	-0.53901	4.10	122.27187	1.07801	2.81
123.48464	-1.21276	4.07	123.57447	-1.21276	2.79
122.81088	-0.58392	4.06	123.39480	-0.53901	2.78
122.94563	-0.53901	3.90	123.48464	-0.80851	2.71
123.57447	-1.34752	3.87	123.61939	-1.70685	2.67
123.61939	-1.43735	3.85	123.48464	-0.85343	2.65
122.99055	-0.53901	3.83	123.61939	-1.25768	2.63
123.03547	-0.53901	3.80	123.30497	-1.16785	2.63
123.66431	-1.61702	3.79	122.58629	-0.26950	2.63
122.90072	-0.53901	3.79	123.79906	-1.79669	2.61
123.61939	-1.48227	3.74	123.43972	-0.53901	2.54
123.70922	-1.84160	3.57	123.34989	-1.03309	2.52
123.39480	-1.16785	3.56	121.77779	1.12293	2.51
123.66431	-1.57210	3.49	121.73287	1.12293	2.50
122.54138	-0.26950	3.48	121.82270	1.12293	2.48
123.12530	-0.49409	3.47	121.68795	1.12293	2.46
123.66431	-1.66194	3.44	123.26005	-1.25768	2.44
123.30497	-0.53901	3.41	121.64303	1.12293	2.42
123.43972	-1.16785	3.39	123.61939	-1.21276	2.42
123.17022	-0.49409	3.38	123.75414	-1.88652	2.40
123.52956	-1.21276	3.38	123.84398	-1.79669	2.40
123.30497	-1.21276	3.26	121.59812	1.12293	2.37
123.48464	-0.71867	3.25	121.95745	1.12293	2.35
123.21514	-0.49409	3.23	123.84398	-1.84160	2.34
122.00237	1.07801	3.22	121.50828	1.16785	2.27
123.43972	-0.85343	3.18	122.63121	-0.26950	2.26
123.34989	-0.53901	3.07	121.55320	1.12293	2.25
123.26005	-0.49409	3.06	121.46337	1.25768	2.24
122.22696	1.07801	3.05	122.04729	1.12293	2.23
123.75414	-1.84160	3.04	121.55320	1.16785	2.21
123.48464	-0.67376	3.02	122.63121	-0.31442	2.19
123.30497	-1.30260	2.98	123.26005	-1.12293	2.16
123.39480	-0.98818	2.98	122.09221	1.12293	2.15
123.43972	-0.89834	2.98	123.30497	-1.03309	2.14
123.48464	-1.16785	2.98	122.13712	-0.22459	2.14

Long	Lat	Run-Up
122.13712	-0.04492	2.13
123.88889	-1.88652	2.09
122.18204	-0.04492	2.09
122.13712	1.12293	2.09
121.50828	1.21276	2.09
122.18204	1.12293	2.09
122.63121	-0.71867	2.08
121.46337	1.21276	2.07
122.67613	-0.71867	2.06
122.27187	-0.17967	2.06
123.08038	-0.85343	2.06
122.40663	-0.26950	2.05
122.54138	-0.58392	2.05
123.30497	-1.25768	2.04
123.17022	-0.85343	2.03
121.23878	1.30260	2.02
122.85580	-0.89834	2.02
121.86762	1.16785	2.01
122.31679	-0.17967	2.01
123.03547	-0.85343	2.01
122.58629	-0.71867	2.00
121.95745	1.16785	2.00
122.72105	-0.71867	1.99
121.91254	1.16785	1.96
122.22696	-0.17967	1.95
122.76596	-0.71867	1.93
121.37353	1.30260	1.90
123.12530	-0.85343	1.89
123.21514	-1.12293	1.88
121.41845	1.30260	1.88
121.28370	1.30260	1.87
121.32861	1.30260	1.86
122.36171	-0.31442	1.85
122.54138	-0.71867	1.82
121.50828	1.30260	1.82
122.40663	-0.22459	1.79
122.81088	-0.71867	1.79
122.18204	-0.17967	1.79
122.36171	-0.17967	1.78
122.13712	-0.17967	1.78
121.14895	1.34752	1.77
122.58629	-0.58392	1.76

Long	Lat	Run-Up
122.36171	-0.44917	1.74
123.93381	-1.88652	1.73
122.58629	-0.62884	1.71
123.26005	-1.03309	1.71
122.90072	-0.89834	1.70
121.19386	1.34752	1.70
122.85580	-0.94326	1.69
123.93381	-1.97636	1.68
123.26005	-0.98818	1.67
122.81088	-0.98818	1.66
123.93381	-1.93144	1.64
122.40663	-0.17967	1.61
123.17022	-1.12293	1.59
122.67613	-1.12293	1.59
121.46337	1.34752	1.57
122.45154	-0.44917	1.57
122.58629	-1.25768	1.56
122.94563	-0.89834	1.56
122.09221	-0.17967	1.54
122.31679	-0.31442	1.54
121.50828	1.34752	1.54
122.27187	-0.22459	1.52
122.09221	-0.22459	1.52
122.45154	-0.40425	1.51
123.17022	-0.89834	1.50
122.76596	-0.62884	1.50
122.40663	-0.40425	1.49
123.21514	-0.94326	1.46
121.10403	1.39243	1.46
122.63121	-1.21276	1.45
122.94563	-1.12293	1.38
122.72105	-1.12293	1.37
123.12530	-1.12293	1.36
122.90072	-1.16785	1.36
122.67613	-1.16785	1.36
122.76596	-1.07801	1.35
122.09221	-0.04492	1.34
121.01419	1.39243	1.33
122.99055	-1.12293	1.32
122.85580	-1.21276	1.30
120.96928	1.39243	1.26
122.85580	-0.71867	1.22

Long	Lat	Run-Up
123.08038	-1.12293	1.19
123.03547	-1.12293	1.19
123.08038	-1.07801	1.13
120.92436	1.39243	1.09
122.85580	-0.67376	1.01
122.49646	-0.67376	0.98
120.87944	1.39243	0.91
120.83453	1.39243	0.77
120.83453	1.34752	0.69
120.83453	1.30260	0.45
122.36171	-0.49409	0.30
120.83453	1.25768	0.25
122.90072	-0.71867	0.25
120.78961	1.12293	0.04

Lampiran 4.9 Data Digitasi Dampak Run-up di Maluku Utara Blok I

Long	Lat	Run-Up	Long	Lat	Run-Up
127.43735	-1.39243	6.61	124.33806	-1.66194	3.47
127.39243	-1.30260	6.48	124.74232	-1.61702	3.46
127.43735	-1.61702	6.31	127.75177	-1.30260	3.43
127.57210	-1.34752	6.09	127.66194	-1.16785	3.42
127.66194	-1.30260	5.99	127.52718	-1.70685	3.41
127.39243	-1.57210	5.61	125.59575	-1.75177	3.39
127.48227	-1.66194	5.52	125.64066	-1.75177	3.35
127.39243	-1.52718	5.45	124.56265	-1.57210	3.28
127.43735	-1.34752	5.28	125.50591	-1.75177	3.27
127.39243	-1.39243	5.21	127.70685	-1.25768	3.25
127.30260	-1.39243	4.98	126.35934	-1.75177	3.23
127.34752	-1.30260	4.90	127.48227	-1.12293	3.22
127.39243	-1.48227	4.68	124.33806	-1.70685	3.20
126.22459	-1.75177	4.31	125.46099	-1.75177	3.16
127.43735	-1.12293	4.28	124.47282	-1.57210	3.13
125.73050	-1.75177	4.21	125.41608	-1.75177	3.12
127.39243	-1.61702	4.18	127.84160	-1.34752	3.11
125.77541	-1.75177	4.17	127.48227	-1.70685	3.09
127.57210	-1.30260	4.13	124.42790	-1.57210	3.06
126.17967	-1.75177	4.12	128.06619	-1.48227	3.04
126.00000	-1.75177	4.10	125.10166	-1.66194	3.02
126.26950	-1.75177	4.09	125.05674	-1.61702	3.01
125.82033	-1.75177	3.99	124.78724	-1.61702	2.99
127.43735	-1.30260	3.97	127.34752	-1.43735	2.93
127.48227	-1.34752	3.92	126.35934	-1.79669	2.90
126.04492	-1.75177	3.89	124.83215	-1.61702	2.89
127.61702	-1.30260	3.83	124.60757	-1.57210	2.87
127.48227	-1.16785	3.82	125.19149	-1.66194	2.83
127.39243	-1.43735	3.78	124.87707	-1.61702	2.75
126.13475	-1.75177	3.75	126.00000	-1.70685	2.71
126.31442	-1.75177	3.74	125.28133	-1.75177	2.70
127.43735	-1.66194	3.72	126.04492	-1.88652	2.68
124.51773	-1.57210	3.70	124.96691	-1.61702	2.65
127.70685	-1.66194	3.68	127.75177	-1.25768	2.59
124.38298	-1.61702	3.65	127.79669	-1.66194	2.55
125.68558	-1.75177	3.64	124.65248	-1.57210	2.53
125.86525	-1.75177	3.60	125.95508	-1.70685	2.50
125.28133	-1.70685	3.57	128.02127	-1.43735	2.30
127.61702	-1.70685	3.55	128.15602	-1.52718	2.29
127.57210	-1.70685	3.53	125.10166	-1.61702	2.28

Long	Lat	Run-Up
124.69740	-1.57210	2.25
128.06619	-1.43735	2.23
127.79669	-1.30260	2.21
125.91017	-1.70685	2.19
127.93144	-1.34752	2.18
128.11111	-1.48227	2.13
127.84160	-1.30260	2.11
127.97636	-1.39243	2.07
127.84160	-1.66194	2.06
126.31442	-1.84160	2.05
126.08983	-1.88652	2.03
124.74232	-1.57210	2.02
126.13475	-1.88652	1.90

Long	Lat	Run-Up
128.15602	-1.66194	1.77
125.19149	-1.61702	1.76
126.22459	-1.88652	1.66
127.88652	-1.66194	1.62
124.33806	-1.79669	1.58
127.97636	-1.66194	1.57
124.33806	-1.84160	1.53
126.17967	-1.88652	1.49
127.93144	-1.66194	1.48
128.20094	-1.61702	1.44
125.37116	-1.79669	1.36
124.33806	-1.75177	1.35
124.33806	-1.88652	1.28

Lampiran 4.10. Data Digitasi Dampak Run-up di Maluku Utara Blok 2

Long	Lat	Run-Up	Long	Lat	Run-Up
127.57210	0.76359	27.64	128.38061	2.56028	13.09
127.88652	2.15602	25.34	127.84160	2.33569	12.99
127.66194	1.88652	21.39	127.79669	2.33569	12.93
127.52718	0.71867	21.05	127.97636	2.24586	12.91
127.12293	-0.26950	20.94	128.65011	2.60520	12.86
127.84160	2.11111	19.83	127.70685	0.31442	12.82
128.24586	2.29078	19.76	127.70685	-0.04492	12.78
128.29078	2.42553	19.25	128.42553	2.60520	12.77
127.61702	0.85343	19.21	127.07801	-0.17967	12.62
127.79669	2.06619	19.17	128.02127	2.24586	12.56
127.75177	2.02127	19.03	127.48227	0.67376	12.46
127.52718	1.48227	18.97	127.70685	-0.40425	12.33
127.39243	0.76359	18.90	127.88652	2.20094	12.08
128.56028	2.65011	18.09	127.48227	0.80851	12.03
127.43735	1.16785	17.87	128.24586	2.20094	11.92
127.61702	1.84160	17.76	127.12293	-0.35934	11.67
127.57210	1.75177	17.66	128.20094	2.42553	11.64
127.70685	1.97636	17.61	127.57210	0.49409	11.61
127.52718	0.76359	17.27	127.12293	-0.17967	11.55
128.24586	2.38061	16.85	127.52718	0.62884	11.48
127.57210	1.66194	16.77	127.70685	0.00000	11.48
127.70685	0.35934	16.51	127.70685	0.26950	11.44
127.57210	0.80851	15.51	128.06619	2.24586	11.27
127.48227	1.39243	15.51	127.79669	-0.31442	11.06
127.57210	0.53901	15.25	127.48227	1.43735	10.97
127.43735	1.21276	15.14	127.30260	-0.04492	10.77
127.52718	0.80851	14.90	127.39243	0.44917	10.63
127.70685	-0.08983	14.85	127.70685	0.04492	10.62
127.43735	0.85343	14.66	127.07801	-0.26950	10.42
127.93144	2.20094	14.64	127.70685	0.17967	10.35
127.43735	1.25768	14.58	128.47044	2.65011	10.35
128.33569	2.51536	14.34	127.43735	0.89834	10.27
127.61702	0.44917	14.24	128.69503	2.56028	10.04
127.43735	0.80851	14.24	127.75177	-0.26950	10.00
127.52718	0.67376	13.87	128.56028	2.69503	9.91
127.34752	0.89834	13.78	127.48227	-0.31442	9.72
127.39243	0.89834	13.52	127.43735	0.44917	9.72
127.57210	1.79669	13.40	127.66194	-0.35934	9.62
128.51536	2.65011	13.40	127.30260	0.00000	9.61
128.24586	2.24586	13.17	127.16785	-0.17967	9.59

Long	Lat	Run-Up
127.70685	-0.35934	9.54
128.60520	2.69503	9.50
127.70685	0.08983	9.43
127.21276	-0.17967	9.33
127.88652	2.29078	9.28
127.75177	-0.31442	9.11
127.25768	-0.17967	8.94
127.66194	0.35934	8.93
127.70685	0.13475	8.90
127.25768	0.00000	8.86
127.16785	-0.67376	8.47
127.88652	1.88652	8.44
127.66194	-0.31442	8.30
127.66194	-0.71867	8.00
127.34752	-0.22459	7.92
127.21276	-0.53901	7.91
127.70685	-0.22459	7.85
128.69503	2.60520	7.80
128.02127	2.11111	7.77
128.11111	2.24586	7.77
128.65011	2.65011	7.75
127.70685	-0.26950	7.73
127.16785	-0.71867	7.72
127.88652	1.93144	7.66
127.48227	0.13475	7.61
128.24586	2.11111	7.57
127.57210	-0.26950	7.51
127.61702	-0.26950	7.50
128.11111	2.20094	7.43
127.30260	-0.17967	7.26
128.42553	1.70685	7.23
127.48227	0.35934	7.22
127.93144	1.88652	7.19
128.69503	2.42553	7.14
128.47044	2.11111	6.83
127.43735	0.31442	6.83
127.52718	0.08983	6.72
127.48227	0.40425	6.72
128.06619	2.15602	6.71
127.93144	1.97636	6.67
127.97636	2.02127	6.58
127.57210	-0.22459	6.50

Long	Lat	Run-Up
127.57210	-0.22459	6.50
127.48227	0.44917	6.48
128.73995	2.51536	6.44
128.73995	2.47044	6.34
128.69503	2.38061	6.26
127.52718	-0.26950	6.18
127.93144	1.93144	6.15
127.34752	-0.26950	6.12
128.47044	1.66194	6.04
128.29078	1.66194	6.02
127.75177	-0.40425	5.99
128.11111	2.15602	5.80
128.65011	2.24586	5.80
128.69503	2.33569	5.71
127.97636	1.88652	5.66
127.48227	-0.62884	5.66
127.48227	-0.26950	5.63
127.21276	-0.76359	5.61
128.73995	2.42553	5.56
128.33569	2.06619	5.44
127.21276	-0.62884	5.44
127.34752	-0.62884	5.37
127.30260	-0.58392	5.37
128.65011	2.20094	5.35
127.39243	-0.26950	5.31
127.52718	-0.22459	5.28
127.25768	-0.76359	5.00
128.24586	1.66194	4.99
127.43735	-0.26950	4.98
127.48227	-0.67376	4.97
127.97636	1.97636	4.95
128.47044	1.70685	4.94
128.73995	1.48227	4.93
127.25768	-0.53901	4.90
128.38061	2.06619	4.88
128.47044	1.57210	4.80
127.30260	-0.76359	4.78
127.70685	-0.80851	4.72
127.25768	-0.58392	4.68
128.02127	2.06619	4.67
128.73995	1.61702	4.64
127.66194	-0.76359	4.62

Long	Lat	Run-Up
128.33569	1.48227	4.58
128.02127	1.84160	4.53
128.60520	2.15602	4.49
128.65011	1.61702	4.48
128.06619	2.11111	4.47
128.51536	2.11111	4.46
128.73995	1.57210	4.39
128.42553	2.06619	4.39
128.02127	1.88652	4.31
128.51536	1.61702	4.30
128.60520	1.66194	4.26
128.29078	2.02127	4.23
128.65011	1.66194	4.22
127.43735	-0.71867	4.22
128.56028	1.61702	4.21
128.60520	1.61702	4.17
127.43735	-0.62884	4.11
128.29078	1.48227	4.10
128.60520	1.03309	4.09
128.73995	1.52718	4.07
127.61702	-0.76359	4.04
127.34752	-0.76359	4.03
127.39243	-0.62884	3.98
128.06619	1.75177	3.94
128.73995	1.16785	3.93
128.38061	1.52718	3.92
128.56028	0.98818	3.90
128.73995	1.21276	3.88
128.51536	2.06619	3.78
128.24586	-0.71867	3.76
127.84160	-0.31442	3.74
127.88652	-0.80851	3.72
127.34752	-0.71867	3.71
128.42553	1.57210	3.70
128.73995	1.12293	3.69
128.06619	1.84160	3.61
127.34752	-0.67376	3.58
128.60520	0.62884	3.56
128.69503	1.07801	3.53
128.06619	1.79669	3.45
127.52718	-0.80851	3.43
127.75177	-0.44917	3.39

Long	Lat	Run-Up
128.06619	1.66194	3.37
128.56028	2.11111	3.28
128.78486	1.39243	3.26
127.48227	-0.80851	3.24
127.43735	-0.80851	3.23
128.60520	2.11111	3.20
127.57210	-0.76359	3.13
127.43735	-0.76359	3.06
128.24586	1.43735	3.04
128.60520	0.67376	2.97
128.11111	1.66194	2.88
128.15602	-0.71867	2.82
128.06619	1.57210	2.69
127.75177	-0.85343	2.63
128.65011	0.62884	2.62
128.11111	1.61702	2.61
128.20094	1.43735	2.58
128.56028	0.67376	2.57
127.79669	-0.85343	2.56
128.51536	0.94326	2.38
128.20094	1.39243	2.34
128.06619	1.48227	2.21
128.69503	0.62884	2.19
128.11111	1.57210	2.17
128.15602	1.39243	2.12
128.06619	1.43735	2.11
128.15602	1.34752	1.89
128.06619	1.39243	1.83
128.15602	-0.89834	1.80
128.06619	-0.67376	1.78
128.73995	0.62884	1.73
128.11111	-0.71867	1.66
128.11111	-0.85343	1.65
128.73995	0.58392	1.56
127.88652	-0.35934	1.55
128.15602	-0.85343	1.54
128.29078	1.61702	1.36
128.02127	-0.62884	1.31
128.73995	0.53901	1.30
128.42553	-0.94326	1.10
127.30260	-0.49409	1.01
128.38061	-0.89834	0.97

Long	Lat	Run-Up
128.42553	-0.89834	0.90
128.73995	0.49409	0.89
128.47044	0.94326	0.81
128.38061	-0.80851	0.78
128.38061	-0.76359	0.21
128.38061	-0.71867	0.03
128.29078	-0.67376	0.01

Lampiran 4.11. Data Digitasi Dampak Run-up di Gorontalo

Long	Lat	Run-Up	Long	Lat	Run-Up
123.21514	0.40425	5.73	122.76596	0.98818	2.59
123.08038	0.53901	4.91	122.36171	1.07801	2.58
122.94563	0.49409	3.80	122.94563	0.94326	2.58
122.45154	0.53901	3.66	123.12530	0.49409	2.50
122.49646	0.53901	3.52	122.22696	0.49409	2.46
122.00237	1.07801	3.22	122.63121	1.03309	2.45
122.72105	0.98818	3.20	122.40663	1.07801	2.41
122.54138	0.53901	3.18	122.36171	0.49409	2.41
123.26005	0.35934	3.11	122.58629	1.03309	2.40
123.08038	0.49409	3.08	122.81088	0.49409	2.35
122.22696	1.07801	3.05	122.31679	0.49409	2.31
122.76596	0.94326	3.05	122.45154	1.07801	2.24
122.90072	0.98818	3.02	122.04729	1.12293	2.23
122.58629	0.53901	2.91	122.22696	1.12293	2.17
122.67613	1.03309	2.86	122.09221	1.12293	2.15
122.90072	0.49409	2.83	122.49646	1.07801	2.09
122.27187	1.07801	2.81	122.18204	1.12293	2.09
122.99055	0.40425	2.79	122.09221	0.49409	2.04
122.85580	0.98818	2.75	122.04729	0.49409	1.97
122.54138	1.03309	2.72	122.00237	0.44917	1.38
122.31679	1.07801	2.69	121.86762	0.44917	1.08
122.94563	0.98818	2.67	121.82270	0.44917	0.67
122.81088	0.98818	2.64	121.73287	0.49409	0.08