

*Skripsi Geofisika*

**Analisis Jalur Evakuasi Tsunami Di Kota Luwuk**



**Oleh**

**SITI WAHYUNI M. WAEL**

**H061181002**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2022**

**HALAMAN JUDUL**

**Analisis Jalur Evakuasi Tsunami Di Kota Luwuk**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains*

*Pada Departemen Geofisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*

**SITI WAHYUNI M. WAEL**

**H061181002**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS JALUR EVAKUASI TSUNAMI DI KOTA LUWUK**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**SITI WAHYUNI M. WAEL**

**H061 18 1002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

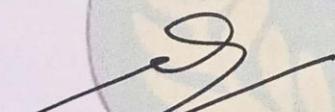
Pada tanggal 27 Mei 2022

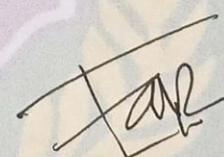
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

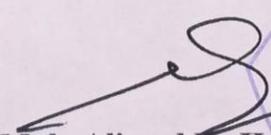
**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pertama**

  
**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**  
NIP. 196709291993031003

  
**Muh. Fawzy Ismullah M, S.Si., MT**  
NIP. 199111092019031010

**Ketua Departemen Geofisika,**

  
**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**  
NIP. 196709291993031003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Siti Wahyuni M. Wael

Nim : H061181002

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### **Analisis Jalur Evakuasi Tsunami di Kota Luwuk**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 Juni 2022

Yang Menyatakan



Siti Wahyuni M. Wael

## SARI BACAAN

Tsunami adalah serangkaian gelombang laut yang umumnya paling sering diakibatkan oleh gerakan-gerakan dahsyat di dasar laut. Indonesia adalah salah satu negara dengan aktifitas seismik teraktif di dunia yang berpotensi mengalami bencana alam tsunami karena letaknya berada di antara tiga lempeng besar. Luwuk memiliki aktivitas gempabumi yang cukup tinggi hal ini disebabkan karena lokasinya yang berada pada zona sesar aktif baik di daratan maupun di lautan yang menyebabkan daerah Luwuk ini memiliki resiko tinggi terhadap tsunami sehingga perlu adanya tindak lanjut mengenai jalur evakuasi tsunami di daerah Luwuk. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat peta tinggi genangan dan zona bahaya tsunami, membuat peta waktu evakuasi tsunami, dan membuat peta jalur evakuasi tsunami serta titik rekomendasi *shelter* di Kota Luwuk. Pada penelitian ini menggunakan metode *Cost Distance* yang berfungsi mengukur garis lurus dan menghitung jarak dan arah dari setiap sel ke sumber terdekat. Hasil dari penelitian ini untuk tinggi genangan tsunami dan zona bahaya dengan asumsi 3 meter yaitu sebesar 136,954 Ha dan untuk 7 meter yaitu sebesar 356.03 Ha, jalur evakuasi terpanjang yaitu 1.100 meter yang berada di Kelurahan Karaton, dan terdapat sebanyak 5 titik rekomendasi *shelter* dengan melihat jumlah bangunan di daerah yang ingin di buat *shelter*.

Kata kunci : Luwuk, Jalur Evakuasi Tsunami, *Cost Distance*

## ABSTRACT

A tsunami is a series of ocean waves that are generally most often caused by violent movements on the ocean floor. Indonesia is one of the countries with the most active seismic activity in the world which has the potential to experience a tsunami natural disaster because it is located between three large plates. Luwuk has a fairly high earthquake activity, this is due to its location in an active fault zone both on land and at sea which causes the Luwuk area to have a high risk of tsunamis so that there is a need for follow-up on tsunami evacuation routes in the Luwuk area. The purpose of this research is to make a map of the inundation height and tsunami hazard zone, to make a map of the tsunami evacuation time, and to make a map of the tsunami evacuation route and recommendation points *shelters* in Luwuk City. In this study using the *Cost Distance* which functions to measure straight lines and calculate the distance and direction from each cell to the nearest source. The results of this study for the height of the tsunami inundation and the hazard zone with the assumption of 3 meters are 136.954 Ha and for 7 meters are 356.03 Ha, the longest evacuation route is 1,100 meters in the Karaton Village, and there are points recommendation *shelter* by looking at the number of buildings in the area you want to make a *shelter*.

Keywords : Luwuk, Tsunami Evacuation Route, *Cost Distance*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaykum Wa Rahmatullaahi Wa Barakaatuuh*

*Alhamdulillahirabbil'alamiin* puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang memiliki keistimewaan dan pemberian segala kenikmatan besar, baik nikmat iman, kesehatan dan kekuatan didalam peyusunan skripsi ini. Shalawat serta salam kita haturkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammada SAW, para keluarga, sahabat-sahabat beliau dan penegak Sunnah-Nya sampai kelak akhir zaman. Karena hanya taufik dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Jalur Evakuasi Tsunami Di Kota Luwuk**” . dalam penulisan skripsi ini, penulis dengan segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan dapat melewati segala hambatan serta masalah berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak.

Oleh karena itu izinkan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta, bapak **Muhammad Wael** dan Ibu **Fatma Hi. Noh** yang telah Allah anugerahkan kekuatan dan ketegaran tak terhingga dalam membimbing penulis. Dua insan yang senantiasa memanjatkan doa yang tak henti-hentinya , memberikan dukungan dan

dorongan serta nasehat kepada penulis disaat penulis penuh dengan ujian, selalu memberikan motivasi , dan selalu mencintai dan mengasihi penulis tanpa syarat sampai penulis bisa berada di titik ini. Terima kasih pula kepada adik-adikku tercinta **Nurnabila Lutfi. Mayang Sari, Sumiyati Saiful, dan Muhammd Ridza Lutfi** atas segala perhatian, semangat, kasih sayang, dan motivasi serta doanya. Terima kasih karena sudah menjadi bagian dari motivator yang luar biasa yang selalu menjadi alasan penulis sampai pada tahap yang penuh bahagia ini.

Tak lupa pula penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak **Dr. M Alimuddin Hamzah, M. Eng** selaku pembimbing utama yang dengan tulus meluangkan waktunya untuk memberikan nasehat, bimbingan, motivasi, saran, dan arahan sejak awal penelitian hingga selesainya penulisan skripsi ini.
2. Bapak **Muhammad Fauzy Ismullah Massinai, S.Si, MT** selaku pembimbing utama dan Penasehat Akademik yang dengan tulus meluangkan waktunya untuk memberikan nasehat,

bimbingan, motivasi, saran dan arahan dari awal penulis menjalani studi hingga menyelesaikan tugas akhir ini.

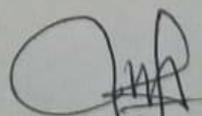
3. Bapak **Prof Dr. Dadang Ahmad Suriamihardja M.Eng** dan Bapak **Dr. Sakka, M.Si** selaku tim penguji skripsi yang telah memberikan masukan serta saran kepada penulis.
4. Seluruh Dosen Departemen Geofisika atas segala ilmu yang telah diajarkan kepada penulis dan seluruh jajaran Staf Departemen Geofisika yang telah memberikan bantuan dan arahan yang bermanfaat bagi penulis.
5. Bapak **Sofyan S.si** dan Bapak **Hendrik S.Si** selaku pembimbing penulis di BMKG Stasiun Geofisika Palu yang dengan tulus meluangkan waktunya untuk memberikan nasehat, bimbingan, motivasi, saran, dan arahan sejak awal penelitian hingga selesainya penulisan skripsi ini.
6. Seluruh jajaran Staf BMKG Stasiun Geofisika Palu yang sudah membantu penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan saya **Fhauziah Suci Ramadani, Windisary, dan Nuranisa** yang sudah berproses sama-sama dan saling membantu untuk bisa menyelesaikan skripsi ini.

8. Teman-teman seperjuangan dari Maba “Kalem Squad” **Marniati Ramli, Fira Angraini Syamsul, Ainul Fatima, Sri Wahyuni, Irmawati, Komang dan Heral** terima kasih karena telah menjadi partner dalam banyak hal.
9. Saudara-saudara **Geofisika 2018 dan Fisika 2018**, terima kasih banyak atas segala suka duka, canda tawa, pengalaman hidup yang telah kita lewati bersama tetap “**Satu Tekad Taklukan Waktu**”
10. Teman-teman **MIPA 2018**, terima kasih atas dukungan dan motivasinya kepada penulis .
11. Teman-teman **KKN G106 Tamalanrea 18** terima kasih atas kebersamaan selama proses KKN, sudah buat cerita baru selama 40 hari yang luar biasa.
12. Sahabat **Kiki dan Ana** yang baru penulis kenal selama KKN, terima kasih karena sudah banyak memberi saran dan motivasi dan membantu dalam proses pembuatan tugas akhir ini.
13. Sahabat seperjuangan di SMA **Rivda, Ardiyani, Nuria, dan Saina** terima kasih atas support dan saran dalam pembuatan tugas akhir ini.

14. Teman-teman UNTAD Gita, Nita, Ela, Mus, Wayan, Resky terima kasih sudah membantu penulis selama di Palu.
15. Teman seperjuangan KP Johanna Diharti dan Dedi R Makasaehe terima kasih untk pengalaman selama kurang lebih 2 bulan untuk menyelesaikan KP di Stasiun Meteorologi Palu.
16. Kakak Himafi 2015, 2016, 2017 terima kasih atas pembelajaran dan bimbingan selama berproses yang diberikan kepada penulis dalam berorganisasi.
17. Keluarga Besar Komunitas Peduli Anak Jalanan Makassar terima kasih atas pelajaran berharga, pengalaman hidup yang luar biasa yang kalian berikan kepada penulis dan tetap jadi orang baik salam KAMI PEDULI KARENA ITU KAMI BERBAGI.
18. Kakak – kakak dan teman – teman HIPMIN Makassar terima kasih karena sudah jadi tempat keluh kesah semasa di perantauan.

Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebut satu persatu yang telah membantu penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.

Makassar, 27 Mei 2022



Siti Wahyuni M Wael

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>SARI BACAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	4
I.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
I.4 Tujuan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
II.1 Sejarah Tsunami .....	6
II.2 Tsunami .....	7
II.2.1 Karakteristik Tsunami .....	10
II.1.3 Mitigasi Tsunami .....	16
II.2 Evakuasi.....	18
II.3 Sistem Informasi Geografis .....	20
II.3.1 Pemodelan Analisis Genangan Tsunami.....	22
II.3.2 <i>Cost Distance</i> .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
III.1 Lokasi Penelitian .....	29
III.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	29
III.2.1 Alat .....	29

III.2.2 Bahan .....	30
III. 3 Prosedur Penelitian.....	30
III. 4 Bagan Alir .....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
IV.1 Analisis Tinggi Genangan Tsunami Dan Zona Bahaya.....	33
IV.1.1 Peta Tinggi Genangan Tsunami.....	33
IV.1.2 Peta Zona Bahaya .....	36
IV.2 Analisis Waktu Evakuasi Tsunami .....	38
IV.2.1 Tinggi Tsunami 3 Meter .....	39
IV.2.2 Tinggi Tsunami 7 Meter .....	43
IV.3 Analisis Jalur Evakuasi dan Rekomendasi <i>Shelter</i> .....	47
IV.3.1 Peta Jalur Evakuasi .....	47
IV.3.1 Peta Titik Rekomendasi <i>Shelter</i> .....	51
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>54</b>
V.1 Kesimpulan.....	54
V.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>556</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>559</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Gelombang tsunami (Power & Leonard., 2013).....	8
<b>Gambar 2.2</b> Lempeng tektonik bergerak naik (disaster.elvini.net/tsunami.cgi). .....	12
<b>Gambar 2.3</b> Lempeng tektonik bergerak turun (disaster.elvini.net/tsunami.cgi)	12
<b>Gambar 2.4</b> Parameter gelombang tsunami (Puspitoo, 2010) .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Proses pencarian rute .....	25
<b>Gambar 2.6</b> Bobot yang mempengaruhi pencarian jarak (Rostianingsih, 2001)	25
<b>Gambar 2.7</b> Perhitungan bobot sel tetangga dari sel asal (Rostianingsih, 2001)	26
<b>Gambar 2.8</b> Perhitungan Euclidean untuk Titik Horisontal atau Vertikal) (Rostianingsih, 2001) .....	26
<b>Gambar 2.9</b> Perhitungan Euclidean Untuk Titik Diagonal (Rostianingsih, 2001)..	
<b>Gambar 3.1</b> Lokasi Penelitian .....	29
<b>Gambar 3.2</b> Bagan alir penelitian .....	32
<b>Gambar 4.1</b> Peta Tinggi Genagan Tsunami 3 Meter di Kota Luwuk.....	34
<b>Gambar 4.2</b> Peta Tinggi Genagan Tsunami 7 Meter di Kota Luwuk.....	35
<b>Gambar 4.3</b> Peta Zona Bahaya di Kota Luwuk .....	37
<b>Gambar 4.4</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 3 meter dengan kecepatan 1,1 m/s ( <i>slow walk</i> ) .....	39
<b>Gambar 4.5</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 3 meter dengan kecepatan 1,52 m/s ( <i>fast walk</i> ).....	40
<b>Gambar 4.6</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 3 meter dengan kecepatan	

1,79 m/s ( <i>slow run</i> ) .....	41
<b>Gambar 4.7</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 3 meter dengan kecepatan	
3,85 m/s ( <i>fast run</i> ) .....	42
<b>Gambar 4.8</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 7 meter dengan kecepatan	
1,1 m/s ( <i>slow walk</i> ) .....	43
<b>Gambar 4.9</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 7 meter dengan kecepatan	
1,52 m/s ( <i>fast walk</i> ).....	44
<b>Gambar 4.10</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 7 meter dengan kecepatan	
1,79 m/s ( <i>slow run</i> ) .....	45
<b>Gambar 4.11</b> Peta waktu evakuasi tsunami asumsi 7 meter dengan kecepatan	
3,85 m/s ( <i>fast run</i> ).....	46
<b>Gambar 4.12</b> Peta Jalur Evakuasi Tsunami di Kota Luwuk.....	49
<b>Gambar 4.13</b> Peta Jalur Evakuasi Tsunami di Kota Luwuk.....	50
<b>Gambar 4.14</b> Peta Penempatan Shelter di Kota Luwuk .....	52

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Periode ulang tsunami (Horspool at al., 213) (Horspool at al., 213).....	9
<b>Tabel 2.2</b> Perbandingan Gelombang Tsunami dengan Ombak Laut Biasa (Sumber : <a href="http://disaster.elvini.net/tsunami.cgi">disaster.elvini.net/tsunami.cgi</a> ) .....	11
<b>Tabel 2.3</b> Nilai Koefisien Kekasaran (Ridwan dkk., 2014) .....	23
<b>Tabel 2.4</b> Kecepatan Berjalan Kaki (Jones et al., 2014) .....	28
<b>Tabel 4.1</b> Kepadatan Penduduk di Luwuk (BPS,2021).....	38
<b>Tabel 4.2</b> Titik Koordinat penempatan <i>Shelter</i> di Kota Luwuk .....	53

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah salah satu negara dengan aktifitas seismik teraktif di dunia yang berpotensi mengalami bencana alam tsunami karena letaknya berada di antara tiga lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik yang memicu terjadinya gempabumi dengan intensitas tinggi dan sangat rawan terhadap kejadian tsunami. Tsunami yang dibangkitkan oleh gempabumi mencapai 90,5% (95 kejadian) dari 105 kejadian tsunami yang pernah terjadi di Indonesia, kemudian oleh erupsi vulkanik 8,6% (9 kejadian) dan oleh tanah longsor 1%. Wilayah pantai di Indonesia merupakan wilayah yang rawan terjadi bencana tsunami terutama Pantai Barat Sumatera, Pantai Selatan Pulau Jawa, Pantai Utara dan Selatan pulau-pulau Nusa Tenggara, pulau-pulau di Maluku, Pantai Utara Irian Jaya dan hampir seluruh Pantai di Sulawesi (Latief et al., 2016)

Sulawesi terletak di Blok Sunda yang terletak di sebelah barat laut Lempeng Indo-Australia, sebelah timur Lempeng Eurasia, dan sebelah barat Lempeng Pasifik, evolusi tektoniknya sangat dipengaruhi oleh banyak mekanisme pergerakan lempeng-lempeng pengapitnya menyebabkan kawasan tersebut sangat kompleks yang terekspresikan dengan banyaknya sesar (patahan) naik dan sesar geser. Provinsi Sulawesi Tengah merupakan bagian dari kerangka

sistem tektonik Indonesia di daerah ini terletak pada zona *triple junction* atau tiga lempeng tektonik utama dunia, sehingga ketiganya bertumbukkan mengakibatkan Provinsi Sulawesi Tengah memiliki aktivitas kegempaan yang tinggi di Indonesia. Wilayah Sulawesi Tengah paling tidak telah mengalami 19 kali kejadian gempa bumi merusak (*destructive earthquake*) sejak tahun 1910 hingga 2013 (Zakaria & Sidarto, 2015)

Luwuk sendiri mempunyai aktivitas gempa bumi yang cukup tinggi hal ini disebabkan karena lokasinya yang berada pada zona sesar aktif baik di daratan maupun di lautan yang menyebabkan daerah Luwuk ini memiliki resiko tinggi terhadap tsunami sehingga perlu adanya tindak lanjut mengenai jalur evakuasi tsunami di daerah Luwuk. Secara tektonik di wilayah ini terdapat beberapa sesar aktif seperti Sesar Naik Batui, Sesar Balantak, Sesar Ambeleng, dan Sesar Peleng (Naryanto, 2017)

Menurut katalog tsunami Indonesia BMKG tahun 2018 Kota Luwuk sendiri pada tahun 2000 pernah dilanda gempa dengan kekuatan  $M_w$  7,6 yang mengakibatkan tsunami dengan ketinggian 3 hingga 6 m dengan jangkauan tsunami sejauh 100 m dari garis pantai dan kurang lebih memakan korban meninggal dunia sebanyak 50 orang. Maka agar tidak banyak menimbulkan korban jiwa di kemudian hari diperlukan adanya antisipasi pencegahan berupa penentuan jalur evakuasi tsunami (Irsyam.M, 2018).

Salah satu langkah mitigasi adalah dengan membuat peta jalur evakuasi tsunami dengan menggunakan metode *Cost Distance*. Metode ini berfungsi

untuk mengukur garis lurus jarak dari setiap sel ke sumber terdekat, tidak hanya dapat menentukan lokasi, namun juga dapat menghitung jarak dan arah ke sumber terdekat untuk mengurangi dampak negatif bencana. Metode ini juga digunakan oleh Wood et al (2016) di Barat Laut Pasifik Amerika Serikat; Schmidlein et al (2015) di Seward, Alaska; Fraser et al (2014) Kota Napier Hawkes' Bay, Selandia Baru. Jalur evakuasi ini akan memudahkan masyarakat untuk menghindari bencana yang akan terjadi di Kota Luwuk. Masyarakat memerlukan jalur evakuasi ini agar jika terjadi tsunami mereka dapat dengan mudah dan cepat ke tempat evakuasi serta melewati jalan yang benar sesuai dengan jalurnya sehingga dapat mengurangi resiko jatuhnya korban ancaman tsunami.

Berdasarkan latar belakang di atas penelitian ini difokuskan untuk pembuatan pemetaan tinggi genangan tsunami dan zona bahaya, pemetaan waktu evakuasi yang dibutuhkan dengan kecepatan yang berbeda-beda serta pembuatan tempat evakuasi vertikal (*shelter*) untuk dijadikan alternatif untuk masyarakat setempat dalam proses evakuasi tsunami karena mengingat jumlah penduduk yang banyak perlu adanya pembuatan jalur evakuasi tsunami di Kota Luwuk.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa luasan wilayah zona bahaya di Kota Luwuk dengan asumsi tinggi gelombang 3 meter dan 7 meter pada garis pantai ?
2. Berapa waktu yang dibutuhkan masyarakat untuk sampai di titik aman, jika terjadi tsunami di Kota Luwuk ?
3. Bagaimana jalur evakuasi tsunami, dan titik penempatan rekomendasi *shelter* di Kota Luwuk ?

## **I.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini dibatasi menggunakan data sekunder berupa data DEM (DEMNAS, 2018) , tutupan lahan (BIG, 2013) , digitasi bangunan dan jalan (Citra Google *Earth*, 2018) dengan metode *Cost Distance* menggunakan *Tools Pedestrian Evacuation Analysis*, *Software Arcgis 10.8*. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan peta tinggi genangan tsunami dan zona bahaya dengan asumsi tinggi gelombang 3 meter dan 7 meter, peta waktu evakuasi tsunami, peta jalur evakuasi tsunami dengan shelter di Kota Luwuk

## **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat peta tinggi genangan tsunami dan zona bahaya dengan asumsi tinggi gelombang 3 meter dan 7 meter pada garis pantai di Kota Luwuk.

2. Membuat peta waktu evakuasi tsunami jika terjadi tsunami di Kota Luwuk.
3. Membuat peta waktu evakuasi tsunami, jalur evakuasi tsunami, dan penempatan shelter di Kota Luwuk.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Sejarah Tsunami**

Menurut katalog tsunami Indonesia BMKG tahun 2019, pada tahun 2000 tepatnya pada tanggal 4 Mei telah terjadi tsunami akibat gempa dengan kekuatan Mw 7,6 di Banggai. Tsunami ini memiliki ketinggian yang diperkirakan mencapai hingga 3-6 meter di Kecamatan Totikum, Kayutanyo, dan Uwedikan dan mencapai sejauh 100 meter dari garis pantai (Sadly, 2019)

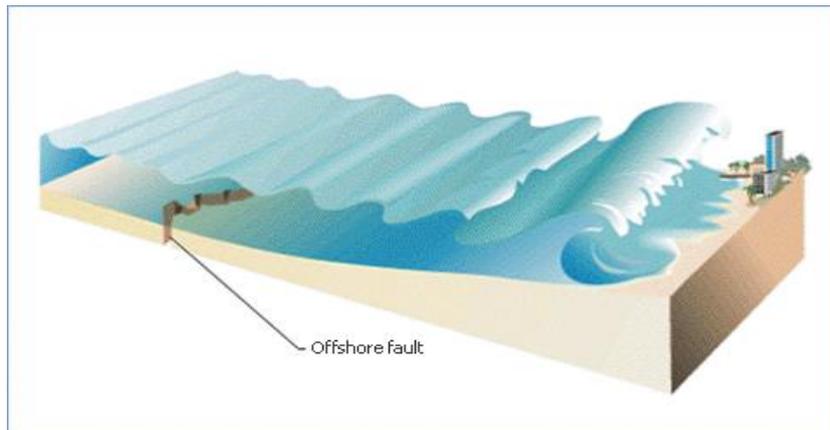
Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Tahun 2019 terjadi gempa 6,9 yang berpotensi tsunami mengguncang sebagian wilayah Sulawesi Tengah. Pusat gempa ini berada pada 1,90° LS dan 122,54° BT dengan kedalaman 10 km. Struktur sesar yang menjadi pembangkit gempa ini adalah Sesar Peleng, berdasarkan lokasi titik hiposenternya, gempa yang terjadi tergolong dangkal akibat aktivitas sesar aktif. Sesar Peleng mempunyai jalur yang berarah barat daya–timur laut di Pulau Peleng dan menerus ke Teluk Tolo. Sesar Peleng merupakan sesar aktif yang memiliki laju sesar sebesar 1,0 milimeter per tahun dan magnitudo maksimum yang mencapai magnitudo 6,9. Hasil analisis mekanisme sumber menunjukkan bahwa gempa ini dibangkitkan oleh deformasi batuan dengan mekanisme pergerakan mendatar (BNPB, 2019).

Pada tahun 2015 juga pernah terjadi gempa bumi di Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) gempa bumi terjadi pada tanggal 15 Februari, pusat gempa bumi berada pada koordinat  $0.53^{\circ}\text{LS}$  dan  $123.74^{\circ}\text{BT}$  dengan kekuatan  $M_w$  5.2 pada kedalaman 12 km berjarak 107 km Barat Daya Bolaang Mongondow Selatan Sulawesi Utara atau berjarak 116 km Timur Laut Kota Luwuk Sulawesi Tengah.

## **II.2 Tsunami**

Kata “tsunami” dalam bahasa Jepang yang ditulis dalam dua karakter yaitu *tsu* yang artinya pelabuhan dan *nami* yang artinya gelombang. Keduanya berarti “gelombang besar di pelabuhan”. Sehingga dalam istilah yang paling sederhana, tsunami adalah serangkaian gelombang laut yang umumnya paling sering diakibatkan oleh gerakan-gerakan dahsyat di dasar laut. Dalam beberapa hal, tsunami menyerupai riak-riak air yang melebar dari tempat dilemparkannya sebuah batu ke dalam air, namun tsunami dapat terjadi dalam skala yang luar biasa besarnya (Rusli et al., 2010)

Tsunami adalah perpindahan badan air atau gelombang laut yang terjadi karena adanya gangguan impulsif. Gangguan *impulsive* tersebut terjadi akibat adanya perubahan bentuk dasar laut yang disebabkan oleh perubahan permukaan laut secara vertikal dengan tiba-tiba atau dalam arah horizontal (Bakornas PB, 2007).



**Gambar 2.1** Gelombang tsunami (Power & Leonard., 2013)

Gambar 2.1 di atas menjelaskan mengenai tinggi gelombang tsunami pada saat mendekati pantai akan mengalami perbesaran karena adanya penumpukan massa air akibat adanya penurunan kesempatan penjalaran. Tinggi tsunami yang ada di laut dalam hanya sekitar 1 - 2 meter, saat mendekati pantai dapat mencapai tinggi puluhan meter. Tinggi di antaranya sangat ditentukan oleh karakteristik sumber pembangkit tsunami, morfologi dasar laut, serta bentuk pantai. Kerusakan yang diakibatkan tsunami biasanya disebabkan oleh dua penyebab utama, yaitu terjangan gelombang tsunami dan kombinasi akibat guncangan gempa dan terjangan gelombang tsunami.

**Tabel 2.1** Periode ulang tsunami (Horspool et al., 2013)

No	Kabupaten/Kota	Periode ulang	
		tsunami 500 tahun	tsunami 2500 tahun
1	Banggai	3,2	6,5
2	Morowali	2,8	5,7
3	Banggai kepulauan	3,5	7,2

4	Tojo Unauna	2,0	3,7
5	Buol	6,7	10,4

Tabel 2.1 di atas digunakan untuk mengidentifikasi kabupaten atau kota yang peluang besar untuk mengalami tsunami, kolom ke 3 dan 4 menunjukkan perkiraan ketinggian tsunami dalam periode ulang 500 dan 2500 tahun.

Penentuan daerah rawan tsunami di Kota Luwuk ini berdasarkan perkiraan ketinggian tsunami dalam periode ulang 500 dan 2500 tahun serta kejadian tsunami yang pernah terjadi dengan memperhitungkan karakteristik wilayah. Penentuan tingkat kerawanan tsunami dilakukan melalui asumsi nilai koefisien kekasaran dari setiap variabel yang menjadi kriteria dalam penentuan daerah rawan tsunami. Variabel yang dominan memiliki nilai paling besar berdasarkan tingkat pengaruh variabel tersebut terhadap potensi terbentuknya tsunami dengan tujuan untuk menyusun urutan tingkat kerawanan tsunami

Dapat di lihat dari return periode ulang di atas kota Luwuk memiliki ketinggian 3,2 meter dan 6,7 meter. Dari pertimbangan ini penelitian ini menggunakan asumsi ketinggian 3 meter dan 7 meter.

Gempabumi dan tsunami merupakan bencana alam yang berdampak pada kawasan pesisir, dapat diuraikan menjadi sebagai berikut (Setyawan, 2007)

- 1) Gempabumi merupakan getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang

seismik. Gempabumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Frekuensi suatu wilayah, mengacu pada jenis dan ukuran gempabumi yang dialami selama periode waktu.

- 2) Tsunami merupakan fenomena gelombang raksasa yang melanda ke daratan. Fenomena ini dapat terjadi karena gempabumi atau gangguan berskala besar di dasar laut, seperti longsoran bawah laut atau erupsi letusan gunung api di bawah laut.

### **II.2.1 Karakteristik Tsunami**

Perilaku gelombang tsunami sangat berbeda dari ombak laut biasa. Gelombang tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi dan dapat merambat lintas-samudera dengan sedikit energi berkurang. Tsunami dapat menerjang wilayah yang berjarak ribuan kilometer dari sumbernya, sehingga mungkin ada selisih waktu beberapa jam antara terciptanya gelombang ini dengan bencana yang ditimbulkannya di pantai. Waktu perambatan gelombang tsunami lebih lama dari waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk mencapai tempat yang sama (Aswin, 2010)

Pada Tabel 2.2 di bawah periode tsunami cukup bervariasi, mulai dari 2 menit hingga lebih dari 1 jam. Panjang gelombangnya sangat besar, antara 100-200 km. Bandingkan dengan ombak laut biasa di pantai selancar (*surfing*) yang mungkin hanya memiliki periode 10 detik dan panjang gelombang 150 meter. Karena itulah pada saat masih di tengah laut, gelombang tsunami hampir tidak nampak dan hanya terasa seperti ayunan air saja. Berikut ini merupakan

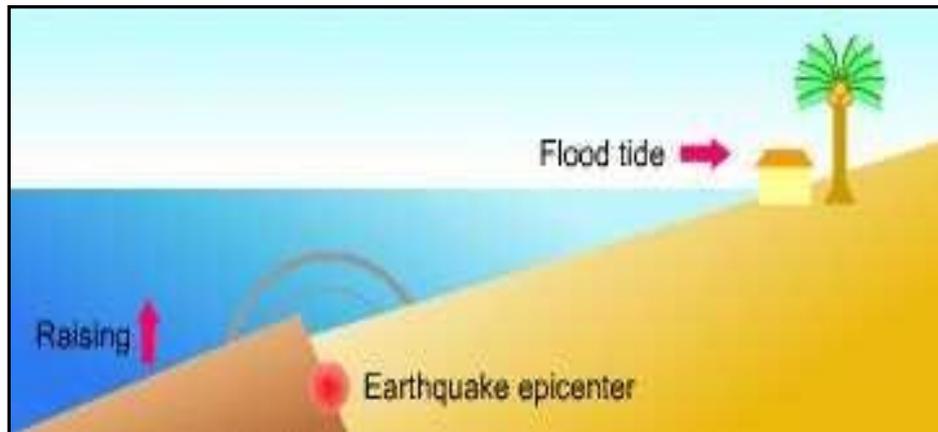
perbandingan gelombang tsunami dan ombak laut biasa :

**Tabel 2.2** Perbandingan gelombang tsunami dengan ombak laut biasa  
(disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

<b>Parameter</b>	<b>Gelombang Tsunami</b>	<b>Ombak Biasa</b>
Periode gelombang	2 menit — > 1 jam	± 10 detik
Panjang gelombang	100 — 200 km	150 m

Kecepatan tsunami bergantung kepada kedalaman air. Di laut dalam dan terbuka, kecepatannya mencapai 800-1000 km/jam sedangkan ketinggiannya hanya mencapai 30-60 cm, dengan panjang gelombang mencapai ratusan kilometer, sehingga keberadaan mereka di laut dalam susah dibedakan dengan gelombang biasa, Berbeda dengan gelombang karena angin hanya bagian permukaan atas yang bergerak. Gelombang tsunami mengalami pergerakan di seluruh bagian partikel air, mulai dari permukaan sampai bagian dalam samudera. Ketika tsunami memasuki perairan yang lebih dangkal, ketinggian gelombangnya meningkat dan kecepatannya menurun drastis, meski demikian masih sangat kuat untuk menghanyutkan segala benda yang dilaluinya. Arus tsunami dengan ketinggian 70 cm masih cukup kuat untuk menyeret dan menghanyutkan orang (Aswin, 2010)

Lempeng tektonik sebelah kiri bergerak naik (*raising*), maka sebelum gelombang air yang lebih tinggi datang menerjang (tsunami), akan terjadi air pasang di wilayah pantai. Dapat di lihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



**Gambar 2.2** Lempeng tektonik bergerak naik  
([disaster.elvini.net/tsunami.cgi](http://disaster.elvini.net/tsunami.cgi)).

Apabila lempeng tektonik sebelah kiri bergerak turun (*sinking*), maka sebelum gelombang tsunami datang, pantai biasanya menjadi surut dan bisa mencapai lebih dari 800 m menjauhi pantai. Dapat di lihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut :



**Gambar 2.3** Lempeng tektonik bergerak turun  
([disaster.elvini.net/tsunami.cgi](http://disaster.elvini.net/tsunami.cgi))

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 samudera yang dalam.

Gelombang air-dangkal bergerak dengan kecepatan yang setara dengan akar kuadrat hasil perkalian antara percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dan kedalaman air laut. Untuk mencari waktu tiba gelombang menggunakan persamaan (Sutrisno, 2006)

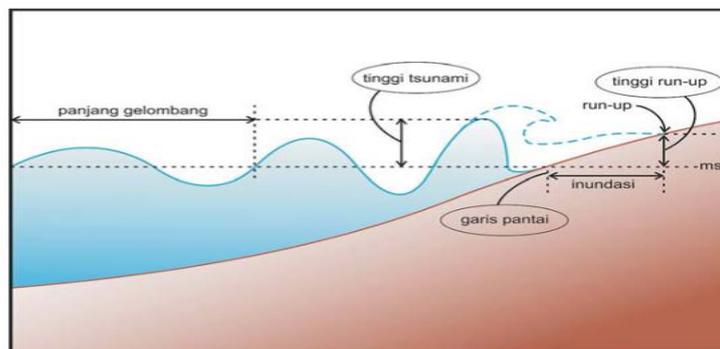
$$v = \sqrt{g \cdot h} \quad (2.1)$$

dengan :

$v$  = kecepatan gelombang tsunami (m/s)

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

$h$  = kedalaman laut (m)



Gambar 2.4 Parameter Gelombang Tsunami (Puspito, 2010)

Tsunami bisa mempunyai panjang gelombang lebih dari 200 km dengan kecepatan penjalaran melebihi 700 km/jam di laut dengan kedalaman sekitar 4.000 meter. Kecepatan tersebut berkurang menjadi sekitar 30 km/jam di laut dengan kedalaman 10 meter. Tinggi gelombang

tsunami saat mendekati pantai akan mengalami perbesaran. Tinggi tsunami yang di sumbernya hanya sekitar 1 – 2 meter, saat mendekati pantai dapat mencapai puluhan meter. Pada saat mencapai pantai gelombang tsunami akan pecah dan terus merayap ke daratan . Gambar 2.4 menunjukkan parameter gelombang tsunami Saat memasuki wilayah dangkal, kecepatan gelombang tsunami menurun sedangkan tingginya meningkat, menciptakan gelombang mengerikan yang sangat merusak (Puspito, 2010).

## **II.2.2 Sumber Utama Tsunami**

Tsunami dapat dipicu oleh bermacam-macam gangguan (*disturbance*) berskala besar terhadap air laut, misalnya gempabumi, pergeseran lempeng, meletusnya gunung berapi di bawah laut, atau tumbukan benda langit. Namun, 90% tsunami adalah akibat gempabumi bawah laut. Dalam rekaman sejarah beberapa tsunami diakibatkan oleh gunung meletus, misalnya ketika meletusnya Gunung Krakatau. Tsunami dapat terjadi apabila dasar laut bergerak secara tiba-tiba dan mengalami perpindahan vertikal (Power & Leonard, 2013).

Gerakan vertikal pada kerak bumi, dapat mengakibatkan dasar laut naik atau turun secara tiba-tiba, yang mengakibatkan gangguan kesetimbangan air yang berada di atasnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya aliran energi air laut, yang ketika sampai di pantai menjadi gelombang besar yang mengakibatkan terjadinya tsunami.

Beberapa penyebab terjadinya tsunami akan dijelaskan sebagai berikut :

**a. Longsor Lempeng Bawah Laut (*Undersea landslides*)**

Tsunami yang disebabkan oleh longsor di bawah laut dinamakan *Tsunami Submarine Landslide*. Longsor bawah laut ini biasanya disebabkan oleh gempa bumi tektonik atau letusan gunung bawah laut. Getaran kuat yang ditimbulkan oleh longsor kemudian bisa menyebabkan terjadinya tsunami. Selain itu, tabrakan lempeng di bawah laut ini juga bisa menyebabkan terjadinya longsor. Potensi tsunami akibat longsor bawah laut tersebut terdapat di sepanjang pantai.

**b. Gempabumi Bawah Laut (*Undersea Earthquake*)**

Gempa tektonik merupakan salah satu gempa yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi. Jika gempa semacam ini terjadi di bawah laut, air di atas wilayah lempeng yang bergerak tersebut berpindah dari posisi ekuilibriumnya. Gelombang muncul ketika air ini bergerak oleh pengaruh gravitasi kembali ke posisi ekuilibriumnya. Apabila wilayah yang luas pada dasar laut bergerak naik ataupun turun, tsunami dapat terjadi. Berikut ini adalah beberapa persyaratan terjadinya tsunami yang diakibatkan oleh gempa bumi :

- 1) Gempabumi yang berpusat di tengah laut dan dangkal (0 – 30 km)
- 2) Gempabumi dengan kekuatan sekurang-kurangnya Mw 6,5
- 3) Gempabumi dengan pola sesar naik atau sesar turun

### **c. Aktivitas Vulkanik (*Volcanic Activities*)**

Pergeseran lempeng di dasar laut, selain dapat mengakibatkan gempa juga seringkali menyebabkan peningkatan aktivitas vulkanik pada gunung berapi. Kedua hal ini dapat menggoncangkan air laut di atas lempeng tersebut. Demikian pula, meletusnya gunung berapi yang terletak di dasar samudera juga dapat menaikkan air dan membangkitkan gelombang tsunami.

### **d. Tumbukan Benda Luar Angkasa (*Cosmic-body Impacts*)**

Tumbukan dari benda luar angkasa seperti meteor merupakan gangguan terhadap air laut yang datang dari arah permukaan. Tsunami yang timbul karena sebab ini umumnya terjadi sangat cepat dan jarang mempengaruhi wilayah pesisir yang jauh dari sumber gelombang. Sekalipun begitu, apabila pergerakan lempeng dan tabrakan benda angkasa luar cukup dahsyat, kedua peristiwa ini dapat menciptakan megatsunami.

## **II.1.3 Mitigasi Tsunami**

Mitigasi merupakan tindakan atau upaya untuk meminimalkan dampak negative kerusakan lingkungan yang diantisipasi akan terjadi di masa yang akan datang dan merupakan investasi jangka panjang bagi masyarakat. Mitigasi dapat bersifat struktural maupun non-struktural. Terdapat kecenderungan bahwa sudah menjadi kebutuhan untuk lebih menitik beratkan pada upaya mitigasi dari pada respon pasca kerusakan lingkungan. Salah satu mitigasi bencana tsunami secara struktural adalah membangun bangunan *shelter*. Bangunan shelter adalah fasilitas umum yang apabila

terjadi bencana tsunami atau bencana yang lain digunakan untuk evakuasi pengungsi, namun bisa digunakan pula untuk fasilitas umum yang lain misalnya untuk tempat rekreasi atau ibadah atau yang lainnya, apabila tidak terjadi bencana. Syarat bangunan shelter adalah bangunan tingkat yang tahan gempa, tahan tsunami dan bisa menampung banyak orang (Yuhanah, 2014)

Mitigasi bencana yang efektif harus memiliki tiga unsur utama, yaitu penilaian bahaya, peringatan dan persiapan (Putera, 2018)

- a. Penilaian bahaya (*hazard assesment*); Diperlukan untuk mengidentifikasi populasi dan aset yang terancam, serta tingkat ancaman. Penilaian ini memerlukan pengetahuan tentang karakteristik sumber bencana, probabilitas kejadian bencana, serta data kejadian bencana di masa lalu. Tahapan ini menghasilkan Peta Potensi Bencana yang sangat penting untuk merancang kedua unsur mitigasi lainnya.
- b. Peringatan (*warning*); Diperlukan untuk memberi peringatan kepada masyarakat tentang bencana yang akan mengancam (seperti bahaya tsunami yang diakibatkan oleh gempabumi, aliran lahar akibat letusan gunung berapi, dan sebagainya). Sistem peringatan didasarkan pada data bencana yang terjadi sebagai peringatan dini serta menggunakan berbagai saluran komunikasi untuk memberikan pesan kepada pihak yang berwenang maupun masyarakat. Peringatan terhadap bencana yang akan mengancam harus dapat dilakukan secara cepat, tepat dan dipercaya.

c. *Persiapan (preparedness)*. Kegiatan kategori ini tergantung kepada unsur mitigasi sebelumnya (penilaian bahaya dan peringatan), yang membutuhkan pengetahuan tentang daerah yang kemungkinan terkena bencana dan pengetahuan tentang sistem peringatan untuk mengetahui kapan harus melakukan evakuasi dan kapan saatnya kembali ketika situasi telah aman. Tingkat kepedulian masyarakat dan pemerintah daerah dan pemahamannya sangat penting pada tahapan ini untuk dapat menentukan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi dampak akibat bencana. Selain itu jenis persiapan lainnya adalah perencanaan tata ruang yang menempatkan lokasi fasilitas umum dan fasilitas sosial di luar zona bahaya bencana (mitigasi non struktur), serta usaha-usaha keteknikan untuk membangun struktur yang aman terhadap bencana dan melindungi struktur akan bencana (mitigasi struktur).

## **II.2 Evakuasi**

Evakuasi merupakan suatu upaya pengungsian yang dilakukan karena terdapat beberapa penyebab yang memaksa suatu individu atau kelompok individu untuk melakukan pengungsian. Penyebab evakuasi dapat berupa fenomena alam, seperti cuaca ekstrim (badai, angin ribut, kebakaran karena kekeringan), fenomena geologi (gempabumi, aktivitas gunungapi, dan tsunami), serta aktivitas dampak manusia (kecelakaan industri, kegagalan teknologi, kecelakaan dan serangan teroris). Perhitungan waktu yang salah

akan menyebabkan suatu kondisi evakuasi terlambat dilakukan dan ancaman bahaya yang dihadapi akan semakin besar. Secara garis besar proses evakuasi dimulai dengan perhitungan yang tepat mengenai kapan akan melakukan evakuasi kemudian dilakukan persiapan evakuasi sebelum akhirnya melakukan evakuasi ketika bencana belum berdampak di wilayah tersebut (Zuilekom et al.,2005).

Jalur evakuasi adalah lintasan yang digunakan sebagai pemindahan langsung dan cepat dari orang-orang yang akan menjauh dari ancaman atau kejadian yang dapat membahayakan. Ada dua jenis evakuasi yang dapat dibedakan yaitu evakuasi skala kecil dan evakuasi skala besar. Contoh dari evakuasi skala kecil yaitu penyelamatan yang dilakukan dari sebuah bangunan yang disebabkan karena ancaman bom atau kebakaran. Contoh dari evakuasi skala besar yaitu penyelamatan dari sebuah daerah karena banjir, letusan gunung berapi atau badai. Dalam situasi ini yang melibatkan manusia secara langsung atau pengungsi sebaiknya didekontaminasi sebelum diangkut keluar dari daerah yang terkontaminasi (Sahetapy et al., 2016)

Syarat-syarat jalur evakuasi yang layak dan memadai tersebut adalah:

a. Keamanan Jalur

Jalur evakuasi yang akan digunakan untuk evakuasi haruslah benar-benar aman dari benda-benda yang berbahaya yang dapat menimpa diri.

b. Jarak Tempuh Jalur

Jarak jalur evakuasi yang akan dipakai untuk evakuasi dari tempat tinggal semula ketempat yang lebih aman haruslah jarak yang akan memungkinkan cepat sampai pada tempat yang aman.

c. Kelayakan Jalur

Jalur yang dipilih juga harus layak digunakan pada saat evakuasi sehingga tidak menghambat proses evakuasi.

Penentuan jalur evakuasi ini menggunakan prinsip *flow accumulation* untuk mencari arah jalur evakuasi. Prinsip ini idealnya dapat sesuai dengan kebutuhan masyarakat agar dapat mendukung dalam upaya evakuasi dan meminimalisir kerentanan masyarakat desa. Ada dua tempat evakuasi yaitu tempat evakuasi sementara dan tempat evakuasi akhir Selain jalur evakuasi, perlu dipertimbangkan juga penentuan titik kumpul sebagai tempat berkumpul sementara selama situasi tanggap bencana (Wiwaha et al., 2016)

### **II.3 Sistem Informasi Geografis**

SIG merupakan sejenis perangkat lunak, perangkat keras (manusia, prosedur, basis data dan fasilitas jaringan komunikasi) yang dapat digunakan untuk memfasilitasi proses pemasukan, penyimpanan, manipulasi, menampilkan dan keluaran data/ informasi geografis berikut atribut-atribut terkait. (Prahasta, 2009)

SIG adalah “sebuah sistem atau teknologi berbasis komputer yang dibangun dengan tujuan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengolah dan

menganalisa, serta menyajikan data dan informasi dari suatu objek atau fenomena yang berkaitan dengan letak atau keberadaannya di permukaan bumi (Ekadinata, 2008)

SIG dapat diuraikan menjadi beberapa sub-sistem sebagai berikut. (Prahasta, 2009) :

- a. Data masukan sub-sistem ini bertugas untuk mengumpulkan, mempersiapkan, dan menyimpan data spasial dan atributnya dari berbagai sumber. Sub-sistem ini pula yang bertanggungjawab dalam mengkonversikan atau mentransformasikan format-format data aslinya ke dalam format (*native*) yang dapat digunakan oleh perangkat SIG
- b. Data luaran : sub-sistem ini bertugas untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran (termasuk mengekspornya ke format yang dikehendaki) seluruh atau sebagian basis data (spasial) baik dalam bentuk II-3 *softcopy* maupun *hardcopy* seperti halnya tabel, grafik, peta, dan lain sebagainya.
- c. Data *Management* : sub-sistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun tabel-tabel atribut terkait ke dalam sebuah sistem basis data sedemikian rupa hingga mudah dipanggil kembali (*di-load* ke memori), *di-update*, dan *di-edit*.
- d. Data *Manipulation & Analysis* : sub-sistem ini menentukan informasiinformasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu, sub-sistem ini juga melakukan manipulasi (evaluasi dan penggunaan fungsi-

fungsi dan operator matematis & logika) dan pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan

### **II.3.1 Pemodelan Analisis Genangan Tsunami**

Bahaya tsunami didefinisikan sebagai tinggi gelombang tsunami yang mencapai garis pantai dan rambatan gelombang tsunami ke daratan sehingga menghasilkan luas genangan. Pemodelan luas genangan dilakukan dengan menggunakan model penurunan tinggi muka gelombang tsunami ketika mencapai daratan. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan penurunan tinggi gelombang tsunami dengan metode Hloss oleh Berryman (2006). Metode Hloss merupakan pemodelan genangan berdasarkan ketinggian gelombang dari garis pantai, kemiringan lereng, dan koefisien kekasaran permukaan dengan persamaan (Siregar et al., 2020)

$$H_{loss} = \left( \frac{167n^2}{H_0} \right)^{1/3} + 5 \sin s \quad (2.2)$$

Hloss = Nilai penurunan air saat masuk ke daratan

n = Koefisien kekasaran permukaan

H<sub>0</sub> = Tinggi tsunami pada garis pantai (m)

S = Slope / kemiringan lereng (°)

Jenis tutupan lahan diterjemahkan menjadi sebuah koefisien kekerasan permukaan yang menggambarkan kenampakan tutupan lahan. Setiap nilai koefisien kekerasan permukaan memiliki nilai yang beragam, tergantung dari jenis tutupan lahannya. Berikut merupakan tabel nilai koefisien kekerasan

permukaan. Nilai koefisien kekerasan permukaan dapat di lihat pada Tabel 2.3. Koefisien kekasaran ini mengacu pada pedoman pembuatan peta ancaman tsunami yang dibuat oleh Tim Bimtek PRB (Ridwan et al., 2014) dengan tutupan lahan yang ada.

**Tabel 2.3** Nilai koefisien kekasaran (Ridwan et al., 2014)

<b>Tutupan Lahan</b>	<b>Koefisien Kekasaran</b>
Danau/ Situ	0,007
Gedung/ Bangunan	0,055
Hutan Rimba	0,070
Perkebunan/ Kebun	0,035
Tegalan/ Ladang	0,015
Sawah	0,025
Semak Belukar	0,040
Sungai	0,007
Tanah Kosong/ Gundul	0,015
Permukiman dan Tempat Kegiatan	0,045

### **II.3.2 Cost Distance**

*Cost Distance* merupakan salah satu tool yang ada pada ArcGIS yang berfungsi untuk menghitung jarak akumulatif terendah untuk setiap sel ke sumber dengan jarak tercepat. *Cost Distance* adalah cara utama untuk melakukan analisis jarak di ArcGIS Spatial Analyst. Fungsinya mengukur garis lurus jarak dari setiap sel ke sumber terdekat. Tidak hanya dapat

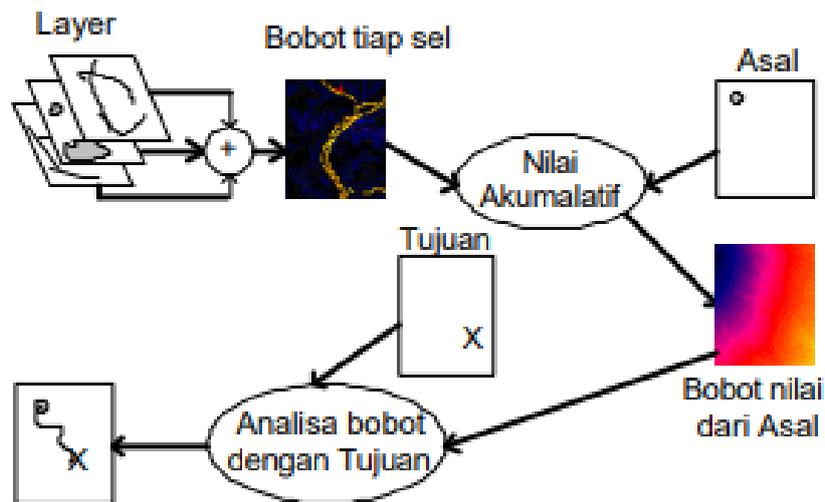
menentukan lokasi, namun juga dapat menghitung jarak dan arah ke sumber terdekat. Fungsi *Cost Distance* memodifikasi jarak *Euclidean* dengan menyamakan jarak untuk melakukan perjalanan melalui sel yang diberikan. Fungsi menyediakan peta jalan mengidentifikasi rute untuk mengambil dari setiap sel ke sumber terdekat (Esri, 2019).

Penggunaan *Cost Distance* dalam analisis ini didasarkan pada representasi sel berupa node dan link node mempresentasikan pusat sel, sedang line dapat terdiri dari dua yaitu lateral link yang menghubungkan node dengan node empat tetangga terdekat secara horizontal, sedang diagonal link menghubungkan dengan empat tetangga yang ada pada posisi diagonal nilai jaraknya 1,0 sel untuk lateral link dan 1,414 sel untuk diagonal link.

Langkah yang kedua *Cost Distance* secara umum menganalisis akumulasi terkecil setiap sel untuk lokasi sumber spesifik sepanjang cost surface. Merupakan input untuk menemukan segmen terpendek menuju lokasi tujuan yaitu dengan menghubungkan node dari satu sel ke sel sebelumnya dengan memperhatikan nilai yang dihitung. Setiap sel diberi satu nilai sebagai fungsi akumulasi cost terkecil untuk dapat dikembalikan lagi ke titik Total *Cost* yang melintasi tiap sel akan dikalikan dengan resolusi (jarak antar titik tengah sel raster).

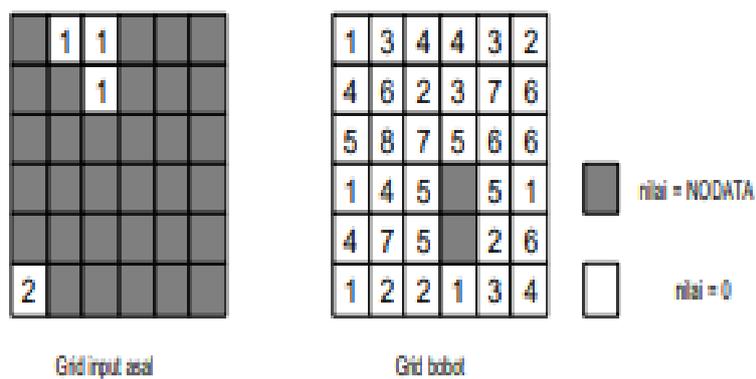
Hasil dari *Cost Distance* adalah bobot akumulasi dan cost back link, yaitu grid yang dapat digunakan untuk mengetahui rute ke asal. Tiap nilai menandakan dari sel tetangga mana dia berasal, sehingga dapat ditelusuri sel

asalnya. Dari *Cost Distance* dan titik asal, didapat cost path, yaitu rute bobot akan menunjukkan rute dengan bobot terkecil dari sel tujuan ke sel asal. Rute yang efisien akan mencari bobot akumulatif yang paling kecil.



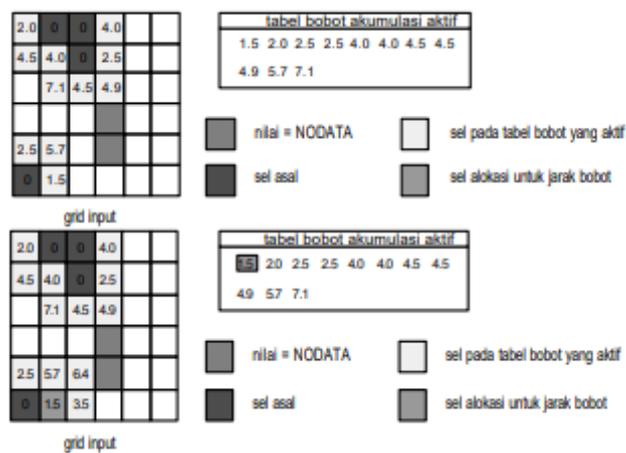
**Gambar 2.5** Proses Pencarian Rute (Rostianingsih, 2001)

Grid *Cost Distance* adalah grid yang berisi nilai bobot akumulasi ke tetangga terdekat sel asal. Nilai akumulasi akan diurut dari nilai yang paling kecil ke nilai paling tinggi dan dimasukkan dalam tabel.

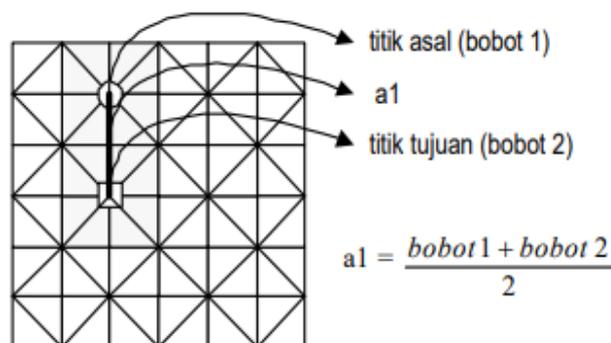


**Gambar 2.6** Bobot Yang Mempengaruhi Pencarian Jarak (Rostianingsih, 2001)

Nilai bobot yang paling kecil pada sel akan terpilih sebagai grid *Cost Distance*. Tabel akan bertambah dari nilai sel tetangga dari sel yang terpilih tadi, karena sel tersebut sekarang mempunyai jalan untuk mencapai sel asal. Hanya sel yang dapat mencapai sel asal yang bisa dipilih. Bobot bergerak antar sel ini dihitung menggunakan rumus *bobot\_akumulasi*.



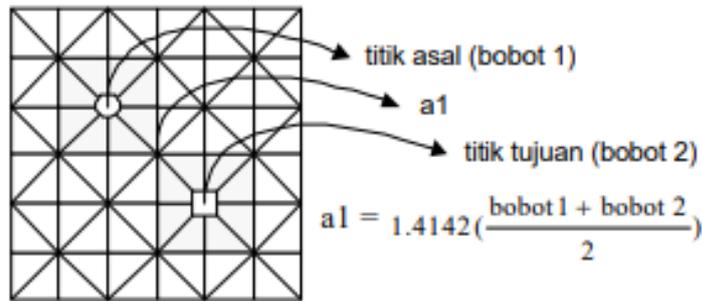
**Gambar 2.7** Perhitungan Bobot Sel Tetangga Dari Sel Asal (Rostianingsih, 2001)



**Gambar 2.8** Perhitungan *Euclidean* untuk Titik Horisontal atau Vertikal (Rostianingsih, 2001)

Pada gambar 2.8 terdapat perhitungan *Euclidean* untuk mendapatkan bobot akumulasi untuk titik horisontal atau vertikal :

$$\text{bobot\_akumulasi} = a_1 + 1.414214 \left( \frac{\text{bobot}_2 + \text{bobot}_3}{2} \right)$$



**Gambar 2.9** Perhitungan *Euclidean* Untuk Titik Diagonal

(Rostianingsih, 2001)

$$\text{bobot\_akumulasi} = a_1 + 1.414214 \left( \frac{\text{bobot}_2 + \text{bobot}_3}{2} \right)$$

pada gambar 2.9 terdapat perhitungan *Euclidean* untuk mendapatkan bobot akumulasi untuk titik diagonal. Sel dengan bobot terkecil akan terpilih lagi, dan sel tetangga yang baru akan dihitung kembali dan hasil outputnya akan ditambahkan ke tabel kembali. Rute bobot akan menunjukkan rute dengan bobot terkecil dari sel tujuan ke sel asal (Rostianingsih, 2001).

### II.3.3 *Pedestrian Evacuation Analyst*

Perangkat lunak *Pedestrian Evacuation Analyst* mengimplementasikan pendekatan jarak-jalur anisotropik untuk evakuasi pejalan kaki dari bahaya yang datang secara tiba-tiba, dengan fokus khusus saat ini pada ancaman tsunami lokal. Model tersebut memperkirakan evakuasi potensi berdasarkan

ketinggian, arah pergerakan, tutupan lahan, dan kecepatan perjalanan dan membuat peta yang menunjukkan waktu perjalanan menuju keselamatan (peta waktu) di seluruh zona bahaya (Jones et al., 2014).

Perangkat lunak ini dirancang untuk memenuhi tujuan berikut: (1) mengotomatiskan pra-pemrosesan data dan prosedur pemodelan evakuasi, (2) menghitung waktu tempuh menuju keselamatan dari lokasi mana pun di area studi dan menghasilkan berbagai jumlah populasi di setiap jarak, (3) memungkinkan variasi kecepatan perjalanan dan jumlah paparan populasi, (4) menghasilkan peta waktu untuk wilayah studi, (5) menentukan area dan populasi yang dilayani oleh opsi evakuasi *vertical* potensial. (Jones et al., 2014).

**Tabel 2.4** Kecepatan Berjalan Kaki (Jones et al., 2014)

Nama kecepatan berjalan	Nilai kecepatan berjalan
<i>Slow walk</i>	1,1
<i>Fast walk</i>	1,52
<i>Slow run</i>	1,79
<i>Fast run</i>	3,85