

Skripsi Geofisika

ANALISIS JALUR EVAKUASI TSUNAMI DI KOTA PALU

Disusun dan diajukan oleh:

FHAUZIA SUCI RAHMADANI

H061181326



DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

HALAMAN JUDUL

ANALISIS JALUR EVAKUASI TSUNAMI DI KOTA PALU

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Program Studi Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

Disusun dan diajukan oleh:

FHAUZIA SUCI RAHMADANI

H061181326

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS JALUR EVAKUASI TSUNAMI DI KOTA PALU

Disusun dan diajukan oleh:
FHAUZIA SUCI RAHMADANI
H061 18 1326

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan

Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

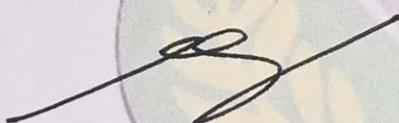
Pada tanggal 27 Mei 2022

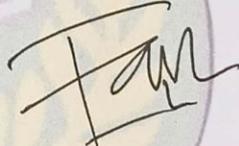
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

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 : Fhauzia Suci Rahmadani

Nim : H061181326

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Analisis Jalur Evakuasi Tsunami di Kota Palu

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, 3 Juni 2022

Yang Menyatakan

Fhauzia Suci Rahmadani



SARI BACAAN

Tsunami merupakan perpindahan badan air yang disebabkan oleh perubahan yang terjadi secara tiba-tiba. Perubahan tersebut disebabkan karena adanya gangguan yang terjadi pada dasar laut yang dapat disebabkan oleh gempa bumi, longsoran bawah laut, letusan gunung berapi ataupun jatuhnya meteor. Kota Palu merupakan daerah dengan tingkat keaktifan tektonik yang cukup signifikan ditandai dengan keberadaan sesar Palu Koro. Hal tersebut menjadikan wilayah Kota Palu rawan terhadap bencana alam yang dapat membangkitkan tsunami. Oleh karena itu dibutuhkan strategi mitigasi berupa pembuatan jalur evakuasi dengan memperhatikan lintasan tercepat dengan menggunakan metode *cost distance*. Adapun hasil dengan ketinggian tsunami pada garis pantai tiga meter diperoleh luasan daerah yaitu 372,41 ha dan untuk ketinggian tsunami enam meter yaitu 771,12 ha adapun sarana dan prasana yang terdampak terdampak bangunan sekolah bangunan pemerintahan, sarana ibadah dan sarana kesehatan. Terdapat lima Kecamatan yang berada di zona bahaya tsunami yaitu Kecamatan Ulujadi, Kecamatan Palu Barat, Kecamatan Palu Timur, Kecamatan Matinkulore dan Kecamatan Palu Utara dengan lintasan terpanjang 690 meter yang berada di Kelurahan Basusu Barat Kecamatan Palu Timur dan diperoleh sebanyak 12 titik rekomendasi pembuatan *shelter* yang tersebar di lima kecamatan terdampak.

Kata kunci: Palu, Jalur Evakuasi Tsunami, *Costdistance*, *Shelter*.

ABSTRACT

Tsunami is the displacement of water bodies caused by changes that occur suddenly. The change is caused by disturbances that occur on the seabed that can be caused by earthquakes, underwater avalanches, volcanic eruptions or meteor falls. Palu City is an area with a significant level of tectonic activity characterized by the presence of the Palu Koro fault. This makes the Palu City area prone to natural disasters that can generate tsunamis. Therefore, a mitigation strategy is needed in the form of creating an evacuation route by paying attention to the fastest trajectory using the cost distance method. The results with the height of the tsunami on the coastline of three meters obtained an area of 372.41 ha and for a tsunami height of six meters, namely 771.12 ha, as for the facilities and infrastructure affected by government buildings, worship facilities and health facilities. There are five districts located in the tsunami danger zone, namely Ulujadi District, West Palu District, East Palu District, Matinkulore District and North Palu District with the longest track of 690 meters located in West Basusu Village, East Palu District and obtained as many as 12 recommendation points for making shelters spread across five affected districts.

Keywords: Palu, Tsunami Evacuation Route, Cost distance. Shelter.

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Jalur Evakuasi Tsunami di Kota Palu**” dengan segala keterbatasan. Tugas akhir merupakan salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa yang akan menyelesaikan studi Program Sarjana di Program Studi Geofisika Universitas Hasanuddin (UNHAS).

Selesainya proses penggarapan tugas akhir ini pun didukung oleh berbagai pihak yang memberikan semangat, ide, dukungan moril, dan doa. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih ke pada Allah SWT, terkhusus untuk orang tua tercinta penulis **Bapak' Mahmud** dan **Ibu' Hastina** yang selama ini menjadi pemacu semangat juang penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, terima kasih untuk selalu ada dan selalu memunajatkan doa untuk kelancaran segala urusan penulis. Terima kasih penulis juga ucapakan kepada Nenek tercinta **Hj. Muna**, serta untuk saudara-saudara penulis, **Putri Ainun Nisa**, **Muh. Sarwan Hendrik**, & **Muhammad Adam** yang secara tidak langsung membantu penulis dari segala hal. Tante dan om serta sepupu penulis yang selalu menyemagati.

Tidak lupa pula penulis sampaikan Terima Kasih kepada;

1. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng**, Bapak **Muh. Fawzy Ismullah Massinai S.Si,M.T**, serta Bapak **Sofyan S.Si** selaku pembimbing utama, pertama, dan kedua yang selalu sabar dan tulus

memberikan bimbingan, serta menuntun penulis hingga selesainya skripsi ini.

2. Bapak **Hendrik S.Si**, Kak **Meriska**, Kak **Ana & Kak Abdul** yang menemani penulis dalam melakukan survey lapangan serta memberikan saran selama berada di kantor BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Palu.
3. Bapak **Sujabar S.Si** selaku kepala Stasiun BMKG Kelas I Palu yang telah memberikan izin melaksanakan penelitian tugas akhir kepada penulis.
4. Bapak Almr. **Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamiharja, M.Eng**, dan Bapak **Dr. Sakka, M.Si** selaku tim penguji skripsi geofisika yang telah memberikan masukan dan saran kepada penulis.
5. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
6. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng**, selaku ketua Departemen Geofisika FMIPA UNHAS.
7. Bapak **Erfan M.Si** selaku Penasehat Akademik yang memberikan bimbingan selama perkuliahan.
8. Dosen-dosen pengajar Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin yang telah membagikan ilmunya serta memberikan bimbingan selama perkuliahan.
9. Teman Seperjuangan tim **TA- Tsunami: Siti Wahyuni M. Wael, Windy Sari, Nur Annisa**. Terima kasih atas kebersamaannya selama melaksanakan tugas akhir.

10. Teman pertama saat menjadi mahasiswa Geofisika, **Dhea Eka Putri S.Si**, yang sarjana lebih dulu.
11. Sahabat seperjuangan **NNFFDE: Nurul, Nila, Firda, Dilla dan Ella**. Terima kasih untuk kebersamaannya.
12. Kakak **Nurul Mutmainna S.IP.** orang pertama yang saya anggap kakak di tanah perantauan, terima kasih untuk segala nasehat serta saran yang diberikan kepada penulis.
13. Teman-teman seangkatan **Fisika dan Geofisika 2018** atas kebersamaannya dari maba hingga saat ini, maaf tak dapat disebutkan satu-satu, terima kasih telah menjadi saudara tak sedarah.
14. Teman-teman se-MIPA 2018
15. Kanda-kanda, teman-teman serta adik-adik Pengurus **HMGF FMIPA UNHAS**.
16. Kakak-kakak senior maupun junior Fisika maupun Geofisika. Terima kasih telah kebersamai penulis pada awal Maba.

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

Makassar, 27 Mei 2022



Fhauzia Suci Rahmadani

DAFTAR ISI

HALAMAN JADUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SERI BACAAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan	3
I.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Tsunami	4
II.2 Sumber Utama Terjadinya Tsunami.....	6
II.2.1 Tsunami Akibat Gempa Bumi.....	6
II.2.2 Tsunami Akibat Letusan Gunung Api.....	8
II.2.3 Tsunami Akibat Longsor Bawah Laut.....	10
II.3 Kategori Tsunami	11
II.4 Sejarah Tsunami Palu	11
II.5 Mitigasi Bencana Tsunami	14

II.6 Jalur Evakuasi Tsunami	14
II.7 Sistem Informasi Geografis (SIG)	17
II.8 Pemodelan Genangan Tsunami	18
II.9 <i>Cost Distance</i>	19
II.10 <i>Pedestrian Evacuation Analysis (PEAT)</i>	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
III.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	24
III.2 Alat dan Bahan	24
III.2.1 Alat	24
III.2.2 Bahan.....	25
III.3 Prosedur Penelitian.....	25
III.4 Bagan Alir	27
BAB IV HASI DAN PEMBAHASAN	28
IV.1 Peta Zona Bahaya dan Tinggi Genangan Tsunami	28
IV.1 Peta Waktu Evakuasi Tsunami Tsunami	31
IV.2.1 Tinggi Genangan Tsunami 3 Meter	32
IV.2.2 Tinggi Genangan Tsunami 6 Meter	36
IV.3 Jalur Evakuasi	40
IV.2.1 Peta Jalur Evakuasi Tsunami	40
IV.2.2 Peta Rekomendasi Shelter	46
BAB V KESIMPULAN	54
V.1 Kesimpulan.....	54
V.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Terjadinya Tsunami Akibat Gempabumi Bawah Laut.....	7
Gambar 2.2 Proses Pencarian Rute.....	7
Gambar 2.3 Perhitungan bobot yang mempengaruhi pencarian rute	7
Gambar 2.4 Proses bobot sel tetangga dari sel asal	7
Gambar 2.5 Perhitungan Euclidean untuk titik horizontal atau vertikal.....	7
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Bagan Alir	25
Gambar 4.1 Peta zona bahaya dan tinggi genangan tsunami tiga meter di Kota Palu	26
Gambar 4.2 Peta zona bahaya dan tinggi genangan tsunami enam meter di Kota Palu ..	27
Gambar 4.3 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi tiga meter dengan kecepatan <i>slow walk</i> (1,1 m/s)	28
Gambar 4.4 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi tiga meter dengan kecepatan <i>fast walk</i> (1,52 m/s)	29
Gambar 4.5 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi tiga meter dengan kecepatan <i>slow run</i> (1,79 m/s)	29
Gambar 4.6 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi tiga meter dengan kecepatan <i>fast run</i> (3,85 m/s)	30
Gambar 4.7 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi enam meter dengan kecepatan <i>slow walk</i> (1,1 m/s)	31
Gambar 4.8 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi enam meter dengan kecepatan <i>fast walk</i> (1,52 m/s)	31
Gambar 4.9 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi enam meter dengan kecepatan <i>slow run</i> (1,79 m/s)	32

Gambar 4.10 Peta waktu evakuasi tsunami asumsi enam meter dengan kecepatan <i>fast run</i> (3,85 m/s)	33
Gambar 4.11 Peta jalur evakuasi tsunami enam meter kecepatan <i>fast walk</i> Di Kecamatan Ulujadi.....	33
Gambar 4.12 Peta jalur evakuasi tsunami enam meter kecepatan <i>fast walk</i> Di Kecamatan Palu Barat.....	33
Gambar 4.13 Peta jalur evakuasi tsunami enam meter kecepatan <i>fast walk</i> Di Kecamatan Palu Timur.....	33
Gambar 4.14 Peta jalur evakuasi tsunami enam meter kecepatan <i>fast walk</i> Di Kecamatan Matinkulore	33
Gambar 4.15 Peta jalur evakuasi tsunami enam meter kecepatan <i>fast walk</i> Di Kecamatan Palu Utara.....	33
Gambar 4.16 Peta rekomendasi shelter (6 meter) Kecamatan Ulujadi.....	33
Gambar 4.17 Peta rekomendasi shelter (6 meter) Kecamatan Palu Barat	33
Gambar 4.18 Peta rekomendasi shelter (6 meter) Kecamatan Palu Timur.....	33
Gambar 4.19 Peta rekomendasi shelter (6 meter) Kecamatan Matinkulore	33
Gambar 4.20 Peta rekomendasi shelter (6 meter) Kecamatan Palu Utara.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Periode ulang tsunami di wilayah Sulawesi Tengah.....	5
Tabel 2.2 Gunung api bawah laut di Indonesia.....	8
Tabel 2.3 Sejarah gunung api yang membangkitkan tsunami di Indonesia	9
Tabel 2.4 Kejadian tsunami yang merusak dalam kurun waktu 1990-2010	11
Tabel 2.5 Tsunami Donggala 2018	14
Tabel 2.6 Kecepatan berjalan kaki	17
Tabel 2.7 Nilai koefisien kekasaran	19
Tabel 4.1 Titik rekomendasi pembuatan <i>shelter</i> enam meter.....	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia secara geologis merupakan daerah pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yakni Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Jalur pertemuan lempeng bumi di wilayah Indonesia merupakan jalur gempa tektonik yang bersifat regional dan umumnya kerusakan yang diakibatkan sangat parah serta jalur pertemuan lempeng tersebut berdampingan dengan jalur gempabumi (Suhendro, 1994). Oleh karena itu wilayah Indonesia rawan akan ancaman bencana alam yang dapat terjadi kapan pun. Indonesia disebut juga sebagai negara kepulauan, sebagian jalur gempabumi di Indonesia berada di laut sehingga wilayah Indonesia sangat berpotensi menimbulkan bencana tsunami.

Sulawesi terletak di daerah perbatasan tiga lempeng tektonik sekaligus yaitu, Lempeng Australia, Lempeng Filipina dan Lempeng Pasifik yang dikenal dengan persimpangan tiga lempeng yang dapat mengakibatkan sewaktu-waktu apabila sesar bergeser patah dapat menyebabkan gempabumi dan apabila terjadi tumbukan antara lempeng tektonik dapat menyebabkan tsunami (Pusgen, 2018). Sulawesi juga berada di jalur *The Pasific Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik), yang merupakan jalur rangkaian gunung api aktif di dunia. Sehingga beberapa kejadian gempa yang pernah terjadi di wilayah Sulawesi dapat membangkitkan tsunami.

Keberadaan Sesar Palu Koro merupakan salah satu bukti keaktifan tektonik di Sulawesi Tengah, hal ini dapat ditandai dengan adanya aktivitas gempabumi yang cukup signifikan dimana dari beberapa kejadian gempa yang pernah terjadi telah membangkitkan tsunami (BMKG Stasiun Geofisika Palu, 2018). Pada tahun

1968 pernah terjadi gempa bumi yang membangkitkan tsunami setinggi tiga meter dan pada tahun 2018 juga terjadi gempa bumi yang disusul dengan bencana alam tsunami di Teluk Palu dengan ketinggian gelombang tsunami mencapai 10 meter. Akibat dari bencana tersebut banyak korban jiwa yang tidak sedikit, terdapat korban yang menderita luka-luka ringan hingga korban meninggal. Sehingga diperlukan strategi mitigasi ke depan sebagai upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah banyaknya korban jiwa.

Oleh karena itu penelitian ini akan difokuskan mengenai pemetaan jalur evakuasi tsunami yang sewaktu-waktu dapat terjadi lagi, pemodelan zona bahaya tsunami serta perlunya dibangun tempat evakuasi vertikal (*shelter*) sebagai salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Pada penelitian ini menggunakan metode *cost distance* sebagai metode yang digunakan dalam menentukan jalur evakuasi tsunami. Metode ini menghitung jarak ke sumber terdekat dari setiap *cell*, serta meminimalkan setiap nilai yang ditentukan dalam suatu permukaan. Metode ini juga digunakan oleh Abdillan & Muhsoni (2020) di Kabupaten Lumajang Provinsi Jawa Timur; Priyana et al (2015) di Kota Surakarta; dan Handayani & Purwanto (2020) di kawasan Gunung Kelud.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa luasan wilayah yang berada pada zona bahaya (*hazard zone*) tsunami dengan asumsi tinggi gelombang tsunami 3 meter dan 6 meter pada garis pantai di Kota Palu?
2. Berapa waktu yang dibutuhkan masyarakat untuk sampai di titik aman dengan asumsi kecepatan 1,1 m/s, 1,52 m/s, 1,79 m/s, 3,85 m/s, jika terjadi tsunami di Kota Palu?

3. Bagaimana model jalur evakuasi tsunami dan titik rekomendasi *shelter* apabila terjadi tsunami di Kota Palu?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat peta zona bahaya (*hazard zone*) tsunami dengan asumsi tinggi gelombang tsunami 3 meter dan 6 meter pada garis pantai di Kota Palu.
Membuat peta genangan tsunami di kota Palu.
2. Membuat peta waktu evakuasi tsunami jika terjadi tsunami di Kota Palu
3. Membuat peta jalur evakuasi tsunami dan peta rekomendasi *shelter* di Kota Palu.

1.4 Ruang Lingkup penelitian

Adapun ruang lingkup yang membatasi penelitian ini adalah menganalisis jalur evakuasi terkait bencana tsunami yang berada di Kota Palu, dengan metode *Cost distance* menggunakan *Tools Pedestrian Evacuation Analysis, Software Arcgis 10.8*. Adapun data yang digunakan merupakan data sekunder berupa data DEM Palu (DEMNAS, 2018), tutupan lahan (BIG, 2013), jalan (BIG, 2013). Penelitian ini ditekankan pada analisis jalur evakuasi sementara dengan efisien waktu tercepat untuk sampai di garis aman serta mendapatkan pemodelan zona aman dan zona bahaya bencana tsunami dengan asumsi tinggi tsunami 3 meter dan 6 meter di Kota Palu. Serta dilakukan *survey* lapangan secara langsung untuk memperoleh gambaran mengenai jalur evakuasi serta zona aman tsunami. Adapun hasil yang diharapkan nantinya adalah peta zona aman dan zona bahaya tsunami, peta waktu evakuasi dan peta jalur evakuasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tsunami

Tsunami berasal dari Bahasa Jepang. *Tsu* berarti “pelabuhan” dan *nami* berarti “gelombang” jadi tsunami dapat diartikan sebagai “gelombang di pelabuhan”. Tsunami merupakan perpindahan badan air yang disebabkan oleh perubahan dasar laut secara tiba-tiba (BMKG, 2019). Perubahan permukaan laut tersebut bisa disebabkan karena adanya gempa bumi yang berpusat di bawah laut, letusan gunung berapi bawah laut, longsor bawah laut, atau hantaman meteor di laut.

Tsunami merupakan bencana dengan karakter *fast-onset disaster* atau jenis bencana dengan proses yang cepat. Tsunami dapat terjadi apabila bersumber dari lokasi yang dekat (*near field*) yang waktu penjarannya kurang dari 30 menit dari sumber ke garis pantai pantauan dan lokasi. Sedangkan sumber tsunami yang jauh (*far-field*) yang waktu penjaran ke wilayah pantai pantauan lebih lama dari 30 menit atau sumber tsunami memiliki jarak lebih jauh dari 1000 km (Okal & Synolakis., 2008).

Gelombang tsunami mampu menjalar dengan kecepatan mencapai 900 km/jam terutama apabila diakibatkan oleh gempa bumi yang bersumber di dasar laut (Sangkoy et al., 2017) dan tinggi gelombang dapat mencapai 30 meter (Nur, 2010). Kerusakan akibat gelombang tsunami terutama terjadi pada daerah teluk akibat terjadinya penyempitan gerakan gelombang sehingga mempercepat gerakan gelombang tersebut. Kecepatan tsunami lebih besar pada laut dalam dibandingkan laut dangkal, karena pada laut dangkal kecepatan gelombang banyak dinetralisir

oleh dasar laut yang semakin dangkal sementara pada laut dalam gelombang bergerak tanpa hambatan (Fauzi et al., 2020).

Daerah dengan ancaman tsunami yang sangat tinggi tersebar hampir seluruh wilayah Indonesia, mulai dari pantai Barat Aceh, Sumatera Barat, Bengkulu, selatan Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi bagian tengah dan utara, Maluku dan Maluku utara serta Papua bagian barat dan utara (BNPB., 2012). Tabel 2.1 memperlihatkan peluang tinggi tsunami yang dapat terjadi pada periode tahun tertentu untuk wilayah Sulawesi Tengah, berdasarkan hasil yang terkait dengan ketinggian tsunami yang digunakan dalam menentukan berbagai peringatan yang berbeda dari InaTEWS. Salah satu cara untuk menunjukkan kemungkinan tsunami pada suatu daerah adalah dengan melihat periode ulang tsunami (Horspool et al., 2013).

Tabel 2.1 Peluang tinggi tsunami di wilayah Sulawesi Tengah ((Horspool et al., 2013).

No	Kab/Kota	Periode ulang 500 Tahun	Periode ulang 2500 Tahun
1	Donggala	3,0	6,0
2	Buol	6,7	10,4
3	Toli-toli	5,7	9,5
4	Banggai Kepulauan	3,5	7,2
5	Banggai	3,2	5,6
6	Palu	3,0	5,9
7	Morowali	2,8	5,7
8	Tojo Una-una	2,0	3,7
9	Poso	2,1	3,6
10.	Parigi Moutong	1,8	2,9

II.2 Sumber Utama Terjadinya Tsunami

Tsunami dapat dipicu oleh bermacam-macam gangguan (*disturbance*) berskala besar terhadap air laut, misalnya gempa bumi, pergeseran lempeng, meletusnya gunung berapi di bawah laut, atau tumbukan benda langit. Namun 90% tsunami akibat gempa bumi bawah laut (Leonard, 2013).

Tsunami dapat diakibatkan karena adanya pergerakan dasar laut secara tiba-tiba dan mengalami perpindahan vertikal. Gerakan vertikal yang terjadi dapat menimbulkan dasar laut naik ataupun turun secara tiba-tiba. Gerakan vertikal tersebut dapat terjadi pada sesar. Daerah subduksi banyak mengalami gempa bumi karena lempeng samudera menyusup ke bawah lempeng benua (Leonard, 2013).

Selain gempa bumi, tanah longsor yang terjadi di dasar laut serta letusan gunung berapi juga dapat menyebabkan gangguan pada air laut yang menimbulkan terjadinya tsunami. Berikut penjelasan mengenai beberapa sumber terjadinya tsunami:

II.2.1 Tsunami Akibat Gempabumi

Gempabumi adalah getaran yang bersumber di dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan bumi akibat adanya rekahan bumi yang pecah dan bergeser secara keras. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi (Tektonik), aktivitas gunungapi, akibat meteor jatuh, longsor (di bawah muka air laut). Gempabumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling umum terjadi karena getaran yang dihasilkan dari peristiwa pemetaan batuan akibat benturan dua lempeng secara perlahan-lahan (Nur, 2010).

Gempabumi yang terjadi di dalam laut (*ocean-bottom earthquake*) merupakan penyebab yang paling sering dan berbahaya untuk aktifitas tsunami. Gempabumi terjadi karena dua sumber, ialah (Bayhqi, 2015):

- a. Sumber eksogen, merupakan sumber energi pembangkit gempabumi dari luar seperti jatuhnya meteor.
- b. Sumber endogen, merupakan sumber energi pembangkit gempabumi dari dalam bumi itu sendiri, seperti gempa tektonik atau vulkanik.

Gempabumi yang terjadi di laut tidak semua mengakibatkan bencana tsunami. Beberapa kondisi yang menjadi syarat terjadinya tsunami yaitu, pergerakan lempeng bumi sehingga saling bertemu, kemiringan sudut antara lempeng yang bertemu dan kedalaman gempa tidak >80 km (Kodoatie & Syarif., 2010). Gambar 2.1 menjelaskan mengenai proses terjadinya tsunami akibat gempabumi yang terjadi di laut



Gambar 2.1 Proses terjadinya tsunami akibat gempa bawah laut (BMKG, 2017)

Tsunami yang terjadi akibat sumber gempa bumi di bawah laut berawal dari pergerakan lempeng yang saling bertemu akan menimbulkan sesar dalam arah vertikal maupun horizontal. Akibat terjadinya sesar tersebut, dasar laut naik dan mendorong volume air ke atas, menyebabkan gelombang dari bawah laut bergerak dengan kecepatan tinggi sehingga air laut terisap dari bibir pantai yang mengakibatkan munculnya gelombang raksasa yang bergerak menuju pantai.

II.2.2 Tsunami Akibat Letusan Gunung Api

Indonesia berada dalam lingkaran *ring of fire* sehingga menjadikan kaya akan gunung berapi, Indonesia memiliki gunung api terbanyak di dunia, yaitu 129 gunung aktif (15% dari seluruh gunung api di dunia).

Badan Informasi Geospasial (BIG) bersama sejumlah kementerian dan lembaga menelaah penemuan delapan gunung api bawah laut dari ratusan gunung di Indonesia (Sholihin, 2021). Gunung api bawah laut tersebut tersebar di tiga Provinsi dan telah diberi nama seperti pada Tabel 2.2 serta didaftarkan ke lembaga dunia.

Tabel 2.2 Gunung api bawah laut di Indonesia (Sholihin, 2021)

No.	Lokasi	Nama Gunung
1	Perairan Barat Sumatra	Gunung Pagai
2	Sulawesi Utara	Gunung Naung
		Gunung Maselihe
		Gunung Roa
		Gunung Kawio Barat
3	Nusa Tenggara Timur	Gunung Baruna Komba

Gunung Abang Komba

Gunung Ibu Komba

Subduksi merupakan pertemuan (tumbukan) dua lempeng akibat adanya pergerakan lempeng yang saling mendekat (lempeng benua dan lempeng samudera). Kedua lempeng tersebut bergerak saling menekan dan terjadi pembengkokan pada lempeng samudera (sudut subduksi) yang menyusup ke bawah lempeng benua (Akmam, 2011).

Indonesia dikelilingi oleh gunung berapi di sepanjang zona subduksi, sehingga berpotensi besar mengalami bencana tsunami yang disebabkan oleh letusan vulkanik gunung berapi Tabel 2.3, hal tersebut yang menyebabkan terjadinya tsunami di Selat Sunda pada tahun 2018 bulan Desember akibat dari erupsi gunung Anak Krakatau yang diduga menjadi penyebab naiknya air laut sehingga terjadi tsunami.

Tabel 2.3 sejarah gunung api yang menyebabkan tsunami di Indonesia (Putra, 2019)

No	Nama Gunung	Lokasi	Tahun	Jumlah Korban	Tsunami (m)
1	G. Krakatau	Selat Sunda	1883	36.000	40
2	G. Tambora	Sumbawa	1815	>10.000	10
3	G. Rokatenda	Flores	1927 1928	226	10
4	G. Ruang	P. Sangir	1871	400	26
5	G. Iliwerung	NTT	1979	550	9

II.2.3 Tsunami Akibat Longsoran Bawah Laut

Kondisi pada dasar laut juga terdapat struktur yang mirip dengan daratan seperti lembah, bukit serta cekungan yang dapat mengakibatkan sewaktu-waktu terjadi longsoran. *Tsunami Submarine Landslide* merupakan tsunami yang diakibatkan karena longsoran di bawah laut biasanya dibangkitkan karena gempa bumi tektonik atau letusan gunung bawah laut. Getaran kuat yang ditimbulkan oleh longsoran yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami. Tabrakan lempeng yang terjadi di bawah laut juga dapat menyebabkan terjadinya longsoran (BMKG, 2019). Kekuatan gelombang tsunami yang diakibatkan oleh longsoran bawah laut adalah volume longsoran, kedalaman air dari titik awal jatuhnya, serta percepatan longsoran. Contoh Tsunami akibat longsoran bawah laut yaitu:

1. Bencana tsunami 12 Desember 1992 di Flores yang menyebabkan korban jiwa hingga 1.713 orang. Saat itu, gelombang laut mencapai ketinggian 26 meter pascagempa bumi 7,3 (lipi.go.id).
2. Bencana tsunami Aceh Desember 2004, Angkatan Laut Inggris yang melakukan survey pemetaan kedalaman dasar laut berhasil menemukan teori baru, terlihat adanya beberapa bukit yang terbangun. Sedangkan bagian lainnya menunjukkan adanya longsoran bukit besar yang bergeser turun ke bawah. Hal tersebut semakin menguatkan pendapat mengenai terjadinya tsunami yang diakibatkan karena adanya longsoran bawah laut dan dislokasi sesar yang kemudian terjadi lah tsunami Aceh.
3. Bencana tsunami di Selat Sunda dan daerah pantai di kawasan Kabupaten Pandeglang, Serang, dan Lampung Selatan pada Sabtu malam (22/12/2018). Diduga, tsunami ini terjadi karena longsoran bawah laut. Selain karena longsoran bawah laut, tsunami ini juga diduga terjadi karena gelombang tinggi.

4. Bencana tsunami Palu yang terjadi pada September 2018 lalu, para peneliti juga menemukan bahwa hal ini dipicu karena longsor bawah tanah dan gempa bermagnitudo 7,4 (Oktarini, 2018).

II.3 Kategori Tsunami

Berdasarkan jarak tsunami menurut Pedoman Indonesia *Early Warning System* (InaTEWS), dibedakan menjadi dua, yaitu (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2012):

- a. Tsunami jarak dekat/ lokal (*near field/local field tsunami*)

Tsunami jarak dekat merupakan tsunami yang terjadi di sekitar 200 km dari pusat episentrum gempa. Tsunami lokal dapat disebabkan oleh gempa bumi, longsor ataupun letusan gunung berapi.

- b. Tsunami jarak jauh (*far field tsunami*)

Tsunami jarak jauh merupakan tsunami yang terjadi di daerah pantai yang berjarak ratusan hingga ribuan kilometer dari sumber gempa bumi. Awalnya merupakan tsunami jarak dekat dengan kerusakan yang luas di daerah sumber gempa bumi, kemudian tsunami tersebut menjalar melintasi seluruh cekungan laut dengan energi yang cukup besar sehingga menimbulkan banyak korban dan kerusakan di pesisir pantai yang berjarak lebih dari 1000 km dari sumber gempa bumi.

II.4 Sejarah Tsunami Palu

Sejarah gempa yang merusak dan memicu bangkitnya tsunami di Teluk Palu dan sekitarnya, tercatat setidaknya ada beberapa peristiwa. Gempa bumi kuat yang pernah terjadi yaitu (Pusgen, 2018):

1. Pada tanggal 1 Desember 1927 gempa bumi yang bersumber di teluk Palu dengan kekuatan $M=6,3$ yang membangkitkan tsunami setinggi 15 m. Banyak bangunan yang berada di kawasan pantai mengalami rusak parah dan sebanyak

50 orang yang mengalami luka-luka dan 14 orang meninggal. Bencana tsunami tersebut sampai saat ini dikenang oleh masyarakat Palu dan Donggala sebagai peristiwa “air berdiri di Teluk Palu”.

2. Gempabumi 1938 merupakan gempa yang juga membangkitkan tsunami dengan kekuatan $M= 7,9$. Tsunami yang dibangkitkan oleh gempa 1938 merobohkan lebih dari 900 bangunan dan mengakibatkan korban jiwa yang meninggal dunia sebanyak 16 orang.
3. Tahun 1968 tepatnya pada tanggal 14 Agustus gempa yang terjadi di Tambu merupakan salah satu peristiwa gempa kuat yang bersumber di lepas pantai Tambu. Gempabumi dengan kekuatan $M= 7,4$ pada kedalaman 23 km, di perkirakan gempa tersebut erat kaitannya dengan aktivitas Sesar Palu Koro. Akibat yang ditimbulkan di Teluk Tambu mengalami surut hingga sekitar 3 meter. Tsunami juga menerjang hingga ke Teluk Palu dan sebanyak 160 orang meninggal.
4. Pada tanggal 28 September 2018 gempabumi dan tsunami kembali mengguncang Palu, gempa beruntun diawali dengan gempa *magnitude* 5,9 pada pukul 14:00 WIB. Berselang tiga jam gempa dengan kekuatan $M_w 7,4$ pada pukul 17.02 WIB mengguncang Palu dan Donggala. Pusat episentrum berada pada koordinat dengan jarak 26 km Utara Donggala dengan kedalam 10 km (BMKG, 2018). Guncangan terasa sampai Minahasa, Gorontalo dan Makassar. Berdasarkan laporan BNPB sampai tanggal 7 Oktober 2018, korban meninggal dunia sebanyak 1.763 orang dan ribuan orang belum ditemukan.

Tim survey BMKG melakukan observasi lapangan dan wawancara di 26 titik berbeda sepanjang Teluk Palu. Mulai dari Donggala sebelah Barat, Kota Palu,

Donggala Timur dan Utara serta Labean titik terdekat dengan pusat gempa bumi. Hasil yang diperoleh berupa ketinggian tsunami dan jarak inundasi hempasan tsunami mencapai daratan. Ketinggian tsunami maksimum tidak selalu paralel dengan inundasi terjauh. Hal ini tergantung dari kelandaian pantai dan bangunan penghalang atau keberadaan dataran tinggi sehingga menahan laju tsunami (BMKG., 2018). Tabel 2.4 dibawah ini memperlihatkan hasil survey Tim BMKG di 26 titik.

Tabel 2.4 Tsunami Donggala 2018 (Tim Survey BMKG, 2018)

No	Lokasi	Lon	Lat	Tsunami (m)	Tsunami koreksi pasut (m)	Inundasi (m)
1	Panggang	119,7746	-0,71896	5,1	5,1	106,7
2	Lolilondo	119,7805	-0,74715	4,0	4,0	97,7
3	Lolipeusa	119,7885	-0,7697	7,3	7,3	75,6
4	Lilosaluran	119,8189	-0,84363	9,6	9,6	101
5	Primkopal	119,8108	-0,81755	7,1	7,1	74
6	Tipo	119,8286	0,86072	6,7	6,7	105
7	Silae	119,8349	-0,87498	3,8	3,4	101,8
8	Ruko Lere	119,8401	-0,88111	5,6	5,7	320
9	Grandmall Palu	119,8429	-0,88223	5,6	6,1	320
10	Mercure Palu	119,8495	-0,88361	9,2	10,0	468,8
11	TVRI Palu	119,8629	-0,88583	10,9	7,6	428,9
12	Kp Nelayan	119,8781	-0,8639	7,1	7,6	75
13	Citraland	119,8798	-0,8318	7,0	6,7	197
14	Tondo	119,881	-0,83658	11,3	10,7	165
15	Pergudangan	119,8824	-0,82354	8,3	9,1	378,9
16	Kp Mambaro	119,8766	-0,8016	6,7	7,0	247,1
17	Poltekes	119,8645	-0,79002	6,6	6,2	42
18	Resort Taipa	119,8589	-0,78183	5,8	5,1	145,3

19	PLTU Tawaeli	119,8551	-0,73204	8,7	9,3	168,8
20	Pantoloan	119,8518	-0,70846	11,1	10,2	216
21	Ngada Wani	119,8403	-0,69501	7,1	7,2	158,4
22	Labuan	119,8166	-0,66251	4,4	3,9	29,3
23	TPI Lero	119,8115	-0,62912	6,8	6,0	132,7
24	Pasir Marana	119,7893	-0,59529	3,9	3,0	41,2
25	Tondo Lendi	119,7962	-0,24924	2,3	2,3	133,8
26	Mapaga Sirenja	119,8022	-0,23105	2,2	2,2	136,7

II.5 Mitigasi Bencana Tsunami

Mitigasi bencana merupakan kegiatan yang sangat penting dalam tindakan/ upaya yang dilakukan untuk meminimalkan dampak dari bencana yang terjadi baik dari sisi korban jiwa maupun materi. Mitigasi bencana dapat bersifat struktural yaitu dengan melakukan upaya teknis baik secara alami maupun buatan mengenai sarana dan prasarana mitigasi, sedangkan secara nonstruktural merupakan upaya non teknis menyangkut mengenai penyesuaian dan pengaturan tentang kegiatan manusia agar sesuai dengan upaya mitigasinya.

UU No.45 tahun 2007 membahas mengenai penanggulangan bencana yang menjadi acuan pemerintah pusat maupun daerah dalam merencanakan, mengelola, melaksanakan serta mengawasi upaya-upaya penanggulangan bencana. Dalam rangka mengurangi resiko bencana ketika terjadi tsunami maka dilakukan penyediaan tempat evakuasi sementara (Mukhlis, 2016).

II.6 Jalur Evakuasi Tsunamis

Jalur evakuasi adalah lintasan yang dapat digunakan sebagai pemindahan secara langsung dan cepat untuk menjauh dari ancaman atau kejadian yang dapat membahayakan diri (Abrahams, 1994). Jalur evakuasi yang baik adalah jalur yang

aman serta tidak ditemukan titik-titik *barrier* yang banyak ketika penduduk dievakuasi ke tempat sementara bahkan ke tempat evakuasi akhir. Jalur evakuasi dirancang dengan memperhatikan faktor lintasan terpendek untuk menentukan jalan tersingkat menuju titik kumpul saat terjadi tsunami.

Penentuan jalur evakuasi harus beriringan dengan penentuan titik kumpul sementara (*assembly point*) maupun titik pengungsian (*shelter point*), dengan tujuan agar alur proses evakuasi dapat berlangsung dengan efektif sehingga dapat meminimalisir kerugian serta korban jiwa. Tempat evakuasi sementara bukan merupakan tempat evakuasi akhir, tetapi fasilitas umum yang dapat dijangkau oleh para penyintas (*survivor*) dalam beberapa menit setelah peringatan terjadinya tsunami diumumkan, lokasinya tidak jauh dari pantai (minimal 500 meter). Selain itu bangunan juga harus memenuhi syarat dengan menggunakan konstruksi tahan gempa karena pada umumnya tsunami didahului dengan gempabumi dan gempa susulan (Hutapea, 2019).

Proses evakuasi merupakan cara tanggap darurat dan persiapan darurat, sehingga pertimbangan mitigasi yang utama adalah menentukan lokasi, mendesain, dan membangun bangunan yang dapat menahan gaya-gaya tsunami yang diperkirakan dan guncangan tanah akibat gempa (Rifqi et al., 2019). Pada modul Siap Siaga Bencana Alam (2009) dikemukakan syarat-syarat jalur evakuasi yang layak dan memadai tersebut adalah (Sahetapy et al., 2016):

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 ke tempat 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.

Upaya startegis sebagai antisipasi bencana tsunami, mengingat penyelamatan diri ke tempat evakuasi perlu dilakukan apabila waktu yang dibutuhkan untuk penyelamatan diri (*golten time*) sangat pendek, dan untuk kawasan pantai yang pada penduduk serta pada bangunan (Aji, 2020). Sehingga dalam menganalisis jalur dan tempat evakuasi diperlukan identifikasi kecepatan yang dibutuhkan seseorang untuk sampai ke titik aman tsunami seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kecepatan Berjalan kaki (Jeanne et al., 2014)

Nama Kecepatan Perjalanan	Nilai Kecepatan Perjalanan (m/s)
<i>Slow Walk</i>	1,1 m/s
<i>Fast Walk</i>	1,52 m/s
<i>Slow Run</i>	1,79 m/s
<i>Fast Run</i>	3,85 m/s

Jalur evakuasi mengarahkan untuk menjauhi arah gelombang dan mengindikasikan dengan jelas melalui rambu-rambu seperti menjauhi garis pantai, menghindari melewati jembatan, memanfaatkan jalur *eksisting*, menuju jalan yang

lebih besar agar tidak terjadi *bottle neck* (lintasan sempit), menghindari hambatan atau rintangan (Aji, 2020).

Berdasarkan periode ulang tsunami yang ada di Indonesia menurut (Horspool et al., 2013) mempertimbangkan bahaya tsunami yang dapat mengancam Indonesia akibat gempa bumi lokal yang menjadi pemicu tsunami, didasari oleh sejarah kejadian tsunami di wilayah Indonesia 85% dari kejadian tsunami disebabkan oleh gempa bumi di bawah laut. Analisis bencana tersebut ditunjukkan dalam bentuk peta yang menampilkan peluang tinggi tsunami yang dapat terlewat di wilayah pesisir pada periode tahun tertentu. Periode ulang tsunami 500 tahun dan 2500 tahun diperoleh ketinggian tsunami yang berpotensi terjadi di wilayah Kota Palu yaitu sebesar 3 meter dan 6 meter.

II.7 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi geografis yang dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan dan menganalisis suatu objek atau fenomena. Secara umum pengertian SIG adalah suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, sumberdaya manusia dan data yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Annugerah et al., 2016). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat memberikan kemudahan dalam menganalisis permasalahan spasial.

II.8 Pemodelan Genangan Tsunami

Parameter ketinggian gelombang tsunami di garis pantai didapat berdasarkan perhitungan tinggi gelombang dengan metode perhitungan tinggi gelombang berdasarkan pendekatan menggunakan metode analisis sederhana. Sementara itu, parameter kemiringan lereng dan koefisien kekasaran permukaan didapat dengan menggunakan data DEM dan tutupan lahan (Siregar et al., 2020). Dengan menggunakan persamaan yang dibuat oleh Barryman (2006):

$$H_{loss} = \left(\frac{167n^2}{H_0^{1/3}} \right) + 5 \sin S \quad (2.1)$$

Dengan:

H_{loss} : kehilangan ketinggian tsunami per satu meter jarak inundasi

n : koefisien kekasaran permukaan

H_0 : ketinggian gelombang tsunami di garis pantai

S : besarnya lereng permukaan

Jenis tutupan lahan diterjemahkan menjadi sebuah koefisien kekerasan permukaan yang menggambarkan kenampakan tutupan lahan. Setiap nilai koefisien kekasaran permukaan memiliki nilai yang beragam, tergantung dari jenis tutupan lahannya. Nilai koefisien kekerasan permukaan dapat dilihat pada Tabel 2.6 (Izzudin et al., 2020). Koefisien kekasaran ini mengacu pada pedoman pembuatan peta ancaman tsunami yang dibuat oleh Tim Bimtek PRB (2014) dengan tutupan lahan yang ada.

Tabel 2.6 Nilai Koefisien Kekasaran (Izzudin et al., 2020).

Tutupan Lahan	Koefisien Kekasaran
---------------	---------------------

Danau	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

Penutupan lahan (*land cover*) dan penggunaan lahan (*land use*) adalah istilah yang seringkali diberi pengertian yang sama, padahal keduanya mempunyai pengertian yang berbeda. Penggunaan lahan merupakan wujud nyata dari pengaruh aktivitas manusia terhadap sebagian fisik permukaan bumi (Arsyad, 2018). Menurut Malingreau (1979), penggunaan lahan merupakan campur tangan manusia baik secara permanen atau periodik terhadap lahan. Sedangkan penutupan lahan (*land cover*) merupakan merupakan kondisi permukaan bumi atau rupa bumi yang menggambarkan kenampakan vegetasi (Fauzi et al., 2016).

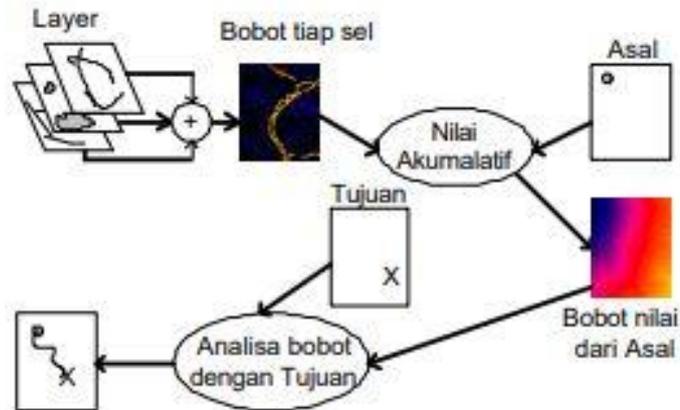
II.9 Cost Distance

Cost Distance merupakan salah satu tool yang ada pada ArcGIS, tool tersebut memiliki fungsi untuk menghitung jarak waktu akumulatif terendah untuk setiap sel dari atau ke sumber dengan jarak tersingkat pada permukaan. *Cost distance* adalah cara utama untuk melakukan analisis jarak di ArcGIS *Spatial Analyst*. Fungsinya mengukur garis lurus jarak dari setiap sel ke sumber terdekat. Selain

menentukan lokasi, *Cost distance* juga dapat menghitung jarak dan arah ke sumber terdekat. Fungsi *Cost distance* sebagai modifikasi jarak *Euclidean* dengan menyamakan jarak dan waktu untuk melakukan perjalanan melalui sel yang diberikan. Sedangkan fungsi alokasi waktu mengidentifikasi sumber sel paling tinggi berdasarkan akumulasi waktu perjalanan. Adapun Fungsi arah menyediakan peta jalan, mengidentifikasi rute untuk mengambil dari setiap sel ke sumber terdekat (Esri, 2019).

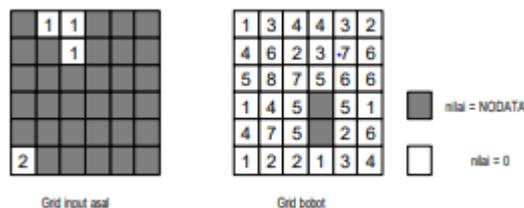
Fungsi jarak pada *Cost distance* tidak berdasar pada satuan unit geografis melainkan berdasar atas satuan jarak. Oleh karena itu perlu disusun peta unit jarak (*cost raster*) untuk melakukan perhitungan *Cost distance*. *Cost raster* merupakan suatu peta satuan unit biaya yang didasarkan pada analisa kondisi wilayah. *Cost raster* dibuat dengan menggunakan peta penggunaan lahan dan kemiringan lereng. Hal ini berdasar atas pertimbangan bahwa dalam pembangunan jalan sangat dipengaruhi oleh faktor kemiringan lereng dan penggunaan lahan terkait dalam hal jarak (Rahayu, 2017).

Hasil *cost distance* merupakan bobot akumulasi dan *cost back link*. Yaitu grid yang berfungsi untuk mengetahui rute ke asal. Setiap nilai ditandai sebagai sel tetangga mana berasal, sehingga dapat diketahui sel asalnya. Dari *cost distance* dan titik asal. Diperoleh *cost path*, merupakan bobot yang menunjukkan rute dengan bobot terkecil dari sel tujuan ke sel asal. Rute yang efisien akan mencari bobot akumulatif yang paling kecil (Rostianingsih, 2001) seperti pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Proses pencarian rute

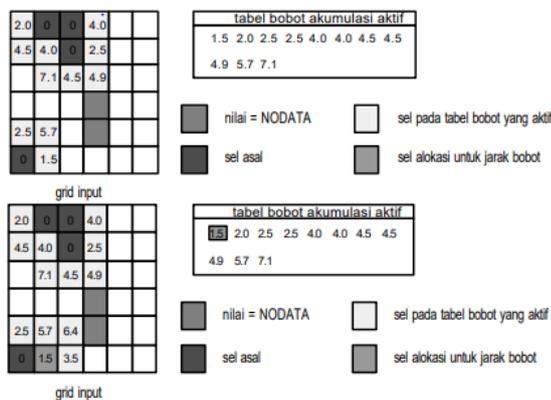
Grid *cost distance* berisi nilai bobot akumulasi ke sumber terdekat dari sel asal. Nilai akumulasi akan diurut dari nilai yang paling kecil ke nilai paling tinggi dan dimasukkan dalam tabel seperti pada Gambar 2.3



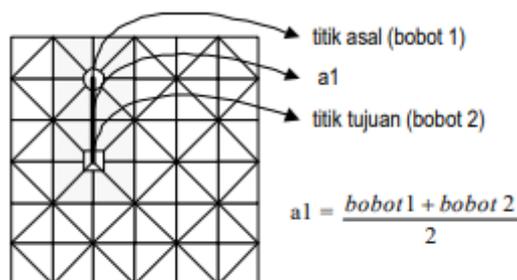
Gambar 2.3 Bobot yang mempengaruhi pencarian jarak

Sel asal pada iterasi pertama dianggap bernilai 0 karena tidak ada nilai akumulasi untuk sel tersebut, selanjutnya, semua tetangga sel asalnya akan aktif, dan bobot diberikan pada link antara sel asal dan sel tetangganya dengan menggunakan rumus bobot akumulasi. Tiap sel tetangganya sekarang dapat mencapai sel asal, sehingga dapat dipilih sel tetangga mana yang akan menjadi output nilai akumulasi. Sebagai grid output, sebuah sel harus mempunyai rute jarak yang mempunyai bobot terendah untuk mencapai sel asal. 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 2.4 Perhitungan bobot sel tetangga dari sel asal



Gambar 2.5 Perhitungan Euclidean untuk titik horizontal atau vertikal

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. Grid cost distance menentukan bobot akumulasi tiap sel ke sel tetangga terdekat yang ada pada kumpulan sel asal. Disini tidak diketahui sel asal mana yang dipilih atau bagaimana mencapai sel tersebut. Cost back link adalah grid dengan nilai dari 0 - 8 yang dapat digunakan untuk mengetahui rute ke asal. Tiap nilai menandakan dari

sel tetangga mana dia berasal, sehingga dapat ditelusuri sel asalnya (Rostianingsih, 2001).

II.10 Pedestrian Evacuation Analysis (PEAT)

Tools Pedestrian Evacuation Analysis mengimplementasikan pendekatan jarak jalur untuk evakuasi pejalan kaki dari bahaya yang datang secara tiba-tiba, dengan fokus khusus apabila terjadi ancaman tsunami lokal. Model tersebut memperkirakan potensi evakuasi 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).

Tools Pedestrian Evacuation Analysis tidak memperhitungkan kemungkinan perilaku orang banyak, seperti kepanikan dan kekacauan, yang mungkin berdampak mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi menggunakan geoprocesing jarak-waktu yang juga mencakup pengaruh jenis tutupan lahan. Tutupan lahan dan data kemiringan yang diturunkan dari elevasi dikonversi ke nilai konservasi kecepatan (SCV), mewakili nilai maksimum kecepatan perjalanan yang diharapkan pada area dengan kondisi tertentu (Celikbas et al., 2021).