

**PENENTUAN TITIK DAN JALUR EVAKUASI  
BERDASARKAN SEBARAN DATARAN TINGGI DI  
MALANG SELATAN SEBAGAI LANGKAH MITIGASI  
TSUNAMI**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
MUHAMMAD HASBI ASHIDDIQI  
125090700111021**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG  
2018**

**PENENTUAN TITIK DAN JALUR EVAKUASI  
BERDASARKAN SEBARAN DATARAN TINGGI DI  
MALANG SELATAN SEBAGAI LANGKAH MITIGASI  
TSUNAMI**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

Oleh:

**MUHAMMAD HASBI ASHIDDIQI**  
**125090700111021**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2018**

## **LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

### **PENENTUAN TITIK DAN JALUR EVAKUASI BERDASARKAN SEBARAN DATARAN TINGGI DI MALANG SELATAN SEBAGAI LANGKAH MITIGASI TSUNAMI**

Oleh:

**MUHAMMAD HASBI ASHIDDIQI**

**125090700111021**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggal.....  
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

**Alamsyah M. Juwono, Ph.D.**

**Drs. Wasis, M.AB.**

NIP. 19600421 1988 02 1001

NIP. 19551109 1984 03 1001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

**Prof. Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda**

NIP. 19640910 1990 02 1001



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda-tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Hasbi Ashiddiqi  
NIM : 125090700111021  
Jurusan : Fisika  
Penulis Skripsi Berjudul : Penentuan Titik dan Jalur Evakuasi Berdasarkan Sebaran Dataran Tinggi di Malang Selatan Sebagai Langkah Mitigasi Tsunami

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Karya-karya dari nama-nama yang dirujuk dalam teks skripsi ini, dan tercantum dalam Daftar Pustaka, semata-mata digunakan sebagai rujukan, atau referensi.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung semua risiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 30 April 2019

Yang menyatakan,

Muhammad Hasbi Ashiddiqi  
NIM. 125090700111021



# **PENENTUAN TITIK DAN JALUR EVAKUASI BERDASARKAN SEBARAN DATARAN TINGGI DI MALANG SELATAN SEBAGAI LANGKAH MITIGASI**

## **TSUNAMI**

## **ABSTRAK**

Kabupaten Malang Selatan berhadapan langsung dengan Samudra Hindia yang merupakan tempat pertemuan dua lempeng tektonik, yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Jika terjadi patahan pada lokasi pertemuan tersebut akan terjadi gempa bumi yang disusul oleh tsunami karena lokasi patahan berada di laut. Pada penelitian ini ditentukan titik dan jalur evakuasi yang efektif dengan analisis kebutuhan ruang evakuasi dan analisis jarak maksimum titik evakuasi berdasarkan waktu kedatangan tsunami. Tujuannya untuk mengetahui apakah titik evakuasi memiliki ruang yang cukup untuk menampung jumlah pengunjung di daerah penelitian. Hasil penelitian didapatkan 18 titik evakuasi vertikal dan 16 titik evakuasi horizontal yang tersebar dari Pantai Balekambang hingga Pantai Sipelot. Setiap pantai memiliki jumlah titik evakuasi yang bervariasi dikarenakan topografi dataran tinggi di sekitar pantai yang berbeda-beda. Berdasarkan analisis yang dilakukan, diperoleh jarak maksimal titik evakuasi horizontal 2,14 km, dengan ETA tsunami untuk Kabupaten Malang Selatan sebesar 20 menit. Didapat juga 2 dataran tinggi belum terakses yang dapat dijadikan sebagai titik evakuasi vertikal di Pantai Parang Dowo dan 2 titik di Pantai Goa Cina.

**Kata Kunci:** Tsunami, titik evakuasi vertikal, titik evakuasi horizontal, jalur evakuasi, mitigasi, pantai Kabupaten Malang Selatan.



**IDENTIFICATION OF EVACUATION POINT AND PATH  
BASED ON PLATEAU DISTRIBUTION IN SOUTH MALANG  
AS TSUNAMI MITIGATION STEP**

**ABSTRACT**

*South Malang is directly facing to The Indian Ocean where Eurasian Plate and Indo-Australian Plate is colliding. If a fault occurs at the location of the collision, there will be an earthquake followed by a tsunami because the fault location is deep under the sea. In this study, an effective evacuation point and path was identified by analyzing the needs of the evacuation space and analyzing the maximum distance of the evacuation point based on the time of arrival of the tsunami. The purpose is to find out whether the evacuation point has enough space for visitors in the research area. The result showed 18 vertical evacuation points and 16 horizontal evacuation points spread from Balekambang Beach to Sipelot Beach. Each beach has a varied number of evacuation points due to the different topography around the coastline. Based on the analysis carried out, the maximum distance allowed for the horizontal evacuation point is 2-14 km, with a 20 minutes of tsunami ETA for South Malang. There were also 2 plateau that have not been accessed yet which can be used as a vertical evacuation points at Parang Dowo Beach and 2 plateau on Goa China Beach.*

**Keywords:** *Tsunami, vertical evacuation point, horizontal evacuation point, evacuation path, mitigation, South Malang Beach.*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi sebagai Laporan Tugas Akhir yang berjudul ***Penentuan Titik dan Jalur Evakuasi Berdasarkan Sebaran Dataran Tinggi di Malang Selatan Sebagai Langkah Mitigasi Tsunami***. Laporan ini disusun untuk memuni salah satu persyaratan mencapai gelar Sarjana Sains bidang keahlian Geofisika di Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya.

Penyelesaian laporan ini tentunya tak lepas dari bantuan, bimbingan serta arahan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga besar penulis, yang selalu memberikan doa, motivasi, serta semangat dalam pelaksanaan hingga penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Alamsyah M. Juwono, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan ilmu, nasihat serta arahan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Wasis, M.AB selaku Dosen Pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing penyelesaian laporan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya.
5. M. Fajri Mubarak, S.Si yang telah membimbing penulis dalam pengambilan data, pengolahan data serta penulisan tugas akhir ini.
6. Mas Tajul, Alfadeo, Lantip, Ardhi, Pakdhe, Bagus, selaku teman perjuangan semester akhir yang telah berjuang bersama penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir bersama-sama.
7. Teman-teman CLS yang telah memberi semangat kepada penulis baik itu candaan ataupun motivasi agar penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang dapat membuat laporan ini semakin lebih baik. Akhirnya penulis berharap apa yang tertulis dalam laporan tugas akhir ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pembaca. Amin. Wassalamualaikum  
Wr. Wb.

Malang, 30 April 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	15
DAFTAR LAMPIRAN.....	17
BAB 1 PENDAHULUAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Rumusan Masalah.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Batasan Masalah.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Tujuan Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5 Manfaat Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Teori Tektonik Lempeng.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Tsunami.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Analisis Jalur dan Tempat Evakuasi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1 Analisis Jarak Maksimum Titik Evakuasi Horizontal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2 Analisis Kebutuhan Ruang Titik Evakuasi Vertikal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 <i>Georeferencing</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5 Digitasi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.4 Geologi Regional Malang Selatan **Error! Bookmark not defined.**

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN** **Error! Bookmark not defined.**

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian. **Error! Bookmark not defined.**

3.2 Rancangan Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3 Materi Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4 Langkah Penelitian. .... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1 Akuisisi Data ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.2 Pengolahan Data ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.3 Interpretasi Data ..... **Error! Bookmark not defined.**

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN** **Error! Bookmark not defined.**

4.1 Analisis Titik Evakuasi Pantai Balekambang..... **Error! Bookmark not defined.**

4.2 Analisis Titik Evakuasi Pantai Wonogoro, Taman Ayu dan Ngudel ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.3 Analisis Titik Evakuasi Pantai Ngopet dan Batu Bengkung ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.4 Analisis Titik Evakuasi Pantai Parangdowo dan Bajul Mati ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.5 Analisis Titik Evakuasi Pantai Goa Cina dan BTA ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.6 Analisis Titik Evakuasi Pantai Sendang Biru..... **Error! Bookmark not defined.**

4.7 Analisis Titik Evakuasi Pantai Tamban dan Sendiki..... **Error! Bookmark not defined.**

4.8 Analisis Titik Evakuasi Pantai Lenggoksono dan Wedi Awu ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.9 Analisis Titik Evakuasi Pantai Sipelo **Error! Bookmark not defined.**

BAB V PENUTUP **Error! Bookmark not defined.**

5.1 Kesimpulan **Error! Bookmark not defined.**

5.2 Saran **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR PUSTAKA **Error! Bookmark not defined.**

LAMPIRAN **Error! Bookmark not defined.**

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. 1 Zona subduksi akibat tumbukan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia di selatan Pulau Jawa (Hamilton, 1979)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 1 Lempeng-lempeng utama litosfir (Noor, 2009)... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 2 Batas-batas lempeng: Konvergen (atas), Divergen (tengah) dan Transform (bawah) (Noor, 2009).... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 3 Jenis Batas Konvergen: Obduksi (atas) dan Subduksi (bawah) (Noor, 2009)... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 4 Tinggi gelombang berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang (Trianawati, 2008)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 5 Peta Geologi Regional Malang Selatan (Sujanto, dkk., 1992)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 1 Titik pengambilan data di Kabupaten Bantul (Sumber: *Google Earth*)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 2 Titik pengambilan data di Kecamatan Gedangan (Sumber: *Google Earth*)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 3 Titik pengambilan data di Kecamatan Sumbermanjing (Sumber: *Google Earth*)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 4 Titik pengambilan data di Kecamatan Tirtoyudo (Sumber: *Google Earth*)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 1 Peta zona rawan tsunami Pantai Balekambang.... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 2 Titik dan jalur evakuasi Pantai Balekambang..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 3 Peta evakuasi Pantai Wonogoro, Taman Ayu dan Ngudel ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 4 Titik dan jalur evakuasi Pantai Wonogoro dan Taman Ayu..... **Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4. 5 Titik dan jalur evakuasi Pantai Ngudel.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 6 Peta evakuasi Pantai Ngopet dan Batu Bungkung **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.7 Titik dan jalur evakuasi **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.8 Peta evakuasi Pantai Parangdowo dan Bajul Mati**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 9 Titik dan jalur evakuasi Pantai Parangdowo dan Bajul Mati..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 10 Dataran tinggi di Pantai Parangdowo yang berpotensi menjadi titik evakuasi vertikal**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 11 Peta evakuasi Pantai Parangdowo**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 12 Peta evakuasi Pantai Goa Cina dan BTA .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.13 Titik dan jalur evakuasi Pantai Goa Cina.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 14 Titik dan jalur evakuasi Pantai BTA**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 15 Dataran tinggi di Pantai Goa Cina yang berpotensi menjadi titik evakuasi vertikal**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 16 Peta evakuasi Pantai Goa Cina**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 17 Peta evakuasi Pantai Sendang Biru**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 18 Titik dan jalur evakuasi Pantai Sendang Biru.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.19 Peta Evakuasi Pantai Tamban dan Sendiki.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 20 Titik dan jalur evakuasi Pantai Tamban dan Sendiki..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 21 Peta evakuasi Pantai Lenggoksono dan Wedi Awu ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 22 Titik dan jalur evakuasi Pantai Lenggoksono dan Wedi Awu..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 23 Peta evakuasi Pantai Sipelot..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 24 Titik dan jalur evakuasi Pantai Sipelot ..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. **Peta Rawan Tsunami ... Error! Bookmark not defined.**

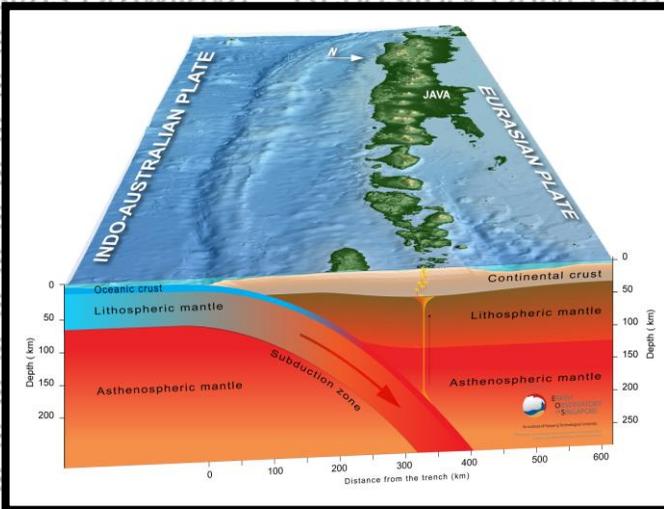


# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kabupaten Malang bagian selatan memiliki beberapa tujuan wisata pantai yang indah. Di sisi lain keindahan pantai selatan Malang ini terdapat potensi bencana karena letaknya yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia yang merupakan tempat pertemuan dua lempeng tektonik, yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia, yang dimana Lempeng Indo-Australia bergerak ke utara dengan kecepatan 7 cm/tahun menunjam ke dalam Lempeng Eurasia (Noor, 2009). Akibatnya jika suatu saat terjadi patahan pada lokasi pertemuan tersebut, maka selain gempa bumi, juga mungkin akan terjadi tsunami karena lokasi patahan berada di dalam laut. Daerah terparah yang akan terkena dampak tsunami, adalah seluruh pantai selatan dari Pulau Jawa dimana Malang Selatan adalah salah satu di antaranya.



Gambar 1.1 Zona subduksi akibat tumbukan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia di selatan Pulau Jawa (Hamilton, 1979)

Pantai di wilayah Kabupaten Malang memiliki morfologi landai ataupun terjal dengan bentuk pantai berteluk dan lurus. Hal ini

memperbesar dampak gelombang Tsunami yang mungkin melanda di kawasan tsb. Bentuk pantai yang berteluk mengakibatkan pengumpulan energi gelombang Tsunami tinggi dan berlangsung dalam waktu yang cukup lama (Latief, 2005).

Kurangnya kesadaran masyarakat di daerah Kabupaten Malang bagian selatan akan tingginya resiko daerah tersebut terhadap tsunami, juga akan berdampak pada meningkatnya resiko korban jiwa saat terjadi tsunami. Untuk meminimalkan hal tersebut perlu dilakukan suatu kebijakan pengurangan resiko bencana dengan strategi penyelamatan yang komprehensif.

Selain dibutuhkan keberadaan sistem peringatan dini tsunami, diperlukan pula upaya pengurangan resiko bencana tsunami yaitu dalam bentuk identifikasi jalur dan tempat evakuasi tsunami di kawasan rawan tsunami; dataran-dataran tinggi di sekitar pantai sebagai tempat evakuasi dan berlindung saat bencana tsunami terjadi. Identifikasi jalur dan tempat eyakuasi yang digunakan sebagai tempat perlindungan dapat berupa bukit; baik bukit alami maupun bukit buatan yang diperuntukkan sebagai jalur dan tempat evakuasi.

Maka itu perlu dilakukan penelitian ini yaitu mengidentifikasi jalur dan tempat evakuasi tsunami pada objek-objek wisata pantai di Kabupaten Malang bagian selatan untuk meminimalisir resiko korban jiwa saat bencana tsunami terjadi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah peta evakuasi di daerah penelitian?
2. Bagaimanakah titik dan jalur evakuasi paling efektif di daerah penelitian?
3. Adakah dataran tinggi di daerah penelitian yang berpotensi menjadi titik evakuasi?

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan pembatasan masalah antara lain:

1. Penelitian ini hanya dilakukan di pantai-pantai Kabupaten Malang bagian selatan.
2. Penelitian ini mengasumsikan pengunjung berlari menuju titik evakuasi dan tidak menggunakan kendaraan.

3. Zona rawan tsunami yang digunakan di penelitian ini adalah peta rawan tsunami yang dibuat oleh *German Aerospace Center (DLR)* dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
4. Penelitian ini hanya menggunakan data kepadatan pengunjung pantai pada Maret 2019.
5. Metode penelitian ini hanya dibatasi pada penentuan titik dan jalur evakuasi di Kabupaten Malang bagian selatan berdasarkan dataran tinggi yang dapat diakses.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa peta evakuasi di daerah penelitian.
2. Menentukan titik dan jalur evakuasi paling efektif di daerah penelitian.
3. Menentukan adanya titik dataran tinggi yang berpotensi menjadi titik evakuasi di daerah penelitian.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari dilaksanakannya penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Titik evakuasi dan jalur evakuasi yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan untuk menyelamatkan diri saat tsunami terjadi.
2. Dataran tinggi berpotensi menjadi titik evakuasi yang didapat dari hasil penelitian dapat diajukan ke Pemerintah agar dibuatkan akses menuju puncak dataran tinggi tersebut.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

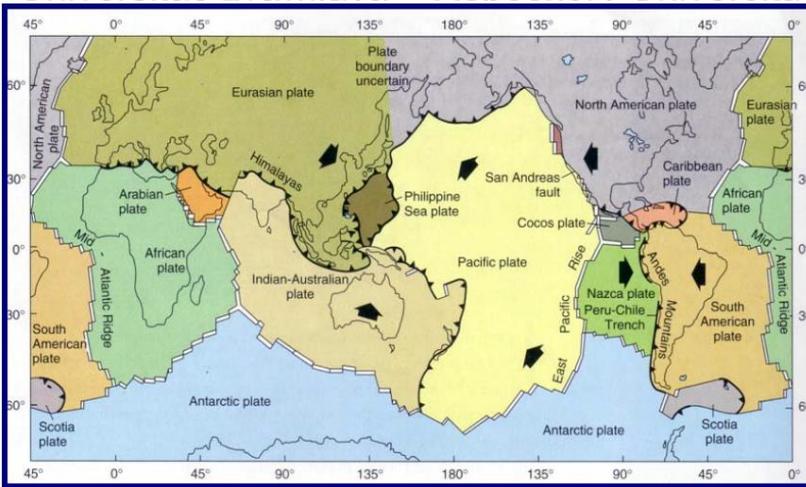
### 2.1 Teori Tektonik Lempeng

Teori tektonik lempeng adalah suatu teori yang menjelaskan mengenai sifat-sifat bumi yang mobil/dinamis yang disebabkan oleh gaya endogen yang berasal dari dalam bumi. Dalam teori tektonik lempeng dinyatakan bahwa pada dasarnya kerak-bumi (litosfer) terbagi dalam 13 lempeng besar dan kecil. Adapun lempeng-lempeng tersebut terlihat pada gambar 2.1 sebagai berikut (Noor, 2009):

- Lempeng Pasifik,
- Lempeng Euroasia,
- Lempeng India-Australia,
- Lempeng Afrika,
- Lempeng Amerika Utara,
- Lempeng Amerika Selatan,
- Lempeng Antartika

Serta beberapa lempeng kecil seperti:

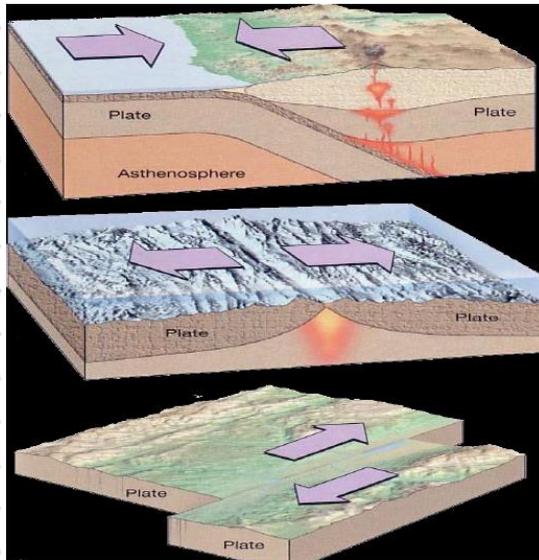
- Lempeng Naska,
- Lempeng Arab,
- Lempeng Karibia,
- Lempeng Filipina,
- Lempeng Skotia,
- Lempeng Kokos



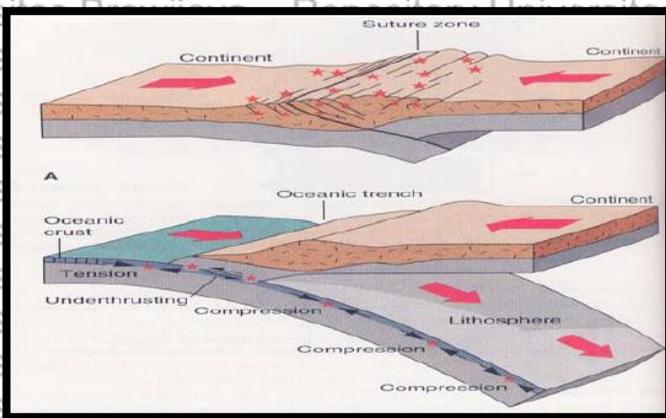
Gambar 2. 1 Lempeng-lempeng utama litosfir (Noor, 2009)

Batas-batas dari ke 13 lempeng tersebut dapat dibedakan berdasarkan interaksi antara lempengnya seperti diperlihatkan pada gambar 2.2 (Noor, 2009):

- **Batas Konvergen:** Batas konvergen adalah batas antar lempeng yang saling bertumbukan. Batas lempeng konvergen dapat berupa batas Subduksi atau Obduksi.
  - Batas Subduksi
    - Batas Subduksi adalah batas lempeng yang berupa tumbukan lempeng dimana lempeng samudera menyusup ke dalam perut bumi dan lempeng benua terangkat ke permukaan seperti terlihat pada gambar 2.3. Contoh batas subduksi adalah Kepulauan Indonesia sebagai hasil subduksi lempeng India-Australia dengan lempeng Eurasia di sebelah selatan Sumatra-Jawa-NTB dan NTT.
  - Batas Obduksi
    - Batas Obduksi adalah batas lempeng yang merupakan hasil tumbukan lempeng benua dengan benua yang membentuk suatu rangkaian pegunungan seperti terlihat pada gambar 2.3. Contoh batas obduksi adalah pegunungan Himalaya yang merupakan hasil tumbukan lempeng benua India-Australia dengan lempeng benua Eurasia.



Gambar 2. 2 Batas-batas lempeng: Konvergen (atas), Divergen (tengah) dan Transform (bawah) (Noor, 2009)



Gambar 2. 3 Jenis Batas Konvergen: Obduksi (atas) dan Subduksi (bawah) (Noor, 2009)

- **Batas Divergen:** Batas Divergen adalah batas antar lempeng yang saling menjauh antara satu dengan lainnya. Pemisahan ini disebabkan karena adanya gaya tarik (*tensional force*)

yang mengakibatkan naiknya magma ke permukaan dan membentuk material baru berupa lava yang kemudian berdampak pada lempeng yang saling menjauh. Contoh yang paling terkenal dari batas divergen adalah *Mid Oceanic Ridge* yang berada di dasar Samudera Atlantik.

- **Batas Transform:** Batas transform adalah batas antar lempeng yang saling berpapasan dan saling bergeser yang menghasilkan suatu sesar mendatar jenis *Strike Slip Fault*. Contoh batas lempeng jenis transform adalah patahan San Andreas di Amerika Serikat yang merupakan pergeseran lempeng samudra Pasifik dengan lempeng benua Amerika Utara.

## 2.2 Tsunami

Tsunami biasanya berhubungan dengan gempa bumi. Gempa bumi ini merupakan proses terjadinya getaran tanah yang merupakan akibat dari sebuah gelombang elastis yang menjalar melalui massa bumi. Gelombang ini dapat bersumber dari ledakan besar gunung berapi atau gempa vulkanik, tanah longsor, atau pergeseran lempeng bumi atau gempa tektonik (Setyonegoro, 2011). Yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah tsunami yang disebabkan oleh gempa dari jenis tektonik, pada umumnya gempa inilah yang paling banyak menjadi penyebab terjadinya gelombang tsunami.

Secara umum dapat dituliskan bahwa tsunami akan terjadi apabila:

1. Gempa besar dengan kekuatan gempa lebih dari 6.5 SR.
2. Sumber gempa bumi berada di laut.
3. Kedalaman gempa bumi dangkal kurang dari 40 km.
4. Terjadi pergeseran vertikal dasar laut.

Gelombang tsunami yang dihasilkan menyebar ke segala arah dengan kecepatan sekitar 800 km/jam. Ketika gelombang tsunami memasuki air dangkal, maka kecepatannya akan menurun tetapi ketinggiannya bertambah tinggi karena terjadi penumpukkan massa air atau efek *shoaling* (Fujima, dkk., 2009).

Gempa tektonik adalah terjadinya pergeseran massa bumi akibat tumbukan yang terjadi pada lempeng bumi. Tumbukan tersebut menyebabkan pergerakan relatif suatu massa batuan di dalam batuan yang lain di dalam kulit bumi. Lempeng bumi selalu bergerak dan

berdesakan satu sama lain. Pada saat dua lempeng bumi bertemu, saat itu terjadi penimbunan energi. Penimbunan energi yang sudah melampaui batas kemudian terlepas dan menimbulkan getaran yang bisa dirasakan di permukaan bumi. Peristiwa ini sering terjadi pada lempeng samudra karena bentuknya yang lebih tipis dari lempeng benua yang selanjutnya menimbulkan gangguan terhadap massa air laut yang ada di atasnya. Akibat dari gangguan ini salah satunya ialah terjadinya gelombang tsunami (Refrizon & Suwarsono, 2006).

Ada 28 wilayah di Kepulauan Negara Kesatuan Republik Indonesia yang dinyatakan sebagai wilayah rawan bencana gempa bumi tektonik dan tsunami. Di antaranya Sumatra Utara, Sumatra Barat, Bengkulu, Lampung, Banten, Jateng, DI Yogyakarta wilayah selatan, Jatim wilayah selatan, Bali, NTB dan NTT (BNPB, 2011).

Berdasarkan fakta tersebut, dapat memberikan gambaran bahwa Provinsi Jawa Timur khususnya wilayah selatan memiliki tingkat kerentanan yang besar apabila dibandingkan dengan pulau-pulau lainnya, jika ditinjau dari jumlah kepadatan penduduknya. Kabupaten Malang merupakan salah satu kabupaten yang masuk dalam tingkat klasifikasi bahaya "Tinggi" terhadap bencana gempa bumi tektonik, dan menempati urutan ranking ke-60 tingkat nasional (ESDM, 2010).

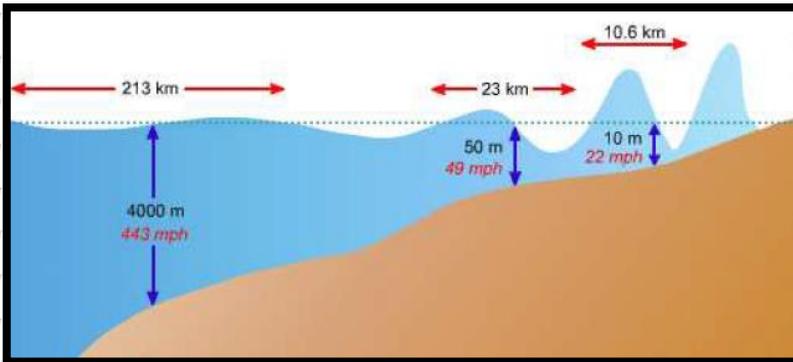
Pada suatu gelombang, apabila rasio antara kedalaman air dan panjang gelombang menjadi sangat kecil, gelombang tersebut dinamakan gelombang air-dangkal. Karena gelombang tsunami memiliki panjang gelombang yang sangat besar, gelombang tsunami berperan sebagai gelombang air-dangkal, bahkan di samudra yang dalam. Berikut adalah fungsi dari kecepatan gelombang air-dangkal:

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

Dimana  $v$  adalah kecepatan dari gelombang,  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) dan  $h$  adalah kedalaman laut.

Di Samudra Hindia, tepatnya di Palung Jawa yaitu palung di selatan Pulau Jawa yang terbentuk akibat pertemuan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia, kedalaman air laut dapat mencapai 7.725 meter. Berdasarkan fungsi di atas, kecepatan awal tsunami dapat mencapai kurang lebih 275 m/s atau sekitar 990 km/jam. Kecepatan ini dapat berkurang seiring dengan dangkalnya kedalaman air ke arah pantai.

Sesuai dengan hubungan laju energi yang hilang pada gelombang berjalan, yaitu berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya, dengan kata lain semakin besar panjang gelombang maka semakin sedikit energi yang hilang, sehingga energi yang dikandung tsunami bisa dianggap konstan. Energi tsunami merupakan fungsi perkalian antara tinggi gelombang dan kecepatannya, yang berarti jika energi tersebut konstan maka tinggi gelombang berbanding terbalik dengan kecepatannya. Oleh sebab itu, ketika gelombang mencapai daratan, kecepatannya akan menurun dan tinggi gelombang akan meningkat (Trianawati, 2008).



Gambar 2. 4 Tinggi gelombang berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang (Trianawati, 2008)

### 2.3 Analisis Jalur dan Tempat Evakuasi

Menurut Pedoman FEMA P646 (2008), proses analisis jalur dan tempat evakuasi dilakukan untuk menentukan area aman. Area aman dapat berupa area yang berada di luar jangkauan gelombang tsunami ataupun area yang berada di dalam area genangan tsunami. Untuk evakuasi yang dilakukan dengan mengarahkan pengungsi ke area yang berada di luar jangkauan tsunami, maka disebut evakuasi horizontal. Sedangkan evakuasi yang dilakukan dengan mengarahkan pengungsi ke area aman yang berada dalam area jangkauan tsunami dinamakan evakuasi vertikal, dimana ketinggian titik evakuasi horizontal minimal 25 meter di atas permukaan laut sebagai titik aman pertama untuk evakuasi tsunami dengan mempertimbangkan potensi wilayah untuk tempat evakuasi dan jarak tidak terlalu jauh dari lokasi pantai (BAKORNAS, 2007).

### 2.3.1 Analisis Jarak Maksimum Titik Evakuasi Horizontal

Perhitungan secara empiris untuk analisa waktu, kecepatan dan jarak evakuasi dapat menentukan jarak maksimum tempat evakuasi berdasarkan waktu peringatan dan kecepatan rata-rata orang sehat berjalan yaitu 6.44 km/jam. Perhitungan rumus ETA adalah (FEMA, 2008):

$$ETA = \frac{l}{v} \quad (2.2)$$

Dimana *ETA* adalah waktu tiba tsunami, *l* adalah panjang jalur evakuasi dan *v* adalah kecepatan orang sehat berjalan.

### 2.3.2 Analisis Kebutuhan Ruang Titik Evakuasi Vertikal

Kebutuhan ruang untuk evakuasi tsunami adalah 0.5 m<sup>2</sup> per orang, dimana setiap 1 m<sup>2</sup> dapat menampung 2 orang. Pengungsi diasumsikan duduk tanpa kursi (bersila atau kaki menekuk ke depan) selama beberapa jam menunggu waktu kritis gelombang tsunami mereda. Posisi duduk tanpa kursi dan duduk bersila dengan posisi kaki ditekuk ke depan membutuhkan ruang seluas 0,47 m<sup>2</sup> s/d 0,55 m<sup>2</sup> per orang (FEMA, 2008).

## 2.4 Georeferencing

Dalam melakukan input data pada software *ArcGIS* diperlukan adanya sumber data sebagai sumber utama dalam pembuatan input tersebut. Ada beberapa sumber data yang sering digunakan dalam SIG:

1. Survei Lapangan
2. Peta Publikasi
3. Citra Penginderaan Jauh

Sumber data merupakan data spasial, untuk itu perlu dilakukan *georeferencing*. *Georeferencing* merupakan proses pemberian referensi geografi dari objek berupa *image* yang belum mempunyai acuan sistem koordinat ke dalam sistem koordinat dan proyeksi tertentu. *Georeferencing* juga bisa diartikan sebagai proses penempatan objek berupa *image* yang belum mempunyai acuan sistem koordinat ke dalam sistem koordinat dan proyeksi tertentu. *Georeferencing* bertujuan untuk menyesuaikan tingkat akurasi jarak maupun titik pada peta dengan lokasi di lapangan (TechnoGIS, 2015).

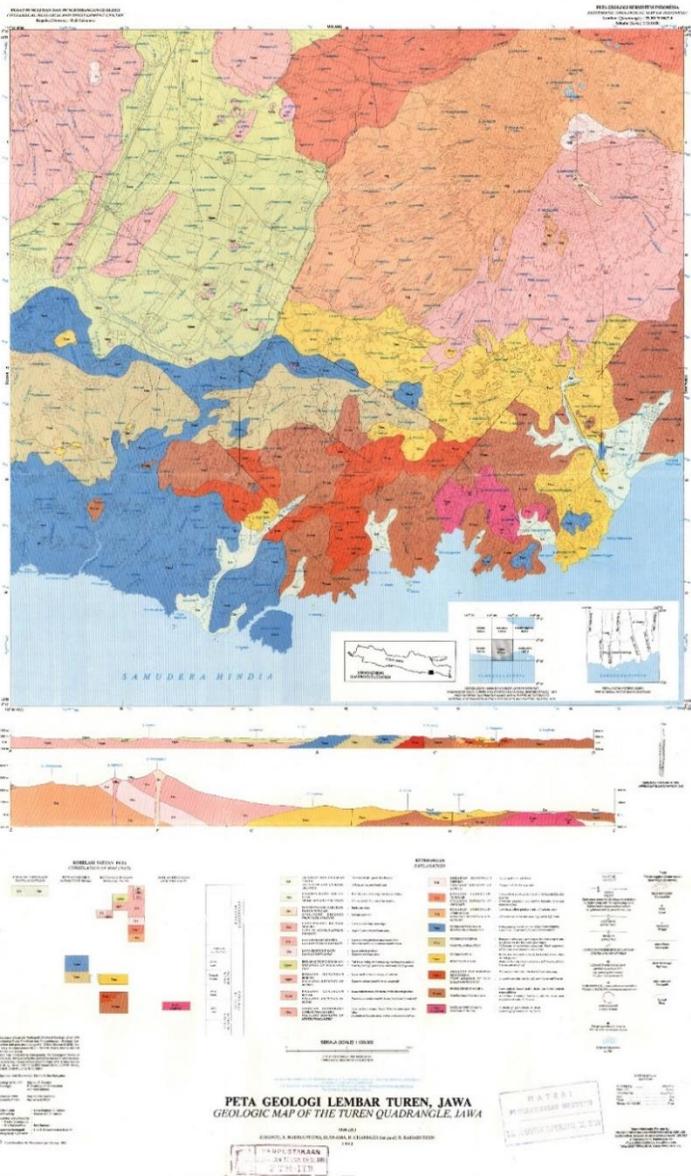
## 2.5 Digitasi

Digitasi secara umum dapat didefinisikan sebagai proses konversi data analog ke dalam format digitas. Obyek-obyek tertentu seperti jalan, rumah, sawah dan lain-lain yang sebelumnya dalam format *image* pada sebuah citra satelit resolusi tinggi dapat diubah ke dalam format digitas dengan proses digitasi (TechnoGIS, 2015).

## 2.4 Geologi Regional Malang Selatan

Secara fisiografi Malang Selatan terletak di bagian timur Pulau Jawa, sebelah selatan dari Kota Malang dan juga memanjang ke area lepas pantai kearah selatan. Dari Gambar 2.5 dapat dilihat bahwa pada pantai-pantai Malang Selatan formasi penyusunnya adalah:

1. Formasi Wonosari: Batugamping, napal pasiran dan sisipan batulempung.
2. Formasi Mandalika: Lava andesit, basal, trakit, dasit dan breksi andesit terpropilitkan.
3. Endapan Rawa dan Sungai: Kerikil, pasir, lempung dan sisa tumbuhan.



Gambar 2. 5 Peta Geologi Regional Malang Selatan (Sujanto, dkk., 1992)





## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada 1 Maret 2019 sampai dengan 20 April 2019 di pantai-pantai selatan Kabupaten Malang, Jawa Timur, Indonesia kemudian dilanjutkan di rumah penulis.

#### **3.2 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan menginterpretasi hasil pengolahan data hasil akuisisi primer, serta data sekunder berupa data DEM dan data rawan tsunami. Data yang digunakan adalah data elevasi dataran tinggi yang direkam menggunakan GPS. Data primer dan data sekunder tersebut di-*overlay* menggunakan software *ArcGIS*. Kemudian hasil dari *overlay* tersebut dianalisis untuk menentukan titik dan jarak evakuasi paling efektif berdasarkan data kepadatan pengunjung dan waktu kedatangan tsunami.

#### **3.3 Materi Penelitian**

Pada penelitian ini digunakan beberapa materi yang berupa data penelitian, perangkat keras dan perangkat lunak. Berikut ini merupakan data penelitian yang digunakan:

1. Data primer berupa data kepadatan pengunjung di pantai Malang Selatan dan data dataran tinggi di sekitar pantai Malang Selatan.
2. Data sekunder berupa peta DEM, peta rawan tsunami (terlampir pada Lampiran 1), peta administrasi Malang Selatan, dan data hasil digitasi *Google Earth* berupa peta jaringan jalan dan peta pemukiman penduduk.

Perangkat keras yang digunakan antara lain:

1. GPS untuk mencatat koordinat lokasi dataran tinggi beserta elevasinya.
2. Laptop untuk memetakan titik dataran tinggi, digitasi jalan dan pemukiman di sekitar daerah penelitian.
3. Peralatan tulis menulis untuk mencatat data pengunjung dan data elevasi dataran tinggi di daerah penelitian.

Perangkat lunak yang digunakan antara lain:

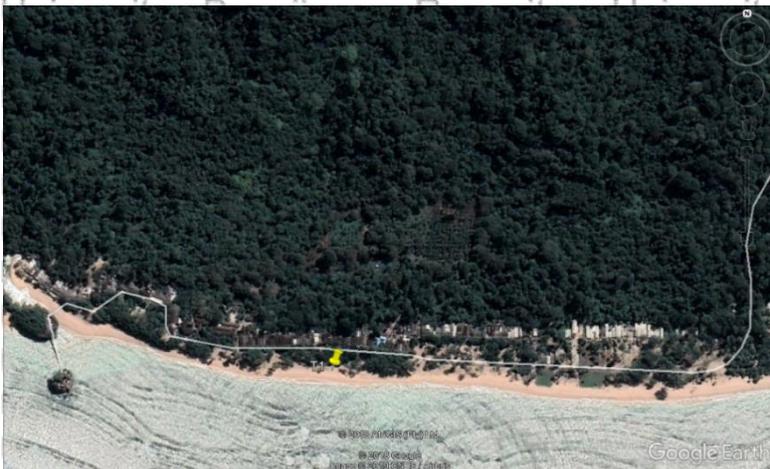
1. *Google Earth* untuk menampilkan titik dataran tinggi, digitasi jalan dan pemukiman pada peta.
2. *Microsoft Excel* untuk mencatat titik koordinat dataran tinggi beserta elevasinya.
3. *ArcGis* untuk meng-*overlay* data *tsunami hazard* Malang Selatan, data peta administrasi, data dem Malang Selatan, data dataran tinggi di daerah penelitian dan data hasil digitasi di *Google Earth*.

### 3.4 Langkah Penelitian.

Penelitian ini secara umum dilakukan dalam tiga tahapan yaitu akuisisi, pengolahan dan interpretasi data. Gambar 3.5 merupakan diagram alir penelitian yang telah dilakukan.

#### 3.4.1 Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan di daerah pantai-pantai Malang Selatan, tepatnya di Kecamatan Bantur, Gedangan, Sumbermanjing dan Tirtoyudo pada tanggal 31 Maret s/d 7 April 2019. Gambar 3.1 berikut adalah lokasi penelitian untuk Kecamatan Bantur, dimana lokasi tersebut ditunjukkan oleh titik T1 yaitu sepanjang Pantai Balekambang.



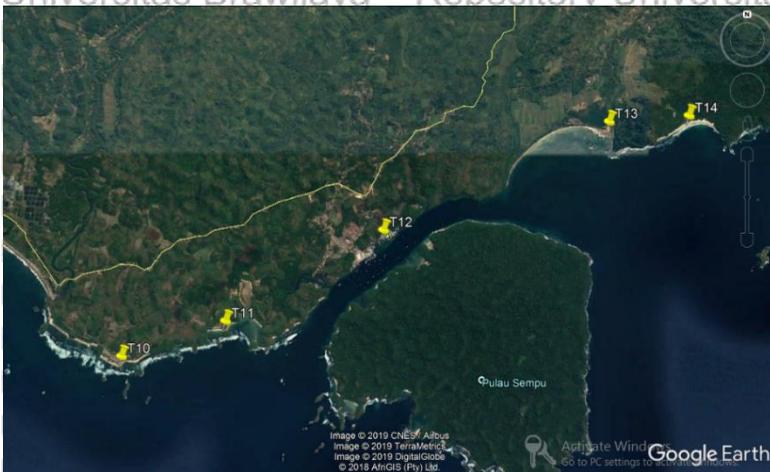
Gambar 3. 1 Titik pengambilan data di Kabupaten Bantur (Sumber: *Google Earth*)

Jumlah titik pengambilan data di Kecamatan Gedangan sebanyak 8 titik. Gambar 3.2 berikut adalah lokasi penelitian untuk Kecamatan Gedangan, ditunjukkan oleh titik T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 dan T9. Dimana T2 menunjukkan Pantai Wonogoro, T3 menunjukkan Pantai Taman Ayu, T4 menunjukkan Pantai Ngantep, T5 menunjukkan Pantai Ngudel, T6 menunjukkan Pantai Ngopet, T7 menunjukkan Pantai Batu Bungkung, T8 Menunjukkan Pantai Parang Dowo dan titik T9 menunjukkan Pantai Bajul Mati.



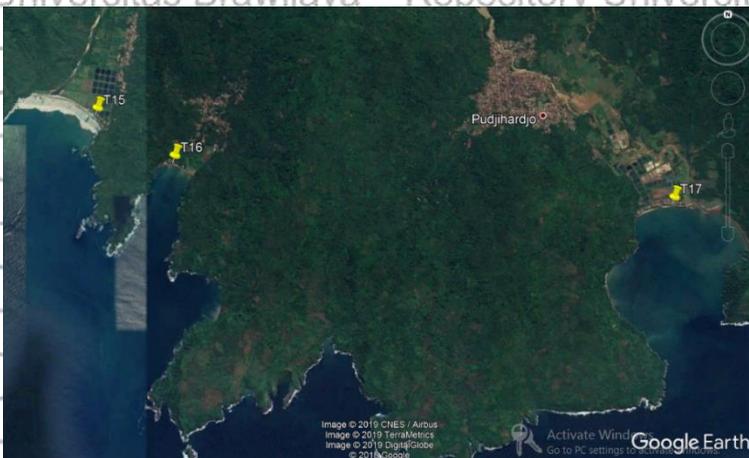
Gambar 3. 2 Titik pengambilan data di Kecamatan Gedangan (Sumber: *Google Earth*)

Jumlah titik pengambilan data di Kecamatan Sumbermanjing sebanyak 5 titik. Gambar 3.3 berikut adalah lokasi penelitian untuk Kecamatan Sumbermanjing, ditunjukkan oleh titik T10, T11, T12, T13, dan T14. Dimana titik T10 menunjukkan Pantai Goa Cina, T11 menunjukkan Pantai Teluk Asmara, T12 menunjukkan Pantai Sendang Biru, T13 menunjukkan Pantai Tamban dan T14 menunjukkan Pantai Sendiki.



Gambar 3.3 Titik pengambilan data di Kecamatan Sumbermanjing (Sumber: Google Earth)

Jumlah titik pengambilan data di Kecamatan Tirtoyudo sebanyak 3 titik. Gambar 3.4 berikut adalah lokasi penelitian untuk kecamatan Tirtoyudo, ditunjukkan oleh titik T15, T16 dan T17. Dimana titik T15 menunjukkan Pantai Lenggoksono, T16 menunjukkan Pantai Wedi Awu dan titik T17 menunjukkan Pantai Sipelot.



Gambar 3.4 Titik pengambilan data di Kecamatan Tirtoyudo (Sumber: Google Earth)

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan GPS untuk mengukur letak koordinat dataran tinggi di sekitar pantai beserta nilai elevasinya. Dilakukan juga survey jalan di daerah penelitian untuk mengidentifikasi jalur evakuasi yang memungkinkan ketika terjadi tsunami. Data kepadatan pengunjung juga dicatat dengan melakukan wawancara terhadap penjaga pantai atau tim SAR.

### **3.4.2 Pengolahan Data**

Data yang diperoleh yaitu data koordinat dataran tinggi di sekitar pantai beserta nilai elevasinya dalam format *Ms. Excel*. Sebelum melakukan pengolahan data, perlu dilakukan *georeferencing* pada data *image* seperti peta DEM dan peta rawan tsunami Malang Selatan untuk memberikan sistem proyeksi geografi (garis lintang/bujur atau sistem UTM). Sedangkan data dari *Google Earth* sudah memiliki sistem proyeksi geografi sehingga tidak perlu dilakukan *georeferencing*. Kemudian dilakukan digitasi pada *Google Earth* untuk mendapatkan data jaringan jalan dan zona pemukiman.

Data DEM, peta rawan tsunami dan data hasil digitasi *Google Earth* di-*overlay* dengan menggunakan software *ArcGIS* dan didapatkan peta evakuasi tsunami lalu dilakukan analisis untuk menentukan titik dan jalur evakuasi yang efektif.

Dalam penelitian ini dilakukan dua analisis, yaitu menganalisis jarak maksimum titik evakuasi horizontal berdasarkan waktu datang tsunami dan kecepatan rata-rata orang sehat berjalan, lalu menganalisis kebutuhan ruang titik evakuasi horizontal berdasarkan luasan titik evakuasi yang kemudian dibandingkan dengan data kepadatan pengunjung. Dari kedua analisis tersebut dapat ditentukan titik dataran tinggi yang efektif untuk dijadikan tempat evakuasi.

### **3.4.3 Interpretasi Data**

Interpretasi dilakukan pada analisis jarak evakuasi berdasarkan hubungan waktu kedatangan tsunami dan kecepatan rata-rata orang sehat berjalan. Nilai yang diperoleh digunakan sebagai acuan jarak evakuasi maksimum, dimana titik evakuasi dinyatakan efektif apabila jarak menuju titik tersebut kurang dari jarak maksimum yang diperoleh. Interpretasi data selanjutnya dilakukan pada analisis kebutuhan ruang evakuasi berdasarkan luasan titik evakuasi yang telah

dibandingkan dengan data kepadatan pengunjung, dimana apabila luasan titik evakuasi melebihi data pengunjung maka titik tersebut dinyatakan efektif sebagai tempat evakuasi, tetapi apabila luasan titik evakuasi kurang dari data pengunjung maka perlu ditentukan titik evakuasi horizontal sebagai tempat evakuasi lainnya.



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis jarak maksimum evakuasi horizontal dilakukan berdasarkan nilai ETA (*Estimated Time Arrival*) dari peta rawan tsunami Malang Selatan (terlampir pada Lampiran 1) yaitu 20 menit, dan kecepatan rata-rata orang sehat berjalan yaitu 6,44 km/jam, didapatkan jarak maksimum 2,14 km. Nilai tersebut dijadikan acuan untuk menentukan keefektifan suatu titik evakuasi horizontal, dimana jarak titik evakuasi horizontal dinyatakan efektif apabila kurang dari 2,14 km.

Hasil pengolahan menggunakan *ArcGIS* didapatkan peta zona rawan tsunami seperti Gambar 4.1. Warna merah menunjukkan daerah rawan tsunami dengan ketinggian ombak  $\leq 3$  meter. Sedangkan warna kuning yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 merupakan daerah rawan tsunami dengan ketinggian ombak  $\geq 3$  meter.

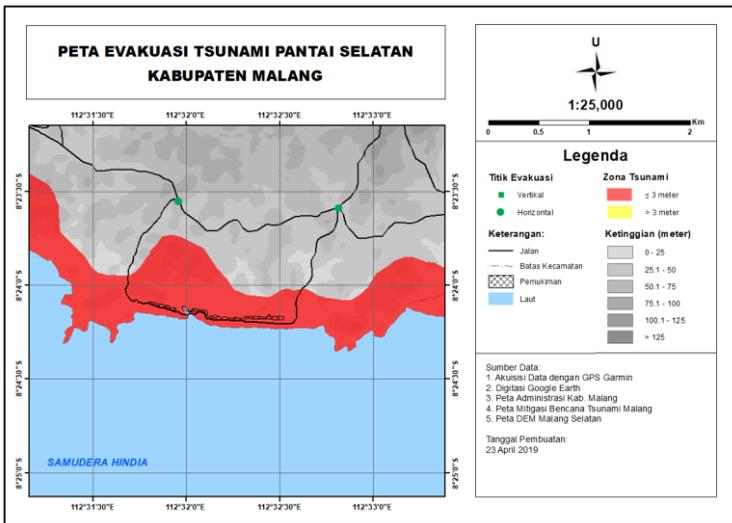
### 4.1 Analisis Titik Evakuasi Pantai Balekambang

Hasil penelitian di Pantai Balekambang didapatkan dua titik evakuasi horizontal yaitu TH1 dan TH2 (Gambar 4.2), titik evakuasi hanya berupa titik evakuasi horizontal karena tidak ditemukan adanya dataran tinggi (bukit, dll) yang dapat dijadikan sebagai titik evakuasi vertikal.

Jarak menuju titik TH1 diukur menggunakan *Google Earth* didapatkan 1,79 km, dan jarak menuju titik TH2 didapatkan 1,74 km. Berdasarkan jarak maksimum yang didapat dari analisis sebelumnya, kedua titik evakuasi horizontal di atas dinyatakan memenuhi syarat karena jaraknya kurang dari 2,14 km. Hal ini didukung juga oleh peta zona rawan hasil pengolahan data menggunakan *ArcGIS* (Gambar 4.1), dimana berdasarkan data konturnya kedua titik tersebut memiliki elevasi  $> 25$  mdpl.

Analisis kebutuhan ruang evakuasi dilakukan pada kedua titik evakuasi horizontal di Pantai Balekambang. Dengan menggunakan software *Google Earth*, luasan titik evakuasi diukur dan didapatkan luasan titik TH1 sebesar 203 m<sup>2</sup> dan titik TH2 sebesar 1.021 m<sup>2</sup>. Kebutuhan ruang untuk evakuasi tsunami adalah 0.5 m<sup>2</sup> per orang,

dimana setiap 1 m<sup>2</sup> dapat menampung 2 orang. Maka dapat disimpulkan bahwa titik evakuasi TH1 dapat menampung 406 orang dan titik TH2 dapat menampung hingga 2.042 orang. Jika dibandingkan dengan jumlah pengunjung maksimal yang didapat dari hasil penelitian di Pantai Balekambang yaitu ±200 orang/hari, maka kedua titik tersebut sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal saat tsunami terjadi.



Gambar 4. 1 Peta zona rawan tsunami Pantai Balekambang

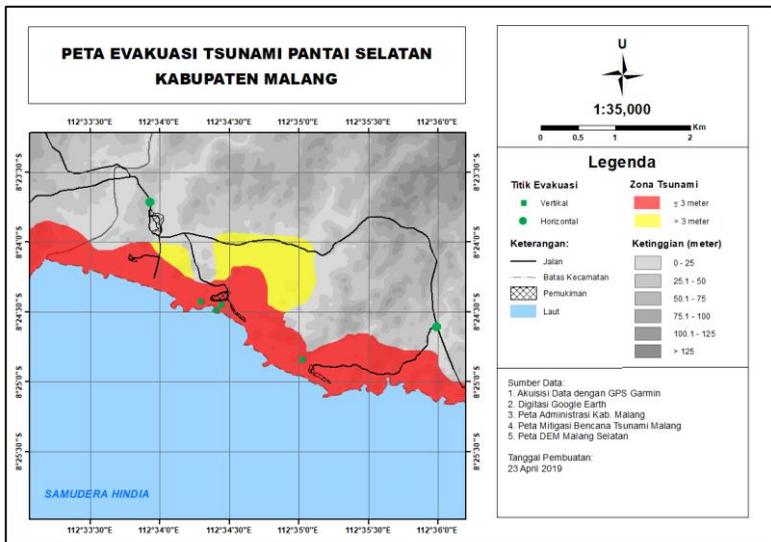


Gambar 4. 2 Titik dan jalur evakuasi Pantai Balekambang

#### 4.2 Analisis Titik Evakuasi Pantai Wonogoro, Taman Ayu dan Ngudel

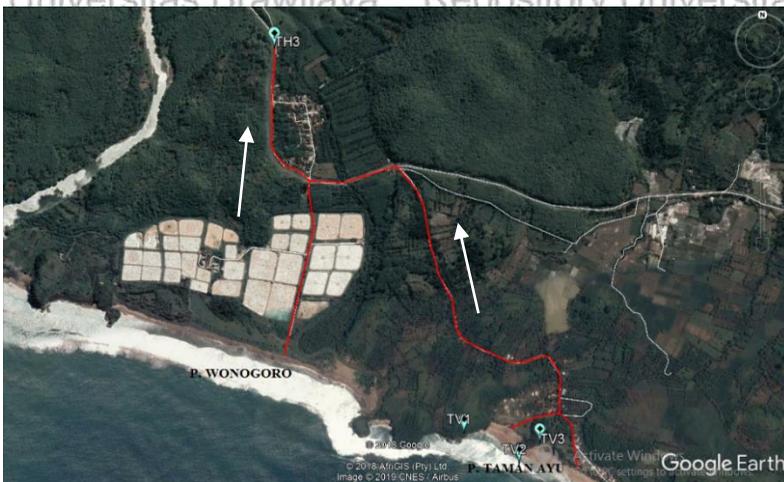
Hasil penelitian di Pantai Wonogoro didapatkan titik evakuasi horizontal yaitu titik TH3 (Gambar 4.4), tidak ditemukan adanya dataran tinggi yang dapat dijadikan titik evakuasi vertikal. Sedangkan pada Pantai Taman Ayu didapatkan 3 titik evakuasi vertikal yaitu TV1, TV2 dan TV3 (Gambar 4.4), dan pada Pantai Ngudel didapatkan 1 titik evakuasi vertikal yaitu TV4 (Gambar 4.5). Jarak menuju titik evakuasi horizontal TH3 adalah 1,19 km, dan sudah memenuhi syarat sebagai titik evakuasi horizontal. Hal ini didukung juga oleh peta evakuasi (Gambar 4.3) dimana titik TH3 memiliki elevasi > 50 mdpl berdasarkan data konturnya.

Hasil penelitian di Pantai Taman Ayu didapatkan 3 titik evakuasi vertikal yaitu TV1 dengan nilai elevasi 66 mdpl, titik TV2 memiliki elevasi 34 mdpl dan titik TV3 memiliki elevasi 30 mdpl. Ketiga titik tersebut memenuhi syarat sebagai titik evakuasi vertikal karena memiliki elevasi > 25 mdpl.



Gambar 4. 3 Peta evakuasi Pantai Wonogoro, Taman Ayu dan Ngudel

Analisis kebutuhan ruang evakuasi dilakukan pada 3 titik evakuasi vertikal di Pantai Taman Ayu. Titik TV1 dapat menampung hingga 550 orang dengan luasan 275 m<sup>2</sup>, titik TV2 dapat menampung 140 orang dengan luasan 70 m<sup>2</sup> dan titik TV3 dapat menampung 250 orang dengan luasan 125 m<sup>2</sup>. Ketiga titik tersebut memiliki total kapasitas ruang hingga 940 orang, dan melebihi jumlah pengunjung maksimal di Pantai Ayu yaitu  $\pm$  50 orang. Maka dapat disimpulkan bahwa titik evakuasi TV1, TV2 dan TV3 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal saat tsunami terjadi. Diberikan juga opsi evakuasi horizontal ke titik TH3, namun titik tersebut kurang efektif karena memiliki jarak 2,27 km dari Pantai Taman Ayu.



Gambar 4. 4 Titik dan jalur evakuasi Pantai Wonogoro dan Taman Ayu

Titik evakuasi vertikal di Pantai Ngudel yaitu TV4 (Gambar 4.5) memiliki elevasi 46 mdpl. Dilakukan juga analisis kebutuhan ruang evakuasi vertikal pada titik TV4, didapatkan luasan sebesar 1.633 m<sup>2</sup> dan dapat menampung hingga 3.266 orang. Jika dibandingkan dengan jumlah pengunjung maksimal Pantai Ngudel yaitu  $\pm$  200 orang/hari, maka titik TV4 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal. Diberikan juga opsi titik evakuasi horizontal yaitu TH4 (Gambar 4.5), memiliki jarak 2,13 km dari Pantai Ngudel dan memiliki nilai elevasi  $>$  25 mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.3). Titik tersebut cukup efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal.



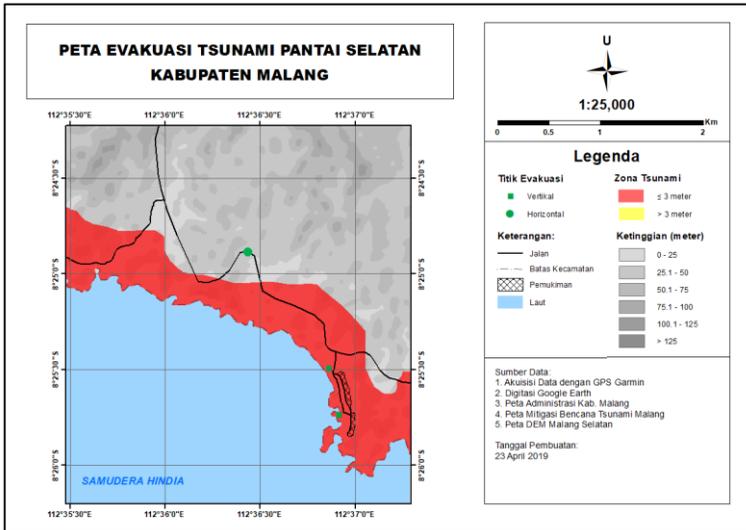
Gambar 4. 5 Titik dan jalur evakuasi Pantai Ngudel

#### 4.3 Analisis Titik Evakuasi Pantai Ngopet dan Batu Bengkung

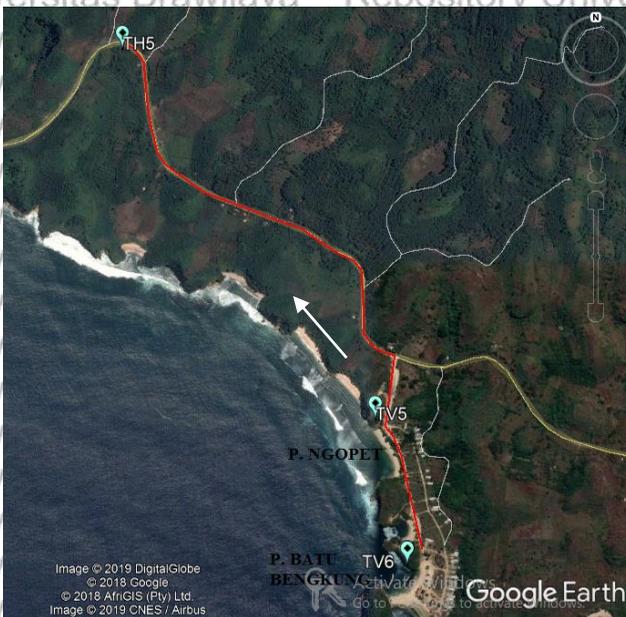
Hasil penelitian di Pantai Ngopet didapatkan titik evakuasi vertikal TV5 dengan elevasi senilai 41 mdpl, sedangkan pada Pantai Batu Bengkung didapatkan titik evakuasi vertikal TV6 dengan nilai elevasi 39 mdpl (Gambar 4.7).

Analisis kebutuhan ruang evakuasi dilakukan pada kedua titik tersebut. Didapatkan titik TV5 dapat menampung hingga 1.788 orang dengan luas 894 m<sup>2</sup>, dan titik TV6 dapat menampung hingga 728 orang dengan luas 364 m<sup>2</sup>. Kedua titik tersebut memiliki total kapasitas ruang hingga 2.516 orang, dan melebihi jumlah maksimal pengunjung di Pantai Ngopet dan Batu Bengkung yaitu ± 200 orang/hari. Maka dapat disimpulkan bahwa titik TV6 dan TV7 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal saat tsunami terjadi.

Diberikan juga opsi titik evakuasi horizontal yaitu TH5 (Gambar 4.7), memiliki jarak 2,08 km dari pantai dan nilai elevasi > 25 mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.6). Titik ini cukup efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal.



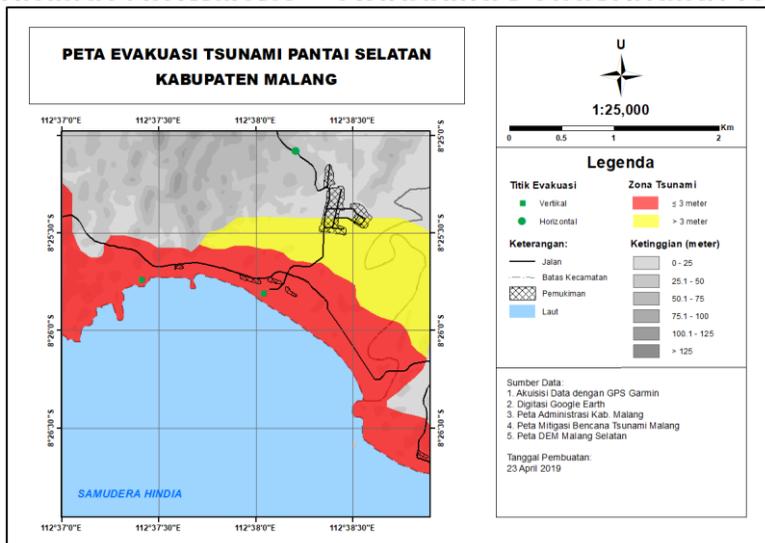
Gambar 4. 6 Peta evakuasi Pantai Ngopet dan Batu-Bengkung



Gambar 4. 7 Titik dan jalur evakuasi

#### 4.4 Analisis Titik Evakuasi Pantai Parangdowo dan Bajul Mati

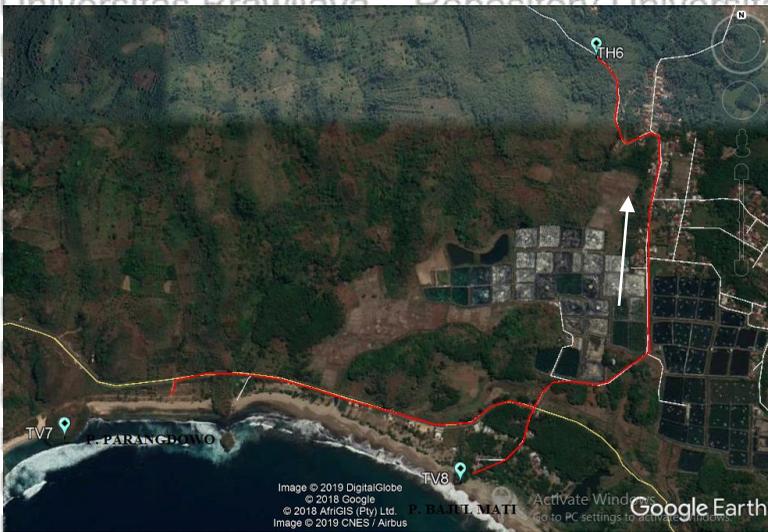
Hasil penelitian di Pantai Parangdowo didapatkan titik evakuasi vertikal TV7 (Gambar 4.9) dengan nilai elevasi 39 mdpl. Analisis kebutuhan ruang evakuasi dilakukan pada titik tersebut, didapatkan titik TV7 dapat menampung hingga 574 orang dengan luas 287 m<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan jumlah pengunjung maksimal di Pantai Parangdowo yaitu  $\pm 50$  orang/hari, maka titik TV7 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal ketika tsunami terjadi. Diberikan juga opsi titik evakuasi horizontal TH6 (Gambar 4.9), namun titik tersebut kurang efektif karena memiliki jarak 2,88 km dari Pantai Parangdowo.



Gambar 4. 8 Peta evakuasi Pantai Parangdowo dan Bajul Mati

Titik evakuasi vertikal di Pantai Bajul Mati yaitu TV8 (Gambar 4.9) memiliki nilai elevasi 27 mdpl. Dilakukan juga analisis kebutuhan ruang evakuasi pada titik tersebut, didapatkan titik TV8 dapat menampung hingga 72 orang dengan luas 36 m<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan jumlah pengunjung maksimal di Pantai Bajul Mati yaitu  $\pm 100$  orang/hari, titik TV8 kurang efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal ketika tsunami terjadi. Karena itu ditentukan titik evakuasi horizontal yaitu TH6 (Gambar 4.9) dengan jarak 1,74 km dari pantai dan memiliki nilai elevasi  $> 25$  mdpl berdasarkan data konturnya

(Gambar 4.8). Berdasarkan analisis tersebut didapatkan titik TH6 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal ketika tsunami terjadi.

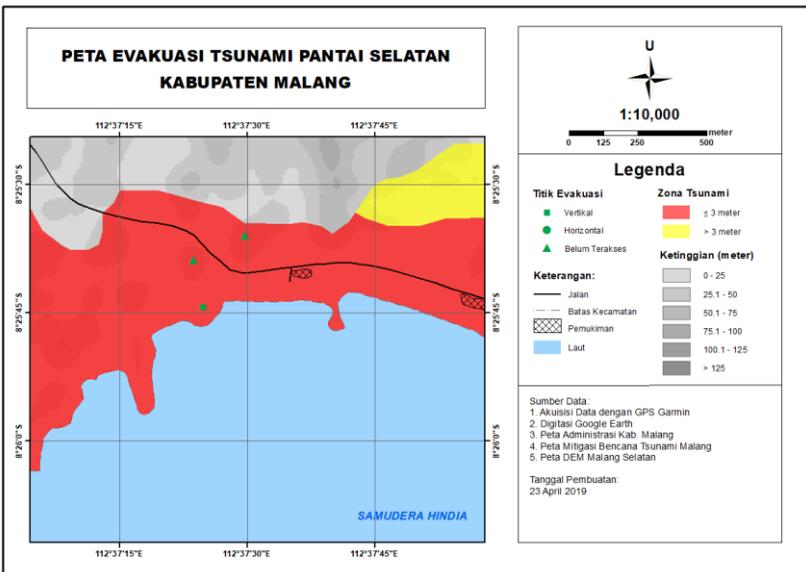


Gambar 4. 9 Titik dan jalur evakuasi Pantai Parangdowo dan Bajul Mati

Hasil penelitian di Pantai Parangdowo didapatkan adanya dataran-dataran tinggi yang tidak memiliki akses namun sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai titik evakuasi vertikal. Terdapat dua dataran tinggi yang berpotensi yaitu TP1 dan TP 2 (Gambar 4.10), hasil pengamatan di lapangan menunjukkan dua titik tersebut dekat dengan jalan utama dan memiliki nilai elevasi yang cukup tinggi. Karena kedua dataran tinggi tersebut belum memiliki akses menuju puncaknya, maka nilai elevasi ditentukan dengan menggunakan *Google Earth* sebagai perkiraan sementara. Didapat titik TP1 memiliki nilai elevasi  $\pm 26$  mdpl dan titik TP2  $\pm 36$  mdpl. Nilai elevasi yang didapat cukup akurat karena didukung oleh peta evakuasi (Gambar 4.11), dimana berdasarkan data konturnya dua titik tersebut memiliki nilai elevasi  $> 25$  mdpl.



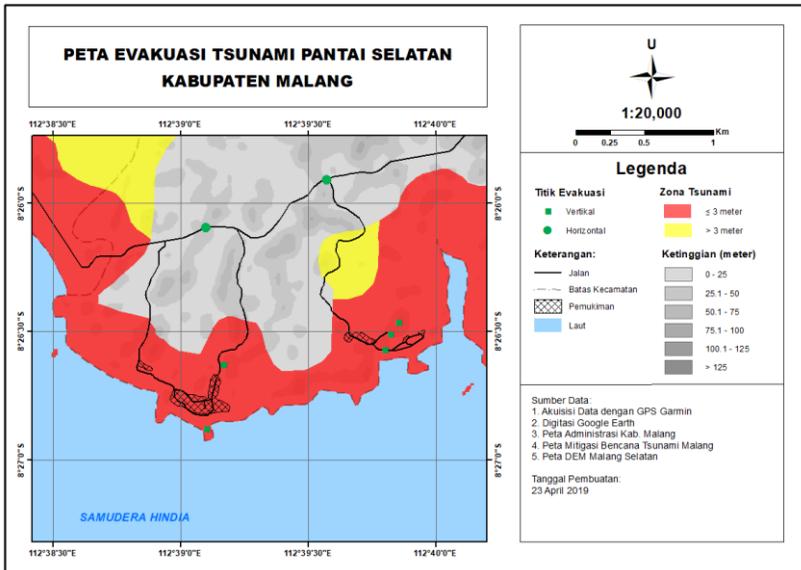
Gambar 4. 10 Dataran tinggi di Pantai Parangdowo yang berpotensi menjadi titik evakuasi vertikal



Gambar 4. 11 Peta evakuasi Pantai Parangdowo

#### 4.5 Analisis Titik Evakuasi Pantai Goa Cina dan BTA

Hasil penelitian di Pantai Goa Cina didapatkan dua titik evakuasi vertikal TV9 dan TV10 (Gambar 4.11). Titik TV9 memiliki nilai elevasi 46 mdpl dan titik TV10 memiliki nilai elevasi 35 mdpl. Analisis kebutuhan ruang evakuasi dilakukan pada dua titik tersebut, didapatkan titik TV9 dapat menampung hingga 554 orang dengan luas 277 m<sup>2</sup> dan titik TV10 dapat menampung hingga 860 orang dengan luas 430 m<sup>2</sup>. Kedua titik tersebut memiliki total kapasitas ruang hingga 1.414 orang, dan melebihi jumlah pengunjung maksimal di Pantai Goa Cina yaitu ± 500 orang/hari. Maka dapat disimpulkan bahwa titik TV9 dan TV10 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal ketika tsunami terjadi. Diberikan juga opsi titik evakuasi horizontal TH7 (Gambar 4.11) dengan jarak 1,75 km dari pantai dan memiliki nilai elevasi > 25 mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.10)

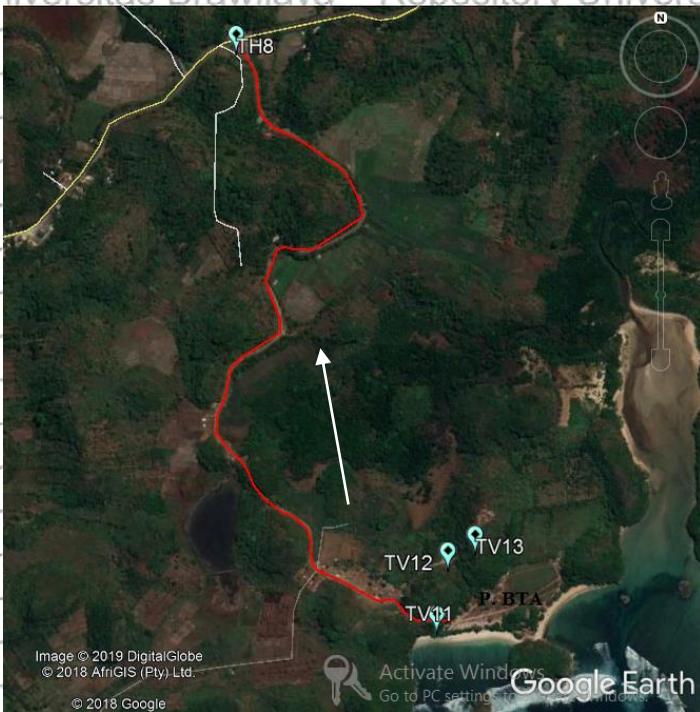


Gambar 4. 12 Peta evakuasi Pantai Goa Cina dan BTA



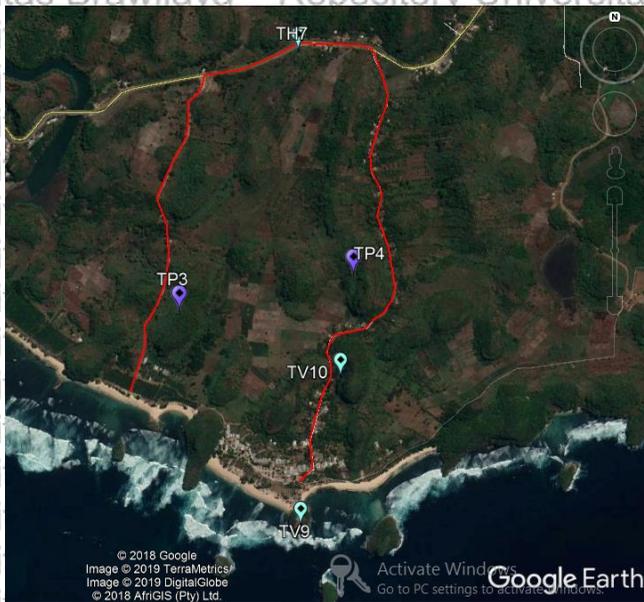
Gambar 4. 13 Titik dan jalur evakuasi Pantai Goa Cina

Hasil penelitian di Pantai BTA didapatkan tiga titik evakuasi vertikal TV11, TV12 dan TV13 (Gambar 4.12). Titik TV11 memiliki nilai elevasi 35 mdpl, titik TV12 memiliki nilai elevasi 40 mdpl dan titik TV13 memiliki nilai elevasi 46 mdpl. Analisis kebutuhan ruang evakuasi dilakukan pada ketiga titik tersebut. Didapatkan titik TV11 dapat menampung hingga 360 orang dengan luas 180 m<sup>2</sup>, titik TV12 dapat menampung hingga 852 orang dengan luas 426 m<sup>2</sup> dan titik TV13 dapat menampung 1.620 orang dengan luas 810 m<sup>2</sup>. Ketiga titik tersebut memiliki total kapasitas ruang hingga 2.832 orang, dan melebihi jumlah pengunjung maksimal di Pantai BTA yaitu ± 500 orang/hari. Dapat disimpulkan bahwa titik TV11, TV12 dan TV13 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal saat tsunami terjadi. Diberikan juga opsi titik evakuasi horizontal yaitu TH8 (Gambar 4.12) dengan jarak 1,86 km dari pantai dan memiliki nilai elevasi > 25 mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.10).

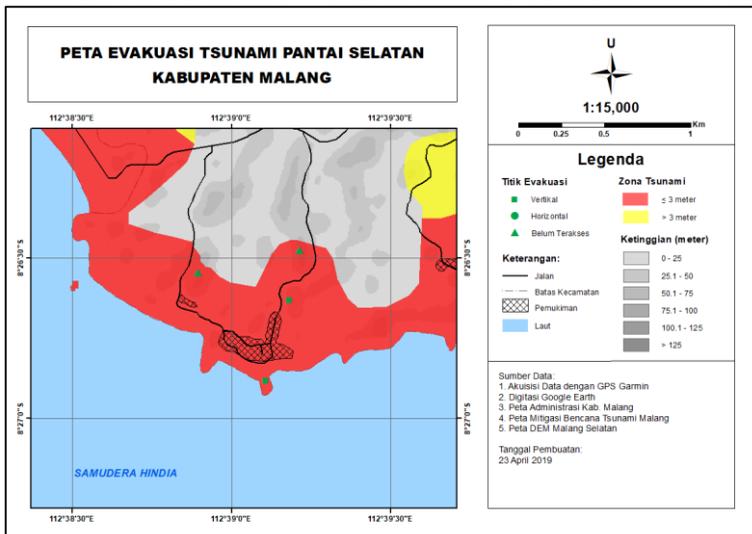


Gambar 4. 14 Titik dan jalur evakuasi Pantai BTA

Hasil penelitian di Pantai Goa Cina didapatkan adanya dataran-dataran tinggi yang tidak memiliki akses namun sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai titik evakuasi vertikal. Terdapat dua dataran tinggi yang berpotensi yaitu TP3 dan TP4 (Gambar 4.15), hasil pengamatan di lapangan menunjukkan dua titik tersebut dekat dengan jalan utama dan memiliki nilai elevasi yang cukup tinggi. Karena kedua dataran tinggi tersebut belum memiliki akses menuju puncaknya, maka nilai elevasi ditentukan dengan menggunakan *Google Earth* sebagai perkiraan sementara. Didapat titik TP3 memiliki nilai elevasi  $\pm 46$  mdpl dan titik TP4  $\pm 36$  mdpl. Nilai elevasi yang didapat cukup akurat karena didukung oleh peta evakuasi (Gambar 4.16), dimana berdasarkan data konturnya dua titik tersebut memiliki nilai elevasi  $\geq 25$  mdpl.



Gambar 4. 15 Dataran tinggi di Pantai Goa Cina yang berpotensi menjadi titik evakuasi vertikal

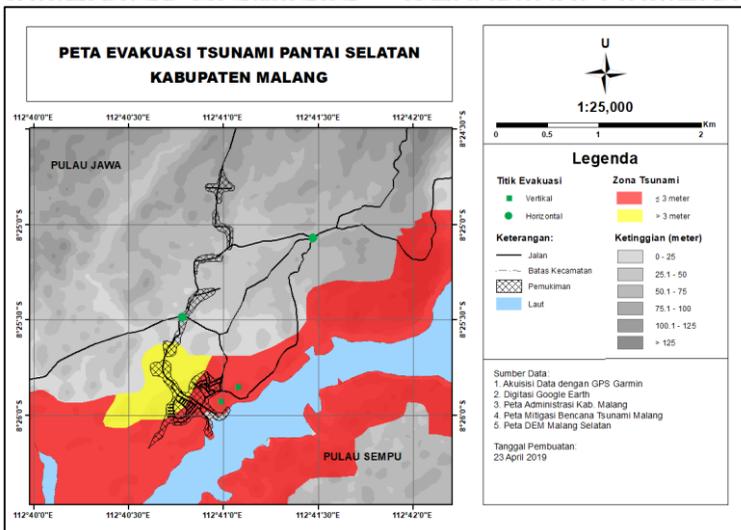


Gambar 4. 16 Peta evakuasi Pantai Goa Cina

#### 4.6 Analisis Titik Evakuasi Pantai Sendang Biru

Hasil penelitian di Pantai Sendang Biru didapatkan dua titik evakuasi vertikal yaitu TV13 dengan nilai elevasi 41 mdpl dan TV14 dengan nilai elevasi 38 mdpl, lalu dua titik evakuasi horizontal yaitu TH9 dan TH10 (Gambar 4.14). Diperlukan banyak titik evakuasi karena terdapat adanya zona pemukiman di dekat pantai.

Analisis kebutuhan ruang evakuasi dilakukan pada titik evakuasi vertikal yaitu titik TV13 dan TV14. Didapatkan titik TV13 dapat menampung hingga 1.200 orang dengan luas 600 m<sup>2</sup> dan titik TV14 dapat menampung hingga 734 orang dengan luas 367 m<sup>2</sup>. Kedua titik tersebut memiliki total kapasitas ruang hingga 1.934 orang, dan melebihi jumlah pengunjung maksimal di Pantai Sendang Biru yaitu ± 300 orang. Dapat disimpulkan bahwa titik TV13 dan TV14 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal saat tsunami terjadi.



Gambar 4.17 Peta evakuasi Pantai Sendang Biru

Ditentukan juga titik evakuasi horizontal yaitu TH9 dan TH10. Titik TH9 memiliki jarak 1,32 km dari pantai dan 0,9 km dari pemukiman dengan nilai elevasi  $> 25$  mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.13). Titik TH10 memiliki jarak 1,86 km dari

pantai dan 1,94 km dari pemukiman dengan nilai elevasi > 25 mdpl berdasarkan data konturnya. Dapat disimpulkan bahwa titik TH9 dan TH10 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal ketika tsunami terjadi.



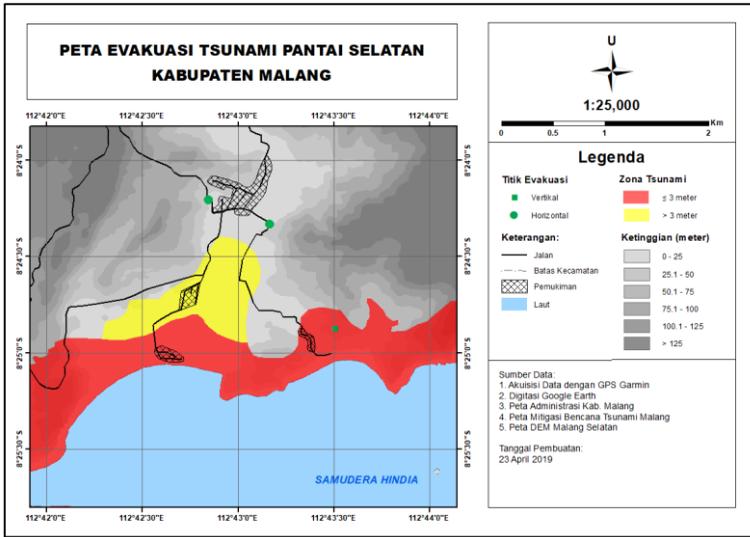
Gambar 4. 18 Titik dan jalur evakuasi Pantai Sendang Biru

#### 4.7 Analisis Titik Evakuasi Pantai Tamban dan Sendiki

Hasil penelitian di Pantai Tamban didapatkan titik evakuasi horizontal yaitu TH11 (Gambar 4.16) dan tidak didapatkan adanya titik evakuasi vertikal. Titik TH11 memiliki jarak 1,97 km dari pantai dan memiliki nilai elevasi > 25 mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.15). Dapat disimpulkan bahwa titik TH11 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal ketika tsunami terjadi.

Hasil penelitian di Pantai Sendiki didapatkan titik evakuasi vertikal yaitu TV15 (Gambar 4.16) dengan nilai elevasi 46 mdpl. Dilakukan analisis kebutuhan ruang evakuasi pada titik evakuasi vertikal TV15 dan didapatkan titik TV15 dapat menampung hingga 1.344 orang dengan luas 672 m<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan jumlah pengunjung maksimal Pantai Sendiki yaitu ± 150 orang/hari, dapat disimpulkan bahwa titik TV15 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal saat tsunami terjadi.

Diberikan juga opsi titik evakuasi horizontal pada Pantai Sendiki yaitu TH12 (Gambar 4.16) dengan jarak 2 km dari pantai, dengan nilai elevasi > 25 mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.15).



Gambar 4. 19 Peta Evakuasi Pantai Tamban dan Sendiki

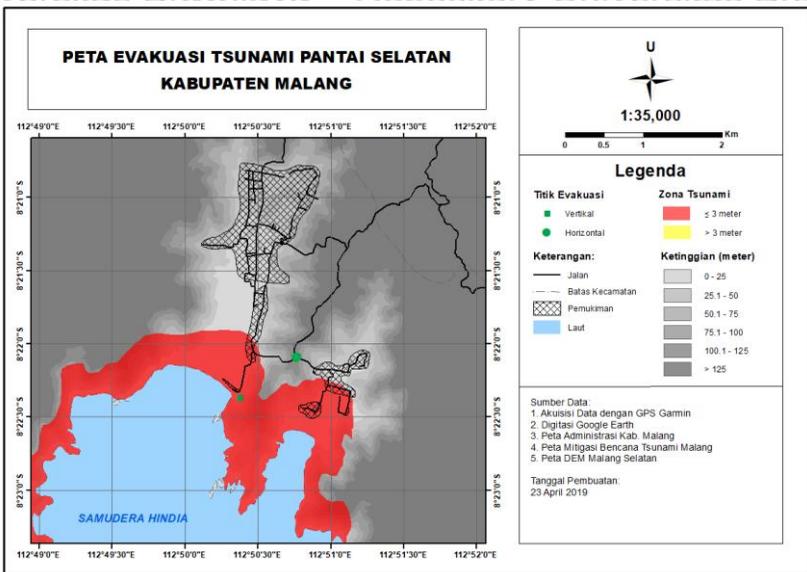


Gambar 4. 20 Titik dan jalur evakuasi Pantai Tamban dan Sendiki

#### 4.8 Analisis Titik Evakuasi Pantai Lenggoksono dan Wedi Awu

Hasil penelitian di Pantai Lenggoksono didapatkan satu titik evakuasi vertikal yaitu TV16 (Gambar 4.18) dengan nilai elevasi 32 mdpl. Dilakukan analisis kebutuhan ruang evakuasi pada titik tersebut dan didapatkan titik TV16 dapat menampung hingga 1100 orang dengan luas 550 m<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan jumlah pengunjung maksimal Pantai Lenggoksono yaitu ± 100 orang/hari, maka titik TV16 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal saat tsunami terjadi.

Hasil penelitian di Pantai Wedi Awu didapatkan satu titik evakuasi horizontal yaitu TH13 (Gambar 4.18). Titik TH13 memiliki jarak 1,61 km dari pantai dan memiliki nilai elevasi > 75 mdpl jika dilihat dari data konturnya (Gambar 4.17). Diberikan juga opsi jalur evakuasi dari Pantai Lenggoksono menuju titik TH13 dengan jarak 1,31 km. Maka dapat disimpulkan titik TH13 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal bagi Pantai Wedi Awu maupun Lenggoksono.



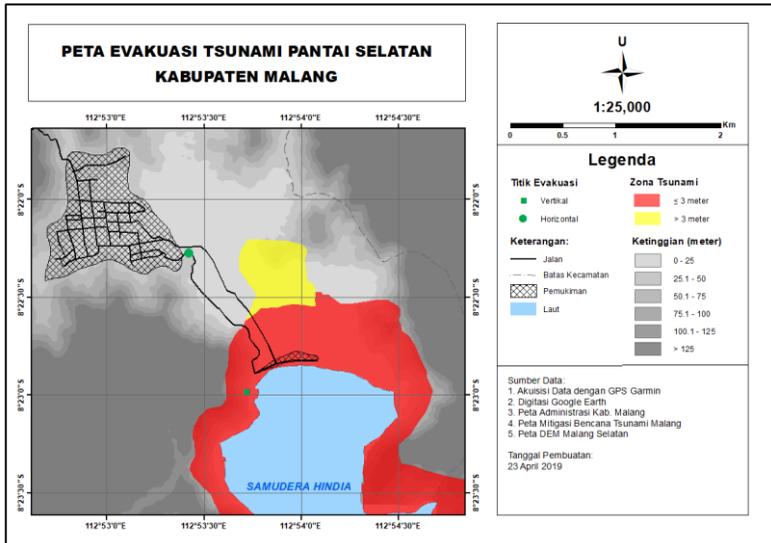
Gambar 4. 21 Peta evakuasi Pantai Lenggoksono dan Wedi Awu



Gambar 4. 22 Titik dan jalur evakuasi Pantai Lenggeksono dan Wedi Awu

#### 4.9 Analisis Titik Evakuasi Pantai Sipelot

Hasil penelitian di Pantai Sipelot didapatkan titik evakuasi vertikal TV17 dengan nilai elevasi 41 mdpl. Analisis kebutuhan ruang dilakukan pada titik evakuasi vertikal TV17, didapatkan titik TV17 dapat menampung hingga 700 orang dengan luas 350 m<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan jumlah pengunjung maksimal di Pantai Sipelot yaitu ± 200 orang/hari, maka titik TV17 sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal saat tsunami terjadi. Diberikan juga opsi titik evakuasi horizontal yaitu TH14 (Gambar 4.20) dengan jarak 1,51 km dari pantai dan nilai elevasi > 25 mdpl berdasarkan data konturnya (Gambar 4.19).



Gambar 4. 23 Peta evakuasi Pantai Sipelot



Gambar 4. 24 Titik dan jalur evakuasi Pantai Sipelot



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Didapatkan 18 titik evakuasi vertikal dan 16 titik evakuasi horizontal yang tersebar dari Pantai Balekambang hingga Pantai Sipelot. Setiap pantai memiliki jumlah titik evakuasi yang bervariasi dikarenakan topografi dataran tinggi di sekitar pantai yang berbeda-beda.
2. Dari 18 titik evakuasi vertikal yang didapat, disimpulkan 17 titik sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi vertikal ketika tsunami terjadi, 1 titik evakuasi vertikal di Pantai Bajul Mati dinyatakan tidak efektif karena kapasitas ruang yang dapat ditampung kurang dari jumlah pengunjung maksimal pada pantai tersebut.
3. Dari 16 titik evakuasi horizontal yang didapat, disimpulkan 14 titik sangat efektif untuk dijadikan titik evakuasi horizontal ketika tsunami terjadi, 1 titik di Pantai Taman Ayu dan 1 titik di Pantai Parangdowo dinyatakan tidak efektif karena jarak jalur evakuasi sudah melebihi jarak maksimum yang ditetapkan.
4. Ditemukan 2 dataran tinggi belum terakses yang dapat dijadikan sebagai titik evakuasi vertikal di Pantai Parang Dowo dan 2 titik di Pantai Goa Cina.

### **5.2 Saran**

Adapun saran yang diberikan setelah dilakukan penelitian ini adalah:

1. Perlunya alat untuk mengukur elevasi suatu dataran tinggi yang tidak dapat diakses agar nilai elevasi yang didapat lebih akurat dibandingkan dari *Google Earth*.
2. Diperlukan adanya survei lebih lanjut tentang lebar jalan dan perbandingannya dengan jumlah pengunjung agar dapat menentukan jalur yang lebih efektif sesuai dengan kapasitas ruang dan jumlah orang yang melewatinya.

Disarankan agar dataran-dataran tinggi yang tidak dapat diakses supaya dibuatkan akses menuju puncak dataran tinggi tersebut untuk dijadikan titik evakuasi vertikal ketika tsunami terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2011. *Indeks Rawan Bencana Indonesia*. BNPB.

BAKORNAS Penanggulangan Bencana, 2007. *Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Mitigasi Lahar BAKORNAS PB.

ESDM, 2010. *Peta Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Provinsi Jawa Timur Skala 1:500.000*.

<http://www.vsi.esdm.go.id/galeri/index.php/Peta-Kawasan-RawanBencana-Gempabumi-dan-Tsunami/KRB-Gempabumi-Jawa-Timur> (diakses tanggal 23 Maret 2019).

FEMA P646, 2008. *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency.

Fujima, K., Achmad, F., Shigihara, Y. dan Mizutani, N., 2009. Estimation of Tsunami Force Acting on Rectangular Structures, *Journal of Disaster Research*. Vol. 4, No. 6.

Hamilton, W.R., 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*. United States: US Geological Survey.

Latief, H., 2005. *Tsunami Aceh 2004*. [http://www.emsccsem.org/Doc/SUMATRA\\_261204/Presentasi-tsunami-Aceh-hamzah.pdf](http://www.emsccsem.org/Doc/SUMATRA_261204/Presentasi-tsunami-Aceh-hamzah.pdf) (diakses pada 23 Maret 2019).

Noor, D., 2009. *Pengantar Geologi*. Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan.

Refrizon dan Suwarsono, 2006. Hubungan Aktivitas Gempa Tektonik Daerah Suduction Indo-Australia Eurasia Segmen Enggano Tahun 2000 dengan Aktivitas Gempa Vulkanik Gunung Api Kaba dan Dempo. *Jurnal Gradien*. Vol. 2, No. 2.

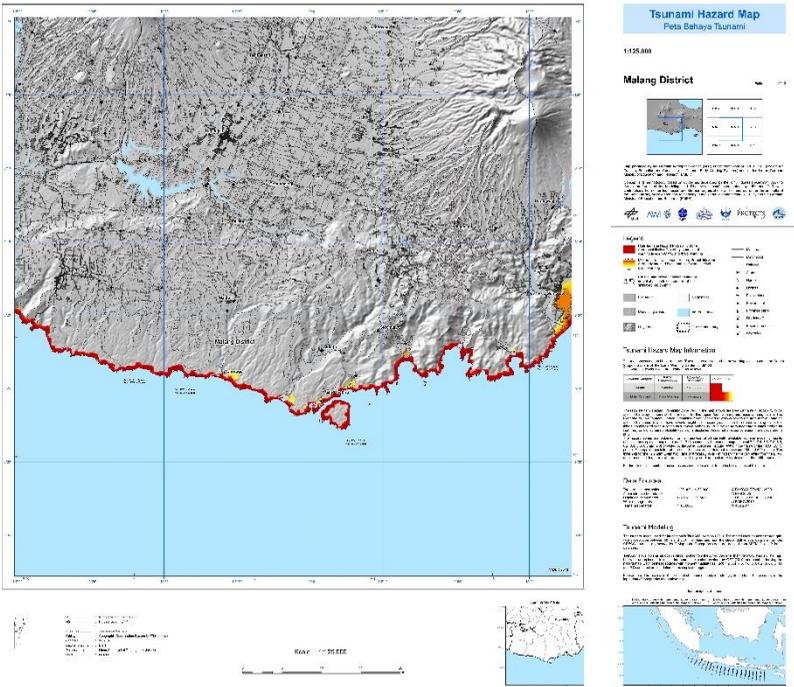
Setyonegoro, W., 2011. Tsunami Numerical Simulation Applied to Tsunami Early Warning System. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol. 12, No. 1.

Sujanto, R., Hadisantono, Kusnama, R., Chaniago dan Baharuddin, R., 1992. *Peta Geologi Lembar Turen*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

TechnoGIS Indonesia, 2015. *Modul Pelatihan TechnoGIS*. Yogyakarta: Tim Penyusun.

Trianawati, N., 2008. *Tsunami*. Jakarta: Universitas Pendidikan Indonesia.

# LAMPIRAN



Lampiran 1. Peta Rawan Tsunami