

**OPTIMALISASI JALUR EVAKUASI TSUNAMI MENGGUNAKAN  
METODE *NETWORK ANALYSIS* DI KECAMATAN PANJANG, KOTA  
BANDAR LAMPUNG, PROVINSI LAMPUNG**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**M DZAKI MUKARRAM  
NPM 1954221003**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

**OPTIMALISASI JALUR EVAKUASI TSUNAMI MENGGUNAKAN  
METODE *NETWORK ANALYSIS* DI KECAMATAN PANJANG, KOTA  
BANDAR LAMPUNG, PROVINSI LAMPUNG**

**Oleh**

**M DZAKI MUKARRAM**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Perikanan dan Kelautan  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## **ABSTRAK**

### **OPTIMALISASI JALUR EVAKUASI TSUNAMI MENGGUNAKAN METODE *NETWORK ANALYSIS* DI KECAMATAN PANJANG, KOTA BANDAR LAMPUNG, PROVINSI LAMPUNG**

**Oleh**

**M Dzaki Mukarram**

Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, merupakan salah satu wilayah pesisir yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap ancaman tsunami akibat aktivitas tektonik di zona *megathrust* Selat Sunda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daerah rawan tsunami serta menentukan jalur evakuasi yang optimal menuju Tempat Evakuasi Sementara (TES). Metode yang digunakan adalah *Network Analysis* pada perangkat lunak ArcGIS dengan memanfaatkan data DEM, jaringan jalan, dan data administrasi wilayah. Analisis dilakukan melalui pemetaan kerentanan lingkungan, identifikasi bahaya tsunami, serta simulasi jaringan jalan menuju TES. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kecamatan Panjang memiliki tingkat kerentanan tinggi dengan dominasi wilayah pada elevasi 0–10 meter. Dari enam titik TES yang dianalisis, jalur evakuasi menuju TES 3, TES 4, dan TES 6 dinilai lebih efektif dan efisien dibandingkan titik lainnya. Dengan demikian, optimalisasi jalur evakuasi berbasis *Network Analysis* dapat menjadi acuan dalam mitigasi bencana untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat.

Kata kunci : Evakuasi, Kecamatan Panjang, *Network Analysis*, Tsunami

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZING TSUNAMI EVACUATION ROUTES USING NETWORK ANALYSIS METHOD IN PANJANG DISTRICT, BANDAR LAMPUNG CITY, LAMPUNG PROVINCE**

**By**

**M Dzaki Mukarram**

Panjang District, located in Bandar Lampung City, is one of the coastal areas with high vulnerability to tsunami hazards caused by tectonic activity in the Sunda Strait megathrust zone. This study aims to analyze tsunami-prone areas and determine the optimal evacuation routes to Temporary Evacuation Shelters (TES). The method applied is *Network Analysis* using ArcGIS software with supporting data including DEM, road networks, and administrative boundaries. The analysis was carried out through environmental vulnerability mapping, tsunami hazard identification, and road network simulation to TES points. The results show that Panjang District has a high level of vulnerability, dominated by areas with an elevation of 0–10 meters. Among the six TES points analyzed, evacuation routes to TES 3, TES 4, and TES 6 are considered more effective and efficient compared to the others. Therefore, the optimization of evacuation routes using *Network Analysis* can serve as a reference for disaster mitigation to improve community preparedness.

**Keywords :** Evacuation, Network Analysis, Panjang Sub-district, Tsunami

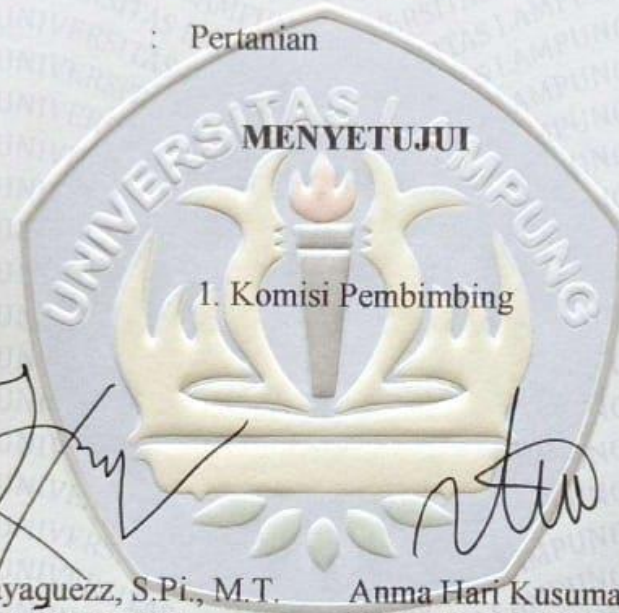
Judul Skripsi : OPTIMALISASI JALUR EVAKUASI TSUNAMI  
MENGUNAKAN METODE *NETWORK*  
*ANALYSIS* DI KECAMATAN PANJANG, KOTA  
BANDAR LAMPUNG, PROVINSI LAMPUNG

Nama Mahasiswa : **M Deaki Mukarram**

NPM : 1954221003

Jurusan/Program Studi : Perikanan dan Kelautan/Illmu Kelautan

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.  
NIP. 197505152002121007

Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.  
NIP. 199001202019031011

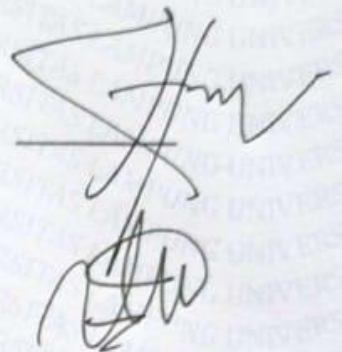
2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

Munti Sarda, S.Pi., M.Sc., Ph.D  
NIP. 198309232006042001

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

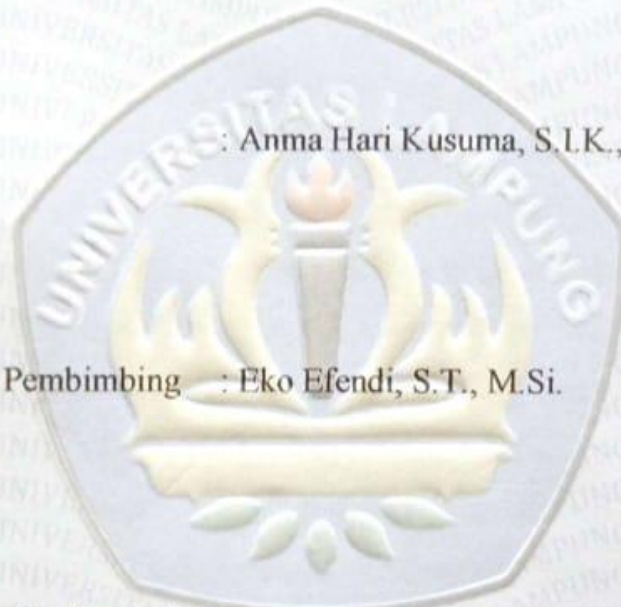
Ketua : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



Sekretaris : Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.



Penguji Bukan Pembimbing : Eko Efendi, S.T., M.Si.



### 2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.  
NIP. 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 Mei 2025



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN PERIKANAN DAN KELAUTAN

Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Telp (0721) 704946 Fax (0721) 770347

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul **“Optimalisasi Jalur Evakuasi Tsunami Menggunakan Metode Network Analysis Di Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung”** tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur fabrikasi, falsifikasi, plagiat dan konflik kepentingan saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Bandar Lampung, 2025

Yang membuat pernyataan



M Dzaki Mukarram  
NPM. 1954221003

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan pada tanggal 9 bulan Mei tahun 2000 di Lampung Utara, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari kedua orang tua saya yaitu bapak Dr. Eng. Mohd Isneini dan ibu Rita Sofia S.P. Saudara saya yaitu laki-laki dan perempuan, nama laki-laki yaitu Hanif dan perempuan yaitu Hani.

Riwayat pendidikan, penulis mengikuti jenjang pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 4 Tanjung Aman sampai kelas 3 dan melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 2 Gunung Terang dan lulus pada tahun 2012, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP IT Fitrah Insani sampai 1 tahun dan melanjutkan pendidikan di Jyoko Junior high School dan lulus pada tahun 2016, pendidikan Sekolah Menengah Atas di MAN 1 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2019.

Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana (S1) di tahun 2019 pada program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. semasa menjadi mahasiswa, penulis pernah bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) sebagai anggota dalam bidang Komunikasi dan Informasi di Universitas Lampung.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah mencurahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Penentuan Jalur Evakuasi Bencana di Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung”. Adapun penyusunan proposal skripsi ini sebagai syarat untuk memperoleh nilai pada mata kuliah kolokium.

Dalam penyusunan proposal skripsi ini penulis banyak mendapat dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak.. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan FP Unila.
2. Munti Sarida, S.Pi., M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan.
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku dosen pembimbing 1.
4. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si. selaku dosen pembimbing 2.
5. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku dosen penguji.
6. Keluarga besar ilmu kelautan 2019.
7. Ibu Rita Sofia S.P. dan ayah Dr. Eng. Mohd Isneini.

Bandar Lampung, Mei 2025



**M Dzaki Mukarram**

## DAFTAR ISI

|                                                       | Halaman |
|-------------------------------------------------------|---------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                               | ix      |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                             | xi      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                            | xii     |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                           | 1       |
| 1.1 Latar Belakang .....                              | 1       |
| 1.2 Tujuan .....                                      | 5       |
| 1.3 Manfaat Penelitian .....                          | 5       |
| 1.4 Kerangka Pikir .....                              | 5       |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                     | 8       |
| 2.1 Pengertian Bencana .....                          | 8       |
| 2.2 Tsunami .....                                     | 8       |
| 2.3 Manajemen Risiko Bencana .....                    | 11      |
| 2.4 Risiko Bencana .....                              | 12      |
| 2.4.1 Bahaya .....                                    | 13      |
| 2.4.2 Kerentanan .....                                | 14      |
| 2.4.3 Kapasitas .....                                 | 15      |
| 2.5 Penanggulangan Bencana .....                      | 18      |
| 2.5.1 Pra Bencana .....                               | 19      |
| 2.5.2 Saat Bencana .....                              | 20      |
| 2.5.3 Pasca Bencana .....                             | 20      |
| 2.6 Mitigasi Tsunami .....                            | 20      |
| 2.7 Jalur Evakuasi Tsunami di Kecamatan Panjang ..... | 29      |
| <b>III. METODE PENELITIAN</b> .....                   | 31      |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....                            | 31      |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2 Bahan dan Alat .....                                       | 32        |
| 3.3 Metode dan Pengumpulan Data .....                          | 32        |
| 3.4 Analisis Data .....                                        | 33        |
| 3.4.1 Analisis daerah rawan tsunami di Kecamatan Panjang ..... | 33        |
| 3.4.2 Analisis jalur evakuasi .....                            | 39        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                          | <b>42</b> |
| 4.1 Daerah rawan bencana tsunami di Kecamatan Panjang .....    | 42        |
| 4.1.1 Kerentanan lingkungan terhadap tsunami .....             | 42        |
| 4.1.2 Bahaya tsunami .....                                     | 52        |
| 4.2 Analisis jalur evakuasi .....                              | 53        |
| <b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>                             | <b>64</b> |
| 5.1 Simpulan .....                                             | 64        |
| 5.2 Saran .....                                                | 64        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                    | <b>65</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                                          | <b>68</b> |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                   | Halaman |
|---------------------------------------------------------|---------|
| 1. Kecepatan berjalan .....                             | 27      |
| 2. Lebar minimum kelas jalan untuk jalur evakuasi ..... | 28      |
| 3. Bahan/Data yang digunakan .....                      | 32      |
| 4. Alat yang digunakan .....                            | 32      |
| 5. Nilai koefisien kekasaran permukaan lahan .....      | 34      |
| 6. Matriks parameter kerentanan bencana tsunami .....   | 38      |
| 7. Kelas kerentanan tsunami .....                       | 39      |
| 8. Nilai kelas kerentanan tsunami .....                 | 50      |
| 9. Titik tempat evakuasi sementara (TES) .....          | 55      |
| 10. Klasifikasi pemukiman .....                         | 55      |
| 11. Waktu tempuh pemukiman menuju TES .....             | 57      |
| 12. Waktu tempuh dari titik awal menuju TES .....       | 60      |
| 13. Waktu tempuh pemukiman menuju TES BPBD .....        | 62      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                                                                                                                             | Halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Peta gunung api .....                                                                                                                                                           | 2       |
| 2. Peta seismisitas Indonesia .....                                                                                                                                                | 4       |
| 3. Kerangka pikir .....                                                                                                                                                            | 7       |
| 4. Manajemen risiko bencana .....                                                                                                                                                  | 12      |
| 5. Siklus penanggulangan bencana .....                                                                                                                                             | 19      |
| 6. <i>Sea wall</i> .....                                                                                                                                                           | 21      |
| 7. Hutan mangrove .....                                                                                                                                                            | 21      |
| 8. Contoh bangunan menara TES, (a) TES Okusiri Jepang, (b) TES Mei Prefecture Jepang, (c) TES Kodaikanal India Selatan, dan (d) TES Villa Hadis Padang .....                       | 23      |
| 9. Contoh bangunan gedung TES, (a) TES Cannon Beach City Hall, (b) TES tsunami, (c) TES Permanent Shelter, dan (d) TES Cal Poly Pomona .....                                       | 24      |
| 10. Contoh bangunan umum TES, (a) TES kantor Gubernur Padang, (b) TES perkantoran Chillie, (c) TES Looptecture F Design Fukura Jepang, dan (d) TES Masjid Pasir Putih Padang ..... | 25      |
| 11. Contoh TES, (a) TES bukit buatan dan (b) TES tangga evakuasi .....                                                                                                             | 26      |
| 12. Alur waktu evakuasi .....                                                                                                                                                      | 27      |
| 13. Jalur evakuasi tsunami di kecamatan panjang .....                                                                                                                              | 30      |
| 14. Peta lokasi penelitian .....                                                                                                                                                   | 31      |
| 15. Pemodelan genangan tsunami menggunakan model <i>builder</i> .....                                                                                                              | 35      |
| 16. Proses pengolahan data .....                                                                                                                                                   | 41      |
| 17. Jarak dari garis pantai .....                                                                                                                                                  | 43      |
| 18. Persentase jarak dari garis pantai .....                                                                                                                                       | 44      |

|     |                                                                                                           |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 19. | Ketinggian daratan .....                                                                                  | 45 |
| 20. | Persentase ketinggian daratan .....                                                                       | 46 |
| 21. | Kemiringan lereng .....                                                                                   | 47 |
| 22. | Persentase kemiringan lereng .....                                                                        | 48 |
| 23. | Jarak dari sungai .....                                                                                   | 49 |
| 24. | Persentase jarak dari sungai .....                                                                        | 50 |
| 25. | Peta kerentanan lingkungan terhadap tsunami .....                                                         | 51 |
| 26. | Persentase kerentanan lingkungan terhadap tsunami .....                                                   | 51 |
| 27. | Peta skenario tsunami <i>run up</i> 20 m .....                                                            | 52 |
| 28. | Peta <i>Overlay run up</i> tsunami dan kerentanan tsunami .....                                           | 53 |
| 29  | Gambar 29. Foto lokasi TES, (a) TES 1, (b) TES 2, (c) TES 3, (d)<br>TES 4, (e) TES 5, dan (f) TES 6 ..... | 54 |
| 30. | TES dan pemukiman .....                                                                                   | 56 |
| 31. | Peta pemukiman menuju TES .....                                                                           | 58 |
| 32. | Titik awal menuju TES .....                                                                               | 59 |
| 33. | Servis area .....                                                                                         | 61 |
| 34. | Peta pemukiman menuju TES BPBD .....                                                                      | 63 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                 | Halaman |
|-------------------------------------------------|---------|
| 1. Perhitungan lebar selang kelas ( $L$ ) ..... | 69      |
| 2. Perhitungan persentase kerentanan .....      | 70      |

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang terletak di *ring of fire* atau yang biasa dikenal dengan sebutan deretan gunung api, hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara yang rentan terhadap berbagai bencana alam. Menurut BNPB (2016) terjadinya deretan gunung api tersebut merupakan bagian dari hasil dari proses pertemuan 3 lempengan tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempengan Pasifik, dari aktifitas tektonik tersebut yang menyebabkan terbentuknya deretan gunung api. Salah satu provinsi Indonesia yang termasuk dalam zona Cincin Api adalah Provinsi Lampung. Peta gunung api disajikan pada Gambar 1.

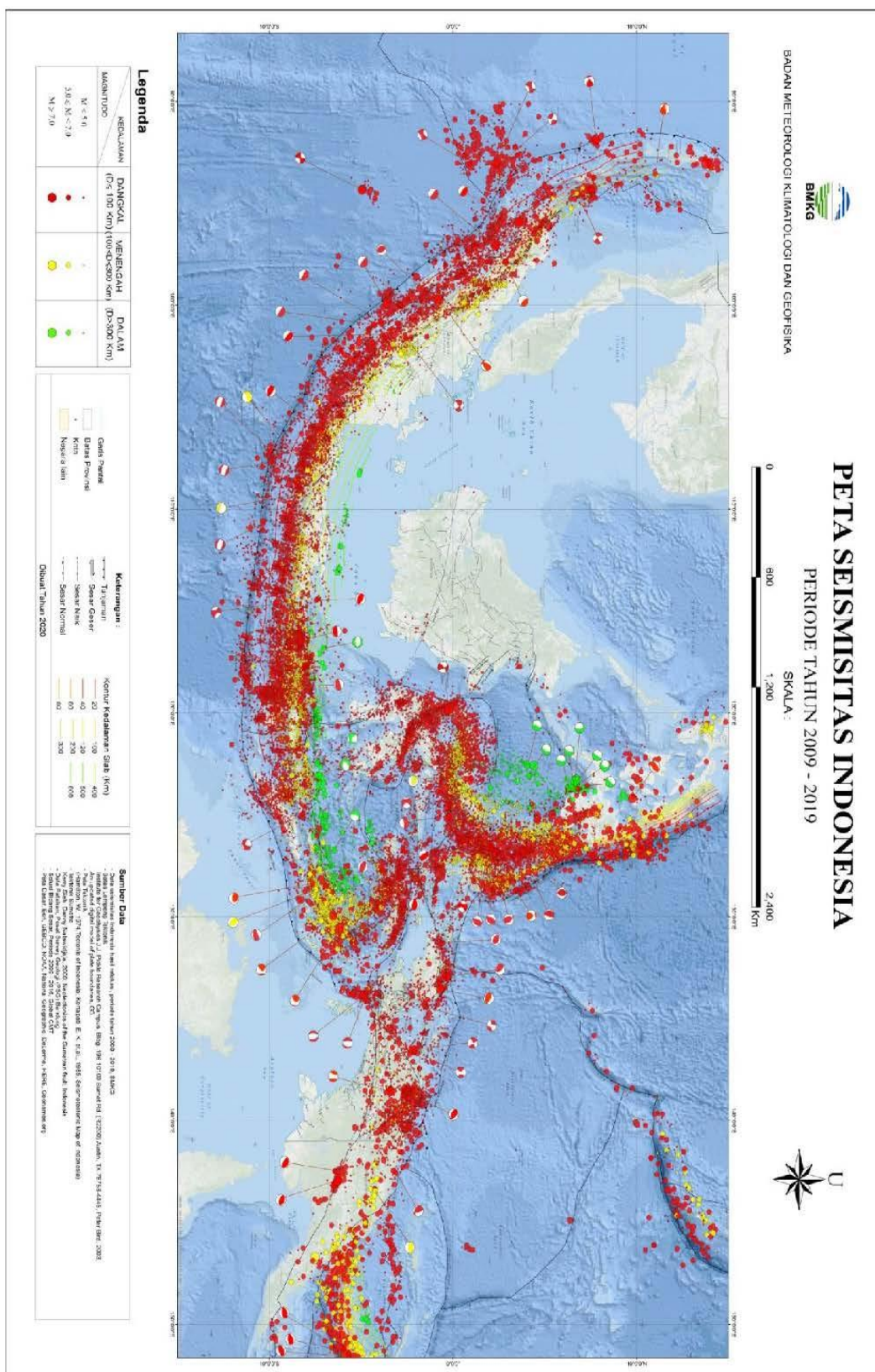
Provinsi Lampung merupakan provinsi yang terletak di bagian selatan Pulau Sumatera dan mempunyai jarak yang dekat dengan gunung Anak Krakatau. Menurut Sutawidjaya (2006) pasca letusan besar tahun 1883, Gunung Anak Krakatau muncul kembali pada tahun 1929. Sampai tahun 2006 telah meletus kurang lebih sebanyak 80 kali atau terjadi letusan setiap tahun sebanyak 1- 6 kali berupa erupsi eksplosif atau efusif. Ketika Letusan besar tahun 1883, terjadi bencana tsunami dengan ketinggian gelombang tsunami sebesar 24 meter mengarah ke Teluk Betung, hal ini menyebabkan kerusakan sepanjang pantai Lampung (Verbeek, 1884) dalam Sutawidjaya (2006). Menurut BNPB (2016) tsunami yang diakibatkan letusan gunung api Krakatau tersebut mengakibatkan korban jiwa sebesar 36.000 jiwa meninggal.



Gambar 1. Peta gunung api  
(Sumber : <https://bpptkg.esdm.go.id>)

Selain bencana letusan gunung api yang memicu terjadinya tsunami, menurut Hamzah *et al.* (2000) dalam BNPB (2016) Indonesia telah mengalami beberapa kali tsunami besar dan hampir 90% kejadian disebabkan oleh gempa bumi di laut. Salah satu wilayah laut yang memiliki aktifitas geologis tinggi di zona megathrust adalah di sekitar selat sunda. Aktivitas kegempaan di sekitar selat sunda tercatat cukup besar. Rata-rata kejadian gempa dengan skala diatas 2,5 skala *richter* di wilayah ini mencapai 2000 kali setiap tahunnya (Naryanto, 2003) dalam Mayaguezz *et al.* (2023). Peta seismisitas Indonesia disajikan pada Gambar 2.

Kecamatan Panjang merupakan salah satu kecamatan yang berada di pesisir Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Kecamatan Panjang ini memiliki kegiatan sosial ekonomi penting berupa kawasan pelabuhan, kawasan pelabuhan tersebut dijadikan sebagai pelabuhan yang melayani kegiatan transportasi laut, baik itu dalam negeri ataupun internasional, hal ini menjadikan pelabuhan tersebut menjadi salah satu penggerak utama pertumbuhan ekonomi di Provinsi Lampung. Tidak hanya itu, kawasan Panjang menjadi kawasan industri yang terdiri dari kawasan industri menengah dan kawasan perdagangan (Peraturan daerah Kota Bandar Lampung Nomor 10 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Tahun 2011-2030). Kecamatan Panjang juga memiliki topografi yang beragam, termasuk daerah rendah dan perbukitan. Keberagaman ini berpotensi meningkatkan risiko terhadap bencana alam seperti banjir, longsor, gempa bumi dan tsunami, dari hal ini Kecamatan Panjang ditetapkan sebagai kawasan rawan bencana berupa tanah longsor, gempa bumi dan gelombang pasang tsunami (Peraturan daerah Kota Bandar Lampung Nomor 10 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Tahun 2011-2030). Selain itu, Panjang juga memiliki kependudukan yang padat sebesar 75.046 penduduk (BPS, 2022). Hal ini berpotensi meningkatkan risiko bencana.



Gambar 2. Peta seismisitas Indonesia  
(Sumber : BNPB, 2020)

Memperhatikan potensi bencana tsunami yang mengancam ribuan penduduk di Kecamatan Panjang maka diperlukan upaya mitigasi yang efektif dan efisien. Salah satu program mitigasi yang dapat dilakukan adalah penyusunan jalur evakuasi tsunami dari setiap lokasi di Kecamatan Panjang menuju titik ketinggian aman terdekat. Evakuasi yang efektif sangat penting dalam mengurangi kerugian manusia dan harta benda dalam keadaan darurat bencana. Mengurangi dampak negatif dari bencana alam, salah satu langkah penting yang harus diambil adalah menyusun dan memetakan jalur evakuasi yang efektif dan efisien di Kecamatan Panjang. Jalur evakuasi yang efektif dan efisien akan memungkinkan penduduk setempat untuk segera mengungsi ke tempat yang lebih aman saat terjadi bencana, sehingga dapat mengurangi kerugian jiwa dan harta benda. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat membantu dan memberikan informasi kepada mahasiswa lain dalam mengembangkan rencana evakuasi yang berkelanjutan dan efektif, serta membantu masyarakat setempat dalam memahami dan mengikuti jalur evakuasi yang aman.

## **1.2 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis daerah rawan bencana tsunami di Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.
2. Menganalisis jalur evakuasi bencana di Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini yaitu memberikan informasi berupa jalur evakuasi bencana di Kecamatan Panjang yang dapat digunakan agar meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana alam yang potensial terjadi di wilayah tersebut.

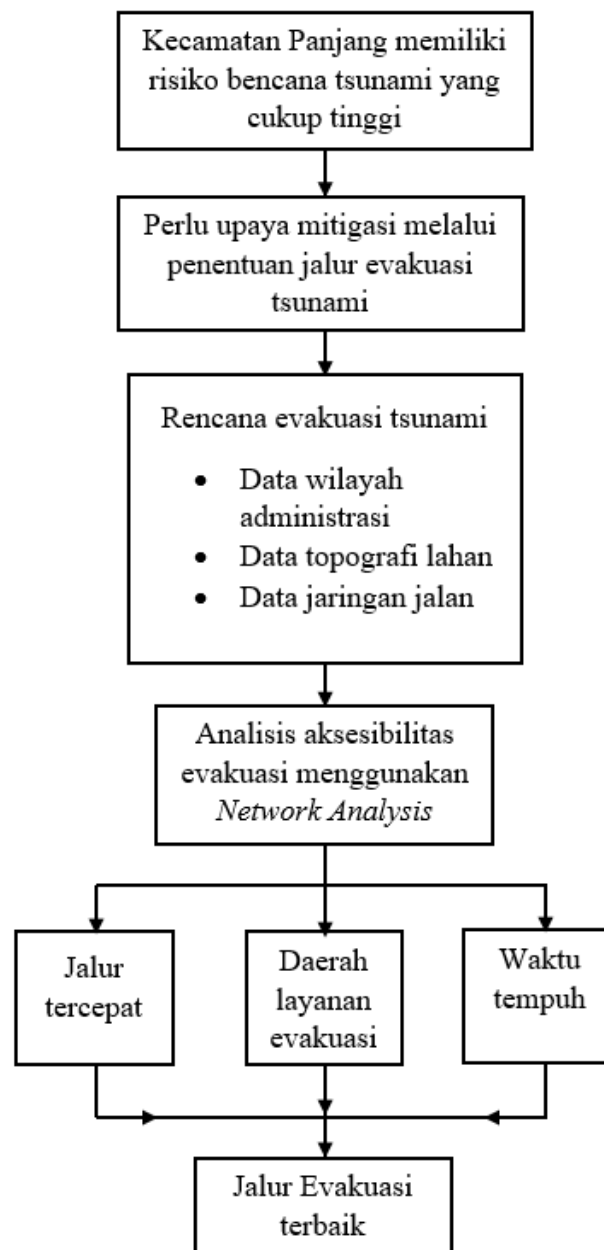
## **1.4 Kerangka Pikir**

Kecamatan Pajang merupakan kecamatan yang berada di Kota Bandar Lampung yang telah ditetapkan sebagai kawasan rawan bencana tsunami, bencana

tersebut dapat terjadi karena faktor alam berupa letusan gunung berapi, tanah longsor dan gempa bumi yang mengakibatkan korban jiwa, kerusakan lingkungan dan kerugian harta benda. Cara mengurangi dampak yang disebabkan oleh bencana dilakukan estimasi kawasan rawan tsunami agar terlihat wilayah yang terdampak dan dilakukan tindakan berupa penanggulangan bencana dengan penentuan jalur atau jaringan jalan yang mengarahkan menuju area aman dari bencana, penentuan jaringan jalan dapat dilakukan dengan mengelola data topografi lahan, data jaringan jalan, dan data wilayah administrasi.

Data topografi lahan, data jaringan jalan, dan data wilayah administrasi merupakan faktor penentu untuk memilih jalur atau jaringan jalan yang akan digunakan, untuk mengelola data tersebut menggunakan metode *Network Analysis*, penggunaan metode *Network Analysis* menggunakan perangkat lunak berupa ArcGIS, *Network Analysis* adalah metode penentuan jaringan jalan berdasarkan rute terpendek, waktu perjalanan, dan fasilitas terdekat, dari ketiga data tersebut digunakan untuk mencari rute terpendek antara dua atau lebih lokasi di jaringan jalan, menghitung waktu perjalanan antara lokasi, dan mencari fasilitas terdekat dimana dari data tersebut akan diolah dan dianalisis untuk menghasilkan jalur evakuasi.

Jalur evakuasi merupakan jalur yang digunakan dalam situasi bahaya, Tujuan utama dari jalur evakuasi sendiri adalah untuk memastikan bahwa masyarakat dapat segera meninggalkan area yang berpotensi berbahaya dengan aman dan efisien. Jalur evakuasi disajikan dalam bentuk peta. Bagan alir kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kerangka pikir.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pengertian Bencana**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 tentang Penanggulangan Bencana (2007) bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Bencana yang disebabkan berdasarkan berbagai faktor yaitu sebagai berikut :

1. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.
2. Bencana non alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa non-alam yang antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit.
3. Bencana sosial adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang diakibatkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antar kelompok atau antar komunitas masyarakat, dan teror.

### **2.2 Tsunami**

Menurut BNPB (2012 dan 2020) kata tsunami berasal dari bahasa Jepang, “tsu” berarti pelabuhan dan “nami” berarti gelombang sehingga secara umum diartikan sebagai gelombang/ombak yang besar di pelabuhan. Tsunami terdiri dari rangkaian gelombang laut yang mampu menjalar dengan kecepatan mencapai

lebih dari 900 km/jam atau lebih. Jenis bencana ini disebabkan oleh berbagai faktor yaitu sebagai berikut :

1. Gempa bumi yang berpusat di laut, diikuti dengan dislokasi/perpindahan masa tanah/batuan yang sangat besar dibawah air (laut/danau).
2. Longsor di bawah laut.
3. Letusan gunung api di bawah laut/gunung api pulau.
4. Hantaman meteor di laut.

Menurut Hamzah *et al.* (2000) dalam BNPB (2016) Indonesia telah mengalami beberapa kali tsunami besar dan hampir 90% kejadian disebabkan oleh gempa bumi di laut, 9% diakibatkan oleh letusan gunung api dan 1% karena tanah longsor bawah laut. Adapun mekanisme terjadinya tsunami akibat gempa bumi dapat diuraikan dalam 4 tahap (kondisi awal, pemisahan gelombang, amplifikasi, dan rayapan) sebagai berikut :

1. Pada tahap awal, gempa bumi terjadi akibat proses tektonik yang melibatkan pergerakan, pergeseran, serta tabrakan antar lempeng bumi, gempa ini biasanya terjadi di zona tumbukan antar lempeng tektonik. Pada zona ini, lempeng yang mempunyai berat jenis yang lebih tinggi (lempeng samudra) akan menyusup dibawah lempeng yang berat jenisnya lebih ringan (lempeng benua), sehingga mendorong kolom air naik dan turun. Energi potensial yang diakibatkan dorongan air ini, kemudian berubah menjadi gelombang tsunami yang merambat secara horizontal.
2. Beberapa menit setelah gempa terjadi, gelombang awal tsunami akan terbagi menjadi dua, sebagian bergerak menuju laut lepas (disebut tsunami berjarak), dan sebagian lainnya menyebar ke wilayah pesisir terdekat (dikenal sebagai tsunami lokal).
3. Amplifikasi, pada waktu tsunami lokal merambat melewati lereng kontinental, sering terjadinya peningkatan amplitudo gelombang dan penurunan panjang gelombang, setelah mendekati daratan dengan lereng yang lebih tegak akan terjadi rayapan gelombang.

4. Rayapan, pada saat gelombang tsunami merambat dari perairan dalam, dimana akan melewati bagian lereng kontinental sampai mendekati bagian pantai maka akan terjadi rayapan tsunami. Rayapan tsunami merupakan ukuran tinggi air di pantai terhadap muka air laut rata-rata yang digunakan sebagai acuan.

Menurut BNPB (2012) bencana tsunami dibagi menjadi tiga berdasarkan tingkat ancamannya yaitu sebagai berikut :

1. Tinggi gelombang tsunami lebih dari 3 m (kategori Awas) biasanya menimbulkan dampak yang sangat luas dan bisa menjangkau area yang jauh dari pantai, bahkan hingga beberapa kilometer ke arah daratan. Contohnya adalah tsunami yang melanda Aceh pada tahun 2004, yang menyebabkan genangan air hingga lima kilometer ke darat.
2. Tsunami dengan ketinggian antara 0,5 hingga 3 m (kategori Siaga) biasanya berdampak lebih ringan. Air bisa menjangkau jarak antara puluhan hingga ratusan meter dari pantai, tergantung pada kontur pantainya. Contohnya adalah tsunami yang terjadi di Pangandaran, Jawa Barat pada tahun 2006, yang merusak area di sekitar garis pantai.
3. Tinggi tsunami kurang dari 0,5 m (kategori Waspada), dampaknya cenderung terbatas hanya di wilayah dekat pantai. Misalnya, tsunami yang terjadi di selatan Jawa Barat akibat gempa bumi di Tasikmalaya pada tahun 2009. Dalam situasi seperti ini, tsunami tidak menyebabkan kerusakan signifikan ke wilayah daratan yang lebih jauh.

Menurut IOC (2009) dalam GTZ IS-GITEWS (2010) waktu kedatangan gelombang tsunami pertama datang sekitar 20 menit setelah gempa bumi, tapi di kebanyakan daerah rawan tsunami di Indonesia biasanya tidak lebih dari 30 menit. Adapun berdasarkan pemodelan kedatangan gelombang tsunami yang terpublikasikan di jurnal sebagai berikut :

1. Benazir *et al.* (2022) memodelkan skenario gempa Mw 9,15 dan 9,2 di segmen Aceh-Andaman. Hasil estimasi menunjukkan :
  - a. Sabang : 18–22 menit

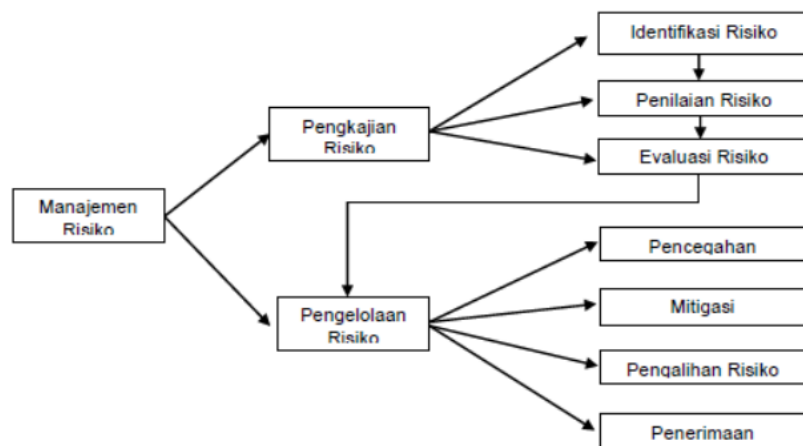
- b. Pulau Nasi dan Breuh : 21–27 menit
- c. Banda Aceh & Lhoknga : sekitar 34 menit
- 2. Fatimah *et al.* (2023) memodelkan skenario gempa Mw 8,5 di Teluk Amurang, Sulawesi Utara, diperkirakan gelombang tsunami tiba dalam 8-11 menit setelah gempa.
- 3. Baroroh *et al.* (2025) memodelkan skenario gempa tektonik bermagnitudo Mw 7,8 yang terjadi pada tanggal 3 Juni 1994 di pesisir selatan, Banyuwangi, Jawa Timur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gelombang tsunami mulai memasuki wilayah pesisir dalam waktu sekitar 10 menit, meluas hingga ke beberapa area pesisir dalam 30 menit.

### 2.3 Manajemen Risiko Bencana

Menurut Kementrian PUPR BPSDM (2017) manajemen risiko bencana terdiri dari dua bagian yaitu pengkajian risiko (*risk assessment*) dan pengelolaan risiko (*risk treatment*). Manajemen risiko bencana disajikan pada Gambar 4. dan dipaparkan sebagai berikut :

1. Pengkajian risiko memiliki beberapa tahapan, yaitu :
  - a. Tahap identifikasi risiko bencana dilakukan dengan mengenali berbagai faktor yang memengaruhi risiko, seperti penyebab terjadinya bencana (*hazard*) dan tingkat kerentanan manusia terhadap bahaya (*vulnerability*), guna mengetahui sejauh mana kemampuan mereka dalam menghadapi bencana.
  - b. Penilaian risiko bertujuan untuk menentukan tingkat risiko yang mungkin terjadi, yang dihitung berdasarkan kombinasi antara bahaya (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*). Dalam kerentanan terdapat unsur kapasitas. Dari hasil penilaian risiko diperoleh gambaran tentang tingkat risiko bencana, apakah tinggi, sedang atau rendah.
  - c. Mengevaluasi risiko adalah upaya untuk mencari prioritas risiko yang mana yang harus ditangani, namun tidak semua risiko tinggi harus dirangani.

2. Pengelolaan risiko, setiap risiko yang dihadapi mempunyai 4 alternatif penanganan yaitu :
- Menghindari risiko (pencegahan), dilakukan apabila kita tidak mampu melawan risiko yang akan terjadi, maka kita harus menghindari dengan cara relokasi, membuat peraturan tata ruang yang melarang berada di tempat tersebut.
  - Mengurangi risiko (mitigasi), dilakukan jika risiko tersebut masih dalam batas kemampuan untuk ditangani, maka kita lakukan upaya mitigasi yang dapat berupa mitigasi struktural maupun mitigasi non struktural.
  - Mengalihkan risiko (transfer), dilakukan jika risiko yang seharusnya kita terima dialihkan pada pihak lain, hal ini untuk meringankan beban penerima risiko. Hal ini dilakukan dengan cara membayar asuransi.
  - Menerima risiko (*risk acceptance*) adalah risiko sisa yang harus kita terima setelah upaya-upaya diatas dilaksanakan.



Gambar 4. Manajemen risiko bencana.

(Sumber : Kementrian PUPR BPSDM, 2017).

## 2.4 Risiko Bencana

Risiko bencana adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat (Undang-Undang Republik Indonesia

Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana). Nilai risiko bencana dapat berubah berdasarkan tingkat tinggi dan rendahnya kapasitas dan kerentanan terhadap bahaya, nilai risiko bencana akan rendah jika nilai kapasitas ditingkatkan dan nilai kerentanan dikurangi, sebaliknya jika nilai risiko bencana didapatkan tinggi maka nilai kapasitas tersebut kurang sedangkan nilai kerentanan tersebut tinggi. Hal ini membuktikan bahwa risiko bencana tidak dapat dipisahkan dari ketiga faktor tersebut (bahaya, kerentanan dan kapasitas). Menurut BNPB (2016) risiko bencana dirumuskan pada persamaan (1).

$$Risk (R) = \frac{Hazard (H) \times Vulnerability (V)}{Capacity (C)} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

R : *Risk* / Risiko bencana  
H : *Hazard* / Potensi bencana  
V : *Vulnerability* / Kerentanan  
C : *Capacity* / Kapasitas

#### 2.4.1 Bahaya

*Hazard* atau dalam bahasa Indonesia sering diartikan sebagai ancaman atau bahaya yaitu diartikan sebagai fenomena atau kejadian alam atau ulah manusia yang dapat menimbulkan kerusakan, kerugian dan/atau korban manusia (Maarif, 2012).

Menurut BNPB (2008) melihat dari potensi bencana yang ada, Indonesia merupakan negara dengan potensi bahaya yang sangat tinggi dan beragam, beberapa potensi tersebut antara lain adalah gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, banjir, tanah longsor, kekeringan, kebakaran lahan dan hutan, kebakaran perkotaan dan permukiman, angin badai, wabah penyakit, kegagalan teknologi dan konflik sosial. Fenomena-fenomena tersebut sudah banyak terjadi di berbagai tempat di Indonesia, salah satu bencana yang tidak dapat dilupakan adalah bencana tsunami yang terjadi di Banda Aceh pada tahun 2004. Menurut Lay *et al.* (2005) tsunami Banda Aceh telah memakan korban jiwa lebih dari 283.000 jiwa dimana penyebab tsunami tersebut dikarenakan gempa bumi yang memecahkan sebagian batas patahan sepanjang 1.600 kilometer antara Indo-Australia dan Eurasia tenggara dengan kekuatan magnitudo sebesar 9,1 – 9,3 Mw.

Bencana juga telah terjadi di Provinsi Lampung pada tahun 1883 dan 2018. Menurut Fauzi *et al.* (2020) letusan gunung Krakatau pada tahun 1883 merupakan salah satu letusan gunung yang mematikan sepanjang sejarah, karena letusan tersebut menyebabkan megatsunami, gelombang awan panas dan menewaskan lebih dari 30.000 jiwa, serta menghancurkan pesisir Banten dan Lampung. Pada tanggal 22 Desember 2018 peristiwa tsunami terjadi kembali, tsunami tersebut disebabkan oleh letusan Gunung Anak Krakatau di Selat Sunda yang menghantam daerah pesisir Banten dan Lampung, sedikitnya 426 orang tewas, 7.202 terluka dan 23 orang hilang akibat peristiwa ini. Hal ini menunjukkan bahwa betapa bahayanya *hazard* terhadap manusia dan perlu dilakukan pencegahan atau pun pengurangan dampak yang terjadi.

#### **2.4.2 Kerentanan**

Kerentanan merupakan suatu kondisi ketidak mampuan masyarakat dalam menghadapi ancaman. Kerentanan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah fisik, sosial, ekonomi dan lingkungan. Kerentanan fisik merupakan kerentanan yang paling mudah teridentifikasi karena jelas terlihat seperti ketidak mampuan fisik (cacat, kondisi sakit, tua, kerusakan jalan dan sebagainya), sedangkan kerentanan lainnya sering agak sulit diidentifikasi secara jelas. Kerentanan sosial pada masyarakat kota yang individualis ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan kerentanan masyarakat perkampungan/ pedesaan yang masih memiliki solidaritas tinggi sebagai modal sosial. Kondisi lingkungan juga menjadi salah satu faktor kerentanan masyarakat. Kondisi lingkungan yang buruk akan memperparah dampak bencana yang timbul. Permukiman yang tidak tertata dengan baik menyebabkan akses bantuan untuk pertolongan darurat terganggu sehingga penanganan dini tidak dapat segera dilakukan yang mengakibatkan insiden tersebut berkembang menjadi bencana (Maarif, 2012).

Menurut BNPB (2008) kerentanan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut :

1. Kerentanan fisik, secara fisik bentuk kerentanan yang dimiliki masyarakat berupa daya tahan menghadapi bahaya tertentu, sebagai

contoh kekuatan bangunan rumah bagi masyarakat yang berada di daerah rawan gempa.

2. Kerentanan ekonomi, kerentanan ekonomi suatu individu atau masyarakat sangat menentukan tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya. Sebagai contoh pada umumnya masyarakat atau daerah yang miskin atau kurang mampu lebih rentan terhadap bahaya, karena tidak mempunyai kemampuan finansial yang memadai untuk melakukan upaya pencegahan atau mitigasi bencana.
3. Kerentanan sosial, kondisi masyarakat juga mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya. Sebagai contoh dari segi pendidikan, kekurangan pengetahuan tentang risiko bahaya dan bencana akan mempertinggi tingkat kerentanan, demikian pula tingkat kesehatan masyarakat yang rendah juga mengakibatkan rentan menghadapi bahaya.
4. Kerentanan lingkungan, lingkungan hidup suatu masyarakat sangat mempengaruhi kerentanan. Sebagai contoh masyarakat yang tinggal di daerah yang kering dan sulit air akan selalu terancam bahaya kekeringan. Penduduk yang tinggal di lereng bukit atau pegunungan rentan terhadap ancaman bencana tanah longsor dan sebagainya.

### **2.4.3 Kapasitas**

Menurut Kementrian PUPR BPSDM (2017) kapasitas adalah penguasaan sumberdaya, cara dan kekuatan yang dimiliki masyarakat yang memungkinkan mereka untuk mempertahankan dan mempersiapkan diri mencegah, menanggulangi, meredam, serta dengan cepat memulihkan diri dari akibat bencana. Kapasitas dapat melingkupi pencegahan terhadap terjadinya ancaman atau mengurangi kekuatan/volume ancaman, ataupun mengurangi kerentanan terhadap ancaman itu sendiri. Kapasitas dapat berbeda antara satu tempat dengan tempat yang lain. Kapasitas di daerah urban misalkan kondisi infrastruktur. Sebagai contoh daerah rawan gempa seperti di Jepang, bahwa negara tersebut menerapkan sistem peredam gempa pada setiap gedung-gedung tinggi pencakar langit, tidak

hanya itu contoh lain yang bisa kita lihat lagi adalah daerah pelabuhan yang menggunakan pemecah gelombang.

Salah satu peningkatan sarana prasarana mitigasi dalam pengurangan risiko bencana dalam Rencana Nasional Penanggulangan Bencana 2020-2024 menurut BNPB (2020) sebagai berikut :

1. Pembangunan infrastruktur hijau seperti penahan longsor, kolam retensi multifungsi, *check dam*, dan sabo dam dilakukan di daerah sungai yang menjadi prioritas atau memiliki risiko tinggi terhadap tsunami.
2. Pengembangan sistem drainase utama di wilayah perkotaan, meliputi pembangunan kanal banjir, *polder*, dan pompa air.
3. Pembangunan serta peningkatan efektivitas tanggul laut, *breakwater*, dan struktur perlindungan pantai lainnya.
4. Peningkatan dan penguatan ketahanan infrastruktur penting agar lebih tangguh dalam menghadapi risiko bencana.

Menurut BNPB (2022) kapasitas memiliki komponen dari unsur ketahanan daerah seperti kebijakan dan kelembagaan, pendidikan dan pelatihan, logistik, kapasitas mitigasi, pencegahan, kesiapsiagaan dan penanganan darurat dan kapasitas pemulihan. Salah satu keterlibatan para pihak dapat dilihat dalam pengurangan risiko bencana dalam Rencana Nasional Penanggulangan Bencana 2020-2024 menurut BNPB (2020) sebagai berikut :

1. BNPB, sebagai pelaksana mandat penyelenggaraan penanggulangan bencana di tingkat pusat sesuai Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, BNPB memiliki tugas dan fungsi untuk melakukan perumusan dan penetapan kebijakan penanggulangan bencana dan penanganan pengungsi. Selain itu, BNPB bertugas mengatur dan mengoordinasi upaya penanggulangan bencana yang dirancang secara menyatu, terstruktur, dan komprehensif.
2. Kementerian Koordinator Maritim dan investasi merencanakan kebijakan dan strategi pengelolaan wilayah pesisir dan inventasi aman bencana.

3. Kementerian Keuangan menyiapkan anggaran biaya kegiatan penyelenggaraan penanggulangan bencana pada masa pra-bencana, tanggap darurat dan pasca bencana.
4. Kementerian Kelautan dan Perikanan menyusun serta mengatur langkah-langkah mitigasi untuk mengatasi dampak bencana di wilayah pesisir, termasuk upaya kesiapsiagaan menghadapi tsunami dan pengikisan pantai.
5. Kementerian Kesehatan menyusun dan menjalankan layanan medis dan kesehatan, meliputi penyediaan obat-obatan, tenaga kesehatan, layanan trauma *healing*, serta relawan pada masa darurat dan tahap pemulihan pascabencana, sekaligus memperkuat ketahanan sistem kesehatan masyarakat.
6. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan bertugas merancang, menjalankan, serta mengatur pelaksanaan pendidikan selama masa darurat di wilayah terdampak bencana, termasuk perbaikan sarana dan prasarana pendidikan. Selain itu, kementerian juga mengoordinasikan program pendidikan sadar bencana di seluruh jenjang pendidikan, baik formal maupun informal, melalui program Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB).
7. Kementerian Komunikasi dan Informatika merencanakan dan mengendalikan pengadaan fasilitas dan sarana komunikasi darurat untuk mendukung tanggap darurat bencana dan pasca bencana.
8. Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan (BASARNAS) mendukung BNPB dalam mengkordinasikan dan menyelenggarakan kegiatan pencarian, pertolongan dan penyelamatan (SAR).
9. BMKG membantu dalam bidang pemantauan potensi bencana yang terkait dengan metereologi, klimatologi dan geofisika.
10. Tentara Nasional Indonesia (TNI) berperan dalam pelaksanaan kegiatan pencarian serta penyelamatan (SAR), dan turut serta dalam mengoordinasikan upaya penanganan darurat.
11. Kepolisian Republik Indonesia turut berperan dalam pelaksanaan kegiatan SAR dan menjaga keamanan selama masa tanggap darurat,

termasuk mengamankan area yang ditinggalkan akibat evakuasi penduduk, serta memastikan ketertiban masyarakat di wilayah terdampak bencana.

Selain unsur pemerintahan pusat, unsur para pihak lain yang terlibat dalam rencana aksi (BNPB, 2020) sebagai berikut :

1. Akademisi, Pakar, dan Ahli antara lain seperti :
  - a. Platform Nasional Pengurangan Risiko Bencana (Planas PRB).
  - b. Forum Perguruan Tinggi untuk PRB (FPT PRB).
  - c. Ikatan Ahli Bencana Indonesia (IABI).
2. Lembaga Usaha, Bisnis, dan Filantropi.
3. Organisasi Masyarakat Sipil antara lain seperti :
  - a. Forum/Lembaga Masyarakat Sipil.
  - b. Forum/Lembaga internasional.
  - c. Lembaga asing non pemerintahan.
4. Lembaga Media.

## **2.5 Penanggulangan Bencana**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 tentang Penanggulangan Bencana (2007) penanggulangan bencana adalah segala upaya atau kegiatan yang dilaksanakan dalam rangka pencegahan, mitigasi, kesiapsiagaan, tanggap darurat dan pemulihan berkaitan dengan bencana yang dilakukan sebelum, pada saat, dan setelah bencana. Siklus penanggulangan bencana disajikan pada Gambar 5.

Menurut Kementrian PUPR BPSDM (2017) penerapan manajemen penanggulangan bencana dilakukan melalui tiga tahap, sebagai berikut:



Gambar 5. Siklus penanggulangan bencana.  
(Sumber : <http://www.bpbd.jogjaprovo.go.id>).

1. Tahap pra-bencana yang dilaksanakan ketika tidak terjadi bencana dan terdapat potensi bencana.
2. Langkah tanggap darurat dilakukan selama kejadian bencana berlangsung.
3. Tahapan penanganan pasca bencana dilaksanakan setelah bencana berakhir.

### 2.5.1 Pra Bencana

Tahap pra-bencana merupakan proses pengelolaan bencana yang difokuskan pada langkah-langkah untuk meminimalkan potensi risiko sebelum bencana terjadi (Kementrian PUPR BPSDM, 2017). Pengelolaan risiko dilakukan melalui beberapa bentuk tindakan sebagai berikut :

1. Pencegahan merupakan berbagai upaya yang dirancang untuk menghilangkan atau mengurangi potensi ancaman bencana sebelum terjadi.
2. Mitigasi mencakup langkah-langkah sistematis yang bertujuan menurunkan tingkat risiko bencana, baik melalui infrastruktur maupun edukasi dan peningkatan kapasitas masyarakat dalam menghadapi potensi bahaya.
3. Kesiapsiagaan merupakan rangkaian tindakan yang dirancang untuk mengantisipasi terjadinya bencana, meliputi perencanaan organisasi dan langkah strategis yang efisien serta efektif.

### **2.5.2 Saat Bencana**

Menurut Kementrian PUPR BPSDM (2017) kedaruratan merupakan proses pengelolaan tanggap bencana yang berfokus pada upaya mengurangi jumlah korban jiwa dan kerugian materi, serta menangani pengungsi selama bencana berlangsung sesuai dengan fase-fasenya. Sebagai berikut :

1. Tanggap darurat bencana mencakup berbagai tindakan yang dilaksanakan secepat mungkin saat bencana terjadi, dengan tujuan menangani dampak negatif. Kegiatan ini meliputi evakuasi korban, penyelamatan aset, pemenuhan kebutuhan pokok, perlindungan, pengelolaan pengungsi, hingga pemulihan sarana dan prasarana.

### **2.5.3 Pasca Bencana**

Menurut Kementrian PUPR BPSDM (2017) pemulihan merupakan proses penanganan pasca bencana yang fokus pada pemulihan kondisi masyarakat dan lingkungan terdampak, melalui pengaktifan kembali institusi, infrastruktur, dan fasilitas secara sistematis, terorganisir, dan menyeluruh. setelah terjadinya bencana dengan fase-fasenya sebagai berikut :

1. Rehabilitasi mencakup proses perbaikan dan pemulihan layanan publik dan aspek kehidupan masyarakat di wilayah terdampak, hingga mencapai kondisi yang layak. Tujuannya adalah untuk menormalkan kembali fungsi pemerintahan dan kehidupan sosial secara wajar.
2. Rekonstruksi merupakan tahapan pembangunan ulang seluruh sarana dan prasarana yang rusak akibat bencana, baik di tingkat pemerintahan maupun masyarakat. Fokus utamanya adalah pemulihan fungsi sosial, ekonomi, budaya, serta penegakan hukum dan ketertiban, termasuk mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam kehidupan pascabencana.

## **2.6 Mitigasi Tsunami**

Menurut Kementrian PUPR BPSDM (2017) mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, mitigasi bencana dapat dilakukan melalui pendekatan fisik (struktural), perencanaan tata ruang (non-struktural), serta edukasi publik seperti kampanye kesadaran masyarakat. Tujuannya adalah

untuk mengurangi dampak negatif dari potensi bahaya alam yang mungkin terjadi. Upaya mitigasi dapat dilakukan dalam beberapa bentuk sebagai berikut :

1. Mitigasi struktural, melibatkan pembangunan infrastruktur fisik atau struktur teknis untuk mengurangi risiko bencana. Salah satu mitigasi struktural untuk daerah pesisir yaitu:
  - a. Pembangunan sistem pertahanan pantai seperti *sea wall*, atau sistem penahan gelombang untuk melindungi wilayah pesisir dari abrasi dan banjir rob. Pertahanan pantai *sea wall* disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Sea wall*.

(Sumber : dokumentasi pribadi).

- b. Peningkatan atau pemulihan ekosistem alami seperti hutan mangrove yang dapat berfungsi sebagai benteng alami untuk melindungi pantai dari gelombang dan badai. Ekosistem alami hutan mangrove disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hutan mangrove.

(Sumber : dokumentasi pribadi).

- c. Konstruksi bangunan yang tahan terhadap gempa bumi dan tsunami di daerah pesisir yang rawan terhadap bencana tersebut.
- 2. Mitigasi non struktural, mencakup langkah-langkah perencanaan dan kebijakan untuk mengurangi risiko bencana, antara lain seperti:
  - a. Penetapan zona-zona larangan bangunan di daerah rawan bencana seperti zona bahaya tsunami atau zona rawan banjir rob.
  - b. Pengembangan peraturan tata ruang yang ketat untuk mengatur penggunaan lahan di daerah pesisir dengan mempertimbangkan risiko bencana.
  - c. Implementasi peraturan pembangunan yang ketat untuk memastikan bahwa struktur bangunan di daerah pesisir memenuhi standar keamanan yang diperlukan.
- 3. Mitigasi pendidikan, pendidikan dan peningkatan kesadaran masyarakat tentang risiko bencana sangat penting, antara lain seperti :
  - a. Kampanye kesadaran masyarakat tentang risiko bencana seperti tsunami, badai tropis, atau banjir rob.
  - b. Pelatihan darurat untuk masyarakat pesisir tentang langkah-langkah yang harus diambil dalam situasi darurat seperti evakuasi cepat saat terjadi ancaman bencana.
  - c. Pendidikan mengenai praktik-praktik adaptasi dan penanggulangan bencana, seperti penanaman mangrove, penggunaan bangunan tahan gempa, atau rencana evakuasi.

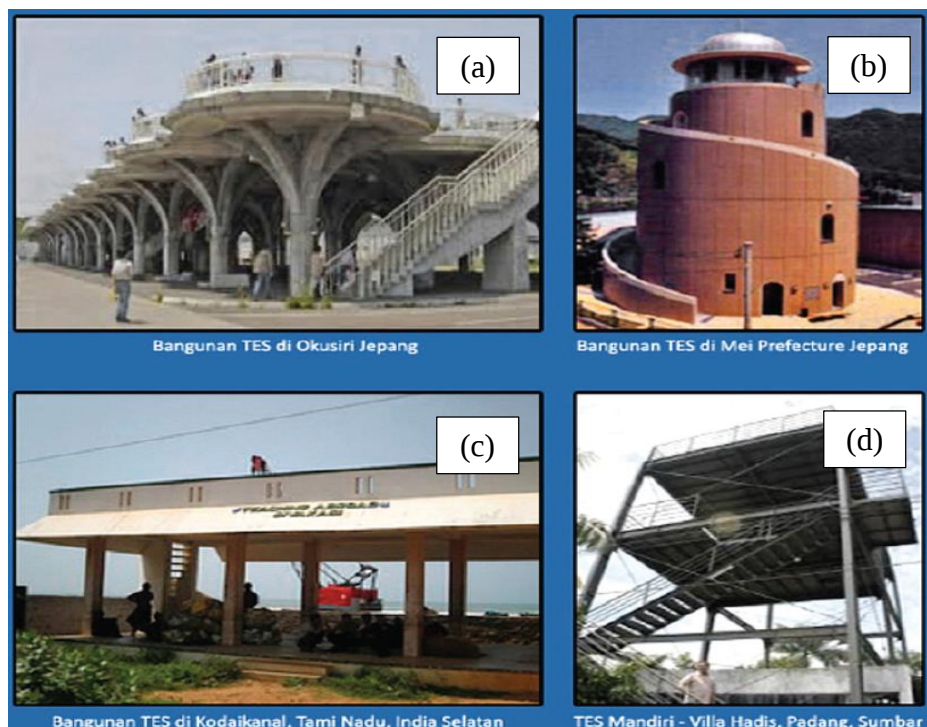
Dari hal tersebut dapat dipahami bahwa salah satu mitigasi tsunami yang dapat dilakukan adalah dengan membuat atau menentukan jalur evakuasi, jalur evakuasi sendiri termasuk mitigasi yang dilakukan dalam bentuk non struktural, karena jalur evakuasi melibatkan perencanaan penggunaan lahan dan strategi organisasi untuk memastikan bahwa orang dapat meninggalkan area yang berpotensi berbahaya dengan aman dan efisien selama situasi darurat atau bencana.

Jalur evakuasi merupakan rute atau jalan yang telah ditentukan dan disiapkan untuk digunakan dalam situasi darurat atau keadaan bahaya. Tujuan

utama dari jalur evakuasi untuk memastikan bahwa orang-orang dapat segera meninggalkan area yang berpotensi berbahaya dengan aman. Menurut BNPB (2018) jalur evakuasi adalah jalan atau arah yang disepakati untuk menghindari ancaman menuju Tempat Evakuasi Sementara (TES) atau Tempat Evakuasi Akhir (TEA).

Menurut BNPB (2012) penentuan lokasi TES tsunami sangat krusial, terutama di wilayah yang rentan terkena tsunami, khususnya yang memiliki topografi rendah dan berada jauh dari area yang memiliki kontur tinggi (yang lebih aman dari ancaman tsunami). Fasilitas evakuasi dapat dirancang seperti berikut :

1. Menara TES tsunami merupakan bangunan evakuasi berbentuk menara dengan tinggi setara dua hingga tiga lantai (sekitar 7–10 m). Bangunan ini dirancang dengan struktur yang kuat dan tahan terhadap guncangan gempa berulang hingga kekuatan sekitar 9 SR, serta mampu menahan hantaman gelombang tsunami. Contoh bangunan menara TES disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Contoh bangunan menara TES, (a) TES Okusiri Jepang, (b) TES Mei *Prefecture* Jepang, (c) TES Kodaikanal India Selatan, dan (d) TES Villa Hadis Padang. (Sumber : BNPB, 2012).

2. Bangunan gedung TES tsunami, Bangunan ini dirancang untuk digunakan oleh masyarakat dalam aktivitas sehari-hari. Secara struktur, bangunan terdiri dari tiga bagian utama: bagian dasar, bagian atas, dan atap. Bagian dasarnya berfungsi sebagai area parkir yang dapat digunakan setiap hari. Area parkir ini didesain terbuka agar aliran air tsunami bisa melewati tanpa hambatan. Bagian atasnya merupakan ruang serbaguna yang bisa dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan. Atap bangunan difungsikan sebagai lokasi evakuasi yang mampu menampung hingga 100 orang. Selain itu, atap ini juga dirancang agar helikopter dapat mendarat dan memberikan bantuan saat keadaan darurat. Contoh bangunan gedung TES disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Contoh bangunan gedung TES, (a) TES *Cannon Beach City Hall*, (b) TES tsunami, (c) TES *Permanent Shelter*, dan (d) TES *Cal Poly Pomona*.  
(Sumber : BNPB, 2012).

3. Bangunan umum sebagai TES tsunami, bangunan umum seperti masjid, sekolah, rumah sakit, kantor, hotel juga dapat digunakan sebagai tempat evakuasi. Seperti Masjid Raya Banda Aceh yang berfungsi sebagai tempat evakuasi saat terjadi tsunami Aceh tahun 2004. Atap-atap

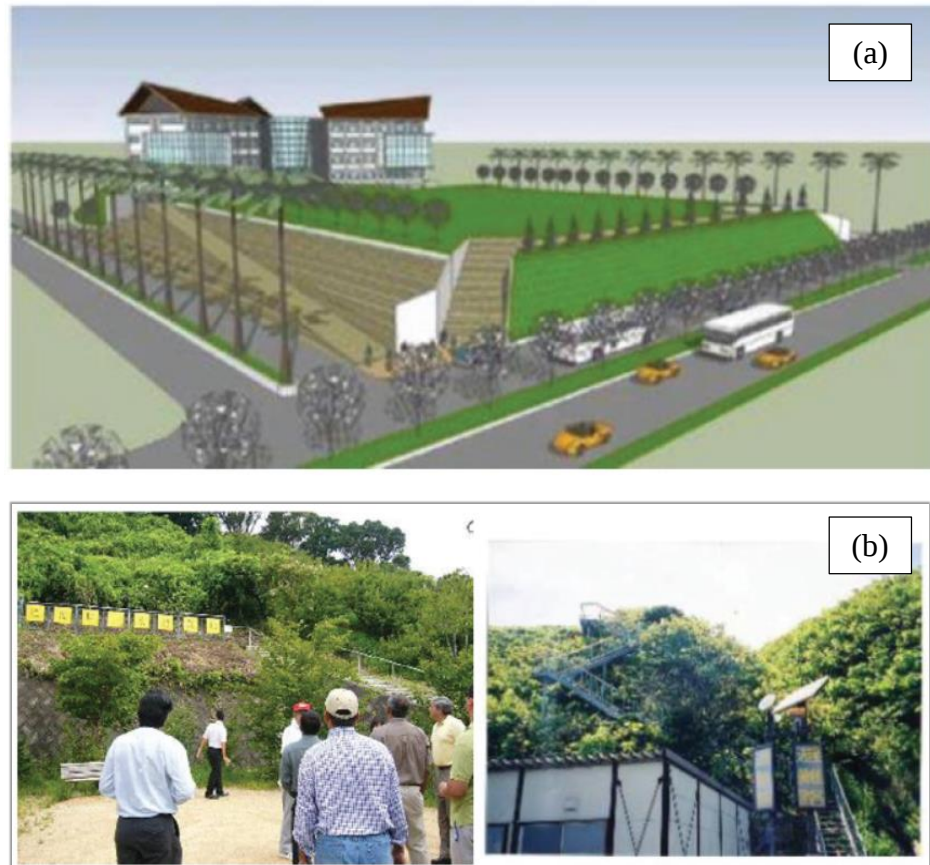
bangunan umum dapat dimodifikasi dengan atap datar yang berfungsi sebagai tempat evakuasi, area ini sebaiknya dilengkapi dengan tangga terbuka agar mudah dikenali dari luar, serta memiliki ramp atau lift darurat untuk memastikan semua orang, termasuk pengguna kursi roda, balita, dan lansia, dapat mengaksesnya dengan mudah saat evakuasi. Contoh bangunan umum TES disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Contoh bangunan umum TES, (a) TES kantor Gubernur Padang, (b) TES perkantoran Chillie, (c) TES *Looptecture F Design* Fukura Jepang, dan (d) TES Masjid Pasir Putih Padang.  
(Sumber : BNPB, 2012).

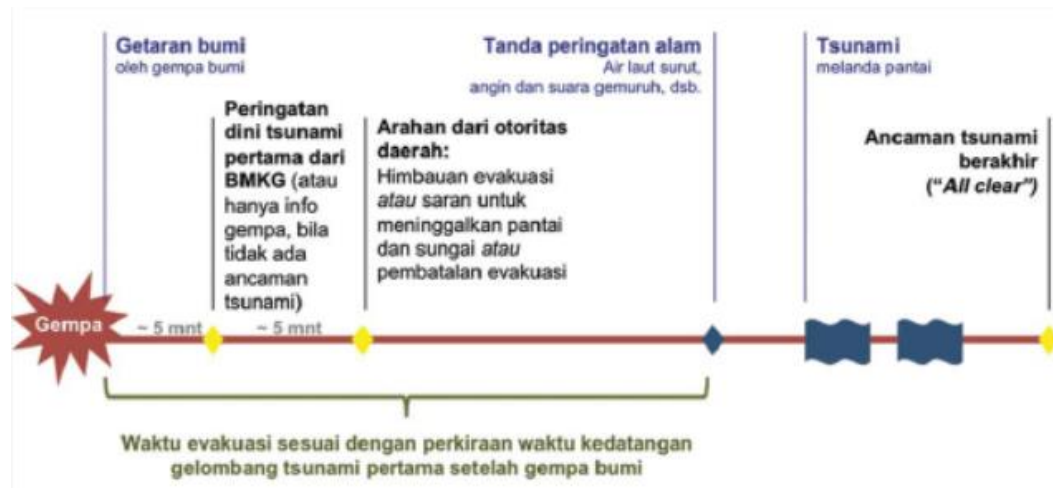
4. Pembangunan bukit buatan dapat dijadikan sebagai lokasi TES, khususnya di kawasan permukiman yang berada di daerah pantai dengan kontur datar dan area yang luas. Bukit buatan ini dapat difungsikan sebagai taman kota atau lapangan untuk tempat olah raga atau fasilitas umum lainnya. Sedangkan bagi daerah-daerah pantai yang dekat dengan perbukitan, pembangunan TES tsunami dapat memanfaatkan bentang

alam yang ada dengan membuat fasilitas jalan atau rute evakuasi yang memadai. Contoh bukit buatan TES dan tangga evakuasi disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Contoh TES, (a) TES bukit buatan dan (b) TES tangga evakuasi.  
(Sumber : BNPB, 2012).

Jalur evakuasi sendiri membutuhkan waktu tidak lebih dari 30 menit, Menurut IOC (2009) dalam GTZ IS-GITEWS (2010) waktu kedatangan gelombang tsunami pertama datang sekitar 20 menit setelah gempa bumi, tapi di kebanyakan daerah rawan tsunami di Indonesia biasanya tidak lebih dari 30 menit. Sementara, di beberapa pulau yang terletak dekat dengan wilayah sumber gempa bumi, tsunami bisa datang lebih cepat. Dari hal ini dapat digunakan untuk menentukan waktu yang dimiliki masyarakat untuk menjangkau tempat yang aman, tidak hanya waktu kedatangan gelombang tsunami, kecepatan pengungsi juga menjadi pertimbangan untuk mencapai titik evakuasi. Alur waktu evakuasi disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Alur waktu evakuasi.  
(Sumber : GTZ IS-GITEWS, 2010).

Menurut Kemal & Putra (2018) rata-rata kecepatan berjalan adalah 1,419 m/s atau setara dengan 85,14 m/menit. Data rata-rata waktu dan kecepatan berjalan antar kelompok umur disajikan pada Tabel 1. Terlihat pada Tabel 1 bahwa kecepatan berjalan relawan bervariasi menurut kelompok umur, pada kelompok umur sampai dengan 10 tahun adalah 80,94 m/menit atau setara dengan 1,349 m/s, rerata kecepatan berjalan kelompok umur 20-40 tahun adalah 90,32 m/menit atau setara dengan 1,505 m/s sedangkan kelompok umur >60 tahun adalah 84,13 m/menit atau setara dengan 1,402 m/s.

Tabel 1. Kecepatan berjalan

| No        | Jarak<br>(meter) | Rata-rata waktu berjalan<br>(menit) |       |      | Rata-rata kecepatan berjalan<br>(m/menit) |       |        |
|-----------|------------------|-------------------------------------|-------|------|-------------------------------------------|-------|--------|
|           |                  | <10                                 | 20-40 | >60  | <10                                       | 20-40 | >60    |
| 1.        | 515              | 6,11                                | 5,59  | 7,00 | 84,29                                     | 92,13 | 73,57  |
| 2.        | 365              | 3,72                                | 3,90  | 3,00 | 98,12                                     | 93,59 | 121,67 |
| 3.        | 315              | 5,33                                | 3,68  | 4,00 | 59,10                                     | 85,60 | 78,75  |
| 4.        | 250              | 2,93                                | 2,77  | 3,00 | 85,32                                     | 90,25 | 83,33  |
| 5.        | 190              | 2,44                                | 2,11  | 3,00 | 77,87                                     | 90,05 | 63,33  |
| Rata-rata |                  |                                     |       |      | 80,94                                     | 90,32 | 84,13  |

Sumber : Kemal & Putra (2018)

Menurut GTZ IS-GITEWS (2010) dalam memetakan jalur evakuasi diperlukan untuk memilih jalan yang berpotensi menjadi rute-rute evakuasi, rute-rute evakuasi tersebut akan dipilih sebagai rute yang digunakan ketika evakuasi, hal ini ditentukan berdasarkan sebagai berikut :

1. Jalan yang ditentukan sebagai rute utama untuk evakuasi harus cukup lebar sehingga memungkinkan pergerakan warga di sekitarnya.
2. Jalan evakuasi yang memandu langsung menjauhi pantai.
3. Apabila jaringan jalan ini tidak memadai, mungkin perlu menyarankan pembuatan gang-gang dan jalan-jalan tambahan yang dapat menjadi jalur evakuasi.
4. Harus mengantisipasi bahwa rute-rute evakuasi dapat mengalami kerusakan atau terhalang akibat gempa bumi.

Perencanaan jalur evakuasi juga mempertimbangkan berdasarkan fungsi kelas jalan terdapat beberapa pengaturan minimal lebar jalan yang digunakan sesuai dengan kelas jalan dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Lebar minimum kelas jalan untuk jalur evakuasi

| No | Kelas Jalan             | Lebar Minimum |
|----|-------------------------|---------------|
| 1. | Jalan arteri primer     | 10 meter      |
| 2. | Jalan arteri sekunder   | 8 meter       |
| 3. | Jalan kolektor sekunder | 8 meter       |
| 4. | Jalan lokal sekunder    | 4 meter       |
| 5. | Jalan lingkungan        | 4 meter       |

Sumber : *Sea Defence Consultants* (2007)

Beberapa jalan mungkin rawan terhadap genangan tsunami dan bahaya sekunder yang disebabkan oleh gempa bumi, oleh sebab itu perlu dipastikan agar meng-hindari area-area yang berbahaya ketika menentukan rute-rute evakuasi (GTZ IS-GITEWS, 2010). Area-area tersebut sebagai berikut :

1. Jembatan-jembatan yang bisa menjadi rapuh akibat gempa bumi dan khususnya rawan akan kerusakan oleh tsunami yang merambat dengan cepat di sungai-sungai. Kekuatan tsunami sendiri mungkin tidak menghancurkan jembatannya, tetapi benda-benda termasuk perahu dan reruntuhan dengan mudah dapat menghancurkan jembatan.

2. Area-area yang rawan longsor serta reruntuhan bangunan-bangunan tinggi yang rapuh.
3. Jalan-jalan yang dipinggirannya terpasang tiang-tiang listrik serta area yang mempunyai garu induk.
4. Lokasi-lokasi industri yang dapat mengetengahkan bahaya sekunder kepada warga yang evakuasi, seperti lokasi-lokasi industri bahan kimia atau minyak serta gas.
5. Jalan-jalan yang dekat dengan sungai atau muara sungai.

Menurut Alhadi (2014) dalam penentuan jalur evakuasi ketersediaan lokasi evakuasi merupakan fasilitas kritis yang harus tersedia dalam upaya penyelamatan diri masyarakat, lokasi evakuasi sendiri terbagi menjadi dua yaitu, lokasi evakuasi vertikal dan lokasi evakuasi horizontal. Sebagai berikut :

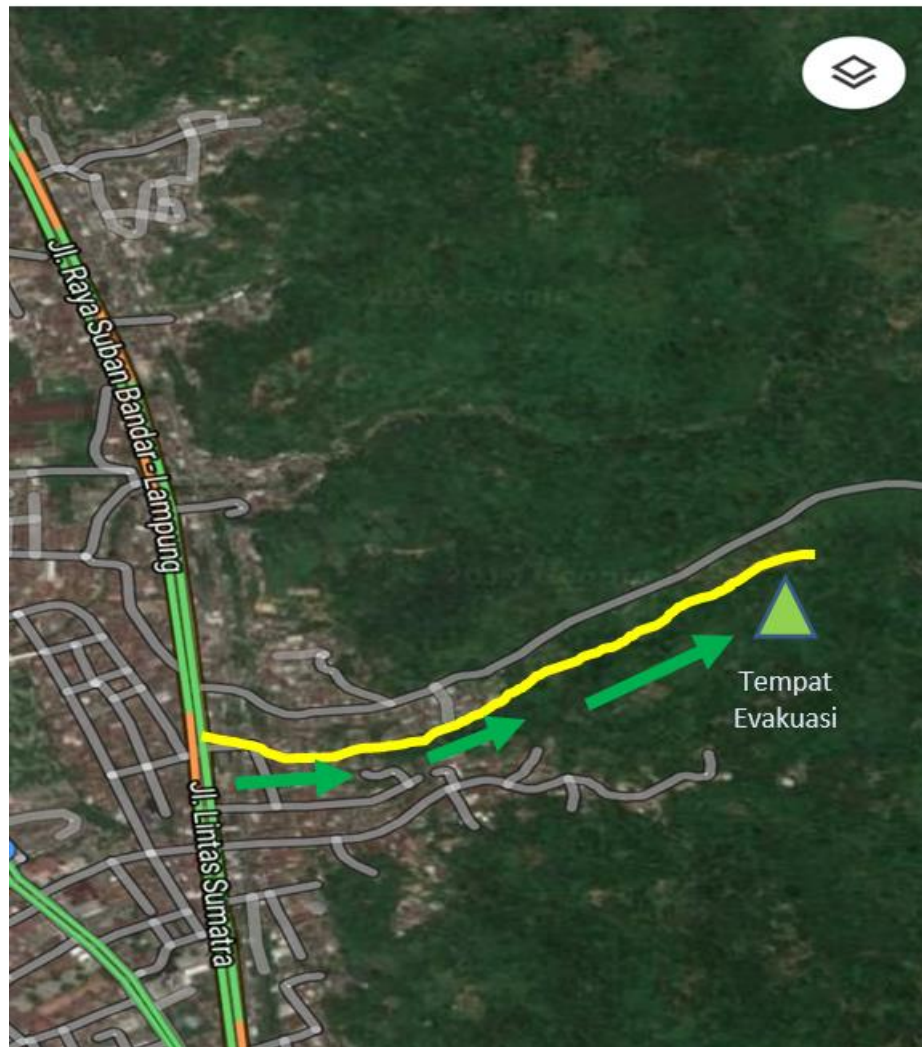
1. Lokasi evakuasi vertikal, masyarakat menyelamatkan diri ke gedung yang mempunyai ketinggian dan kekokohan tertentu sehingga laya menjadi tempat perlindungan.
2. Lokasi evakuasi horizontal, titik kumpul masyarakat di zona aman dari bencana tsunami yang berjarak cukup jauh dari garis pantai sehingga aman dari hantaman tsunami.

## **2.7 Jalur Evakuasi Tsunami di Kecamatan Panjang**

Menurut BPBD Kota Bandar Lampung (2020) ancaman gempa bumi yang dapat berdampak pada Kota Bandar Lampung berpotensi di zona subduksi Megathrust di sekitar selatan sunda, gempa bumi ini berpotensi memberikan dampak bahaya karena guncangan yang kuat dan gelombang tsunami, dampak guncangan ini diprediksi dapat mencapai skala V-VI MMI, sementara dampak gelombang tsunami dapat mencapai wilayah bandar lampung dengan waktu tempuh kurang lebih 25 menit dan dengan ketinggian dapat lebih dari 3 meter.

Daerah yang berpotensi terdampak guncangan di Kota Bandar Lampung V-VI MMI dapat terjadi di sebagian besar Kota Bandar Lampung yaitu 20 kecamatan. Sementara daerah yang berpotensi terdampak gelombang tsunami secara signifikan di Kec. Panjang, Kec. Bumi Waras, Kec. Teluk Betung barat,

Kec. Teluk Betung Timur, Kec. Teluk Betung Selatan, Kec. Teluk Betung Utara.  
(BPBD Kota Bandar Lampung, 2020). Jalur evakuasi tsunami di Kecamatan Panjang disajikan pada Gambar 13.

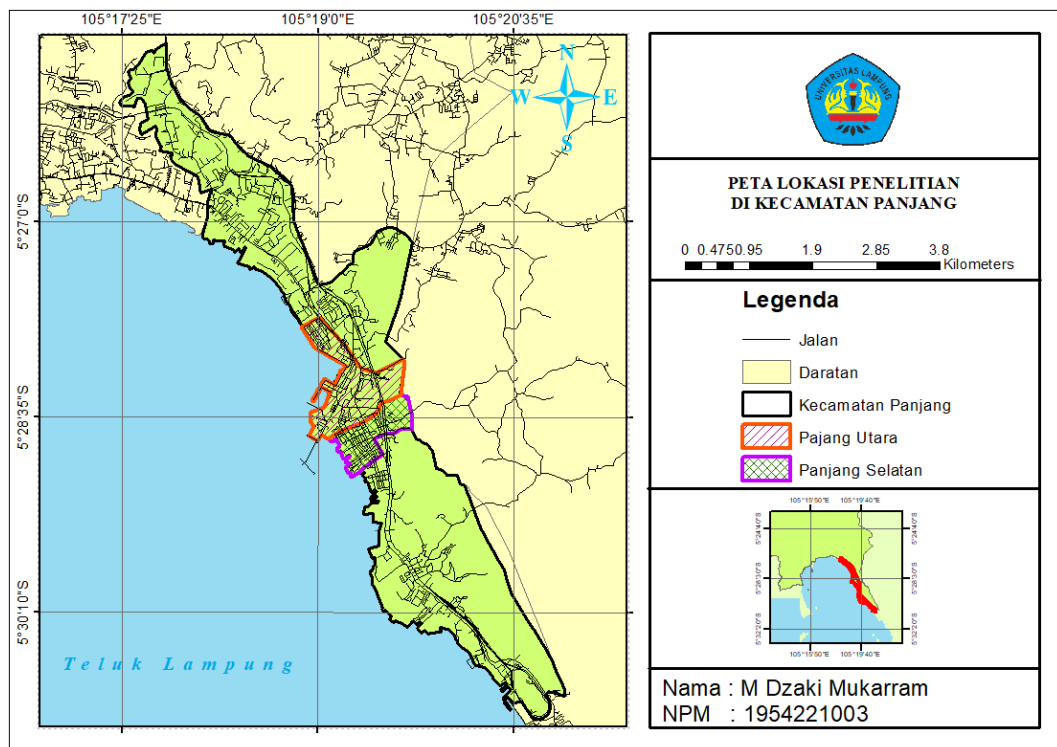


Gambar 13. Jalur evakuasi tsunami di Kecamatan Panjang.  
(Sumber : BPBD, 2020).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung. Kecamatan Panjang sendiri terdiri dari 8 kelurahan, dari 8 kelurahan ini akan dipilih 2 kelurahan yang menjadi prioritas dalam penelitian ini yaitu kelurahan Panjang Utara dan Panjang Selatan, alasan pemilihan kedua kelurahan ini adalah padatnya penduduk dan akses evakuasi yang cukup jauh. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Peta lokasi penelitian.

### 3.2 Bahan dan Alat

Alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini yaitu dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4 :

Tabel 3. Bahan/Data yang digunakan

| No | Bahan/Data                              | Sumber                                 |
|----|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1. | Data Jalur Evakuasi Kota Bandar Lampung | BPBD Kota Bandar Lampung               |
| 2. | Data Wilayah Administrasi               | Ina-Geoportal/tanahair.indonesia.go.id |
| 3. | Data Dem                                | Demnas/ tanahair.indonesia.go.id       |
| 4. | Data Jaringan jalan                     | OpenStreetMap                          |

Tabel 4. Alat yang digunakan

| No | Alat   | Merek  | Kegunaan                                                         |
|----|--------|--------|------------------------------------------------------------------|
| 1. | Laptop | Asus   | Alat yang digunakan untuk pengolahan dan meyimpan data           |
| 2. | ArcGIS | Esri   | Perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis jaringan jalan |
| 3. | GPS    | Garmin | Alat yang digunakan untuk mengambil data berupa lokasi dan jalan |

### 3.3 Metode dan Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan penyajian data secara kualitatif. Menurut Arikunto (2019) penelitian deskriptif adalah penelitian yang dimaksudkan untuk menyelidiki suatu kondisi, keadaan, atau peristiwa lain, kemudian hasilnya akan dipaparkan dalam bentuk laporan penelitian. Pengumpulan data dilakukan dengan survei lapangan serta studi pustaka sebagai penunjang penelitian yang diperoleh dari instansi maupun literatur lain.

Dalam penelitian ini, data yang digunakan terdiri dari 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder sebagai berikut :

1. Data primer, data yang dikumpulkan berdasarkan data di lapangan dengan metode dokumentasi dan observasi lapangan. Data tersebut berupa data terkait jaringan jalan alternatif dan titik evakuasi potensial berdasarkan kondisi dilapangan.
2. Data sekunder, data yang dikumpulkan berdasarkan studi literatur dan dokumentasi tertulis yang diperoleh dari BPBD Bandar Lampung,

Demnas, Ina-Geoportal dan lain-lain. Data tersebut berupa data Dem, RBI, jalur evakuasi BPBD dan jaringan jalan.

### 3.4 Analisis Data

#### 3.4.1 Analisis daerah rawan tsunami di Kecamatan Panjang

Dalam merancang rencana evakuasi diperlukan pemahaman risiko tsunami dan dapat mengembangkan rencana evakuasi tsunami dengan baik, oleh sebab itu memerlukan data dan informasi yang memadai. Data dan informasi yang diperlukan dikelompokkan kedalam 2 kategori sebagai berikut :

1. Data dan informasi mengenai bahaya tsunami, informasi bahaya tsunami ditampilkan dalam peta-peta bahaya tsunami yang menunjukkan daerah-daerah mana saja yang dapat terlanda tsunami. Rujukan terbaik untuk perencanaan evakuasi adalah peta bahaya tsunami yang dikembangkan oleh para pakar dan disahkan. Sayangnya, banyak wilayah rawan tsunami di Indonesia belum mempunyai peta bahaya resmi. Peta bahaya tsunami yang tidak resmi juga dapat digunakan untuk merencanakan evakuasi tsunami tetapi diperlukan pendapat para pakar sebelum menggunakannya. Dalam kerangka penelitian ini, ketinggian tsunami yang dipakai adalah skenario *run up* 20 m. Alasannya adalah menurut Jokowiarno (2011) letusan Krakatau pada tahun 1883 mengakibatkan tsunami setinggi 20 meter yang mencapai Teluk Betung. Oleh sebab itu dalam penelitian ini, untuk memetakan daerah bahaya tsunami dilakukan analisis rendaman tsunami dengan menggunakan model builder. Model builder merupakan model dari hasil perhitungan matematis berdasarkan perhitungan kehilangan ketinggian tsunami per 1 meter jarak inundasi berdasarkan harga jarak terhadap lereng dan kekasaran permukaan (Berryman, 2006) dalam BNPB (2016). Perhitungan dirumuskan pada persamaan (2) dan nilai koefisien kekasaran permukaan lahan disajikan pada Tabel 5.

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

Dimana :

$H_{loss}$  : kehilangan ketinggian tsunami per 1 m jarak inundasi  
 $n$  : koefisien kekasaran permukaan  
 $H_0$  : ketinggian gelombang tsunami di garis pantai (m)  
 $S$  : besarnya lereng permukaan (derajat)

Tabel 5. Nilai koefisien kekasaran permukaan lahan.

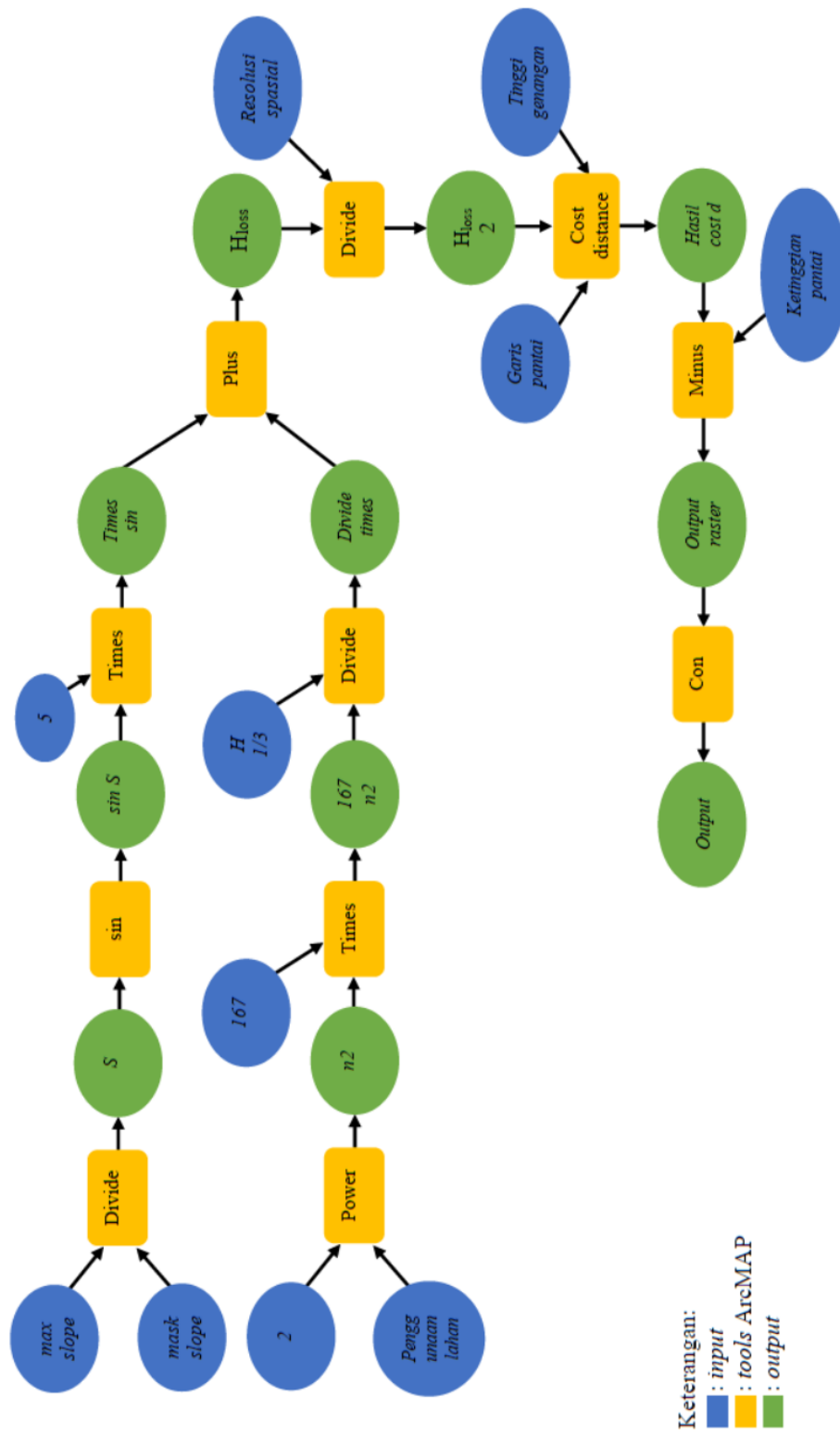
| No. | Penggunaan lahan          | Nilai koefisien kekasaran |
|-----|---------------------------|---------------------------|
| 1   | Badan air                 | 0,007                     |
| 2   | Belukar/semak             | 0,040                     |
| 3   | Hutan                     | 0,070                     |
| 4   | Kebun/perkebunan          | 0,035                     |
| 5   | Lahan kosong/terbuka      | 0,015                     |
| 6   | Lahan pertanian           | 0,025                     |
| 7   | Pemukiman/lahan terbangun | 0,045                     |
| 8   | Mangrove                  | 0,025                     |
| 9   | Tambak/empang             | 0,010                     |

Sumber : Berryman (2006)

Tahapan pemodelan genangan tsunami adalah sebagai berikut:

1. Data DEM dikonversi nilainya menjadi derajat menggunakan *tools slope*.
2. Hasil konversi radian yang telah didapat dengan 5 Sin derajat linear ( $S$ ) menggunakan *tools raster calculator*.
3. Peta penggunaan lahan dimasukkan kemudian nilai kekasarannya dikali dengan 167.
4. Hasil perkalian tersebut kemudian dibagi dengan  $H_0^{\frac{1}{3}}$  ( $H_0$  adalah ketinggian tsunami di garis pantai).
5. Nilai yang diperoleh ditambah dengan 5 sin  $S$  yang sudah didapat dari perhitungan sebelumnya untuk mendapatkan nilai  $H_{loss}$ .
6. Nilai  $H_{loss}$  yang diperoleh digabungkan dengan data garis pantai menggunakan *tools cost distance* untuk mendapatkan peta genangan tsunami.

Alur pemodelan genangan tsunami menggunakan *tools model builder* disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pemodelan genangan tsunami menggunakan model builder.  
(Sumber : Berryman, 2006 yang dimodifikasi).

2. Data dan informasi tentang kerentanan lingkungan terhadap tsunami, menganalisis kerentanan bertujuan untuk menemukan kelemahan utama yang dapat menyebabkan korban jiwa dan cedera selama kejadian tsunami. Data tersebut berupa data jarak dari garis pantai, ketinggian daratan, data kemiringan lereng dan jarak dari sungai. Setiap parameter memberikan tingkat pengaruh yang berbeda terhadap potensi kerentanan dan risiko akibat bencana tsunami. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan sistem pemberian bobot dan penilaian skor pada tiap parameter berdasarkan seberapa besar dampaknya. Semakin besar bobot suatu parameter, maka semakin signifikan pula pengaruhnya, sedangkan parameter dengan bobot kecil menunjukkan pengaruh yang lebih rendah. Jadi, semakin besar bobot parameter tersebut semakin besar kontribusinya terhadap resiko tsunami. Bobot dan skor disajikan pada Tabel 6, dan penjelasan masing-masing parameter adalah sebagai berikut :

1. Jarak dari garis pantai

Jarak dari garis pantai menjadi parameter penting dalam menilai kerentanan lingkungan terhadap tsunami karena semakin dekat suatu wilayah dengan garis pantai, semakin besar kemungkinan wilayah tersebut terkena dampak langsung dari gelombang tsunami. Wilayah yang berdekatan dengan garis pantai cenderung memiliki risiko yang lebih tinggi terhadap kerusakan fisik dan kehilangan jiwa akibat tsunami. Menurut Sengaji (2009) jarak dari garis pantai diklasifikasi menjadi lima kelas yaitu <200 m, 200-500 m, 500-1000 m, 1000-1500 m dan >1500 m.

2. Ketinggian daratan

Ketinggian daratan atau elevasi suatu wilayah juga memainkan peran kunci dalam menentukan kerentanan terhadap tsunami. Daerah dengan elevasi rendah cenderung lebih rentan terhadap banjir laut yang disebabkan oleh tsunami, karena mereka lebih mudah terendam oleh gelombang air laut yang meluap. Sementara itu, daerah yang

lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk menghindari dampak langsung dari tsunami. Menurut Sengaji (2009) ketinggian daratan diklasifikasi menjadi lima kelas yaitu  $<10$  m, 10-25 m, 25-50 m, 50-100 m dan  $>100$  m.

### 3. Kemiringan lereng

Kemiringan lereng juga merupakan faktor penting dalam menentukan kerentanan terhadap tsunami. Lereng yang curam cenderung mempercepat pergerakan air tsunami dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kerusakan yang lebih besar. Di sisi lain, lereng yang landai dapat memperlambat pergerakan tsunami dan mengurangi dampak kerusakan di daerah tersebut. Menurut Faiqoh *et al.* (2013) kemiringan lereng diklasifikasi menjadi lima kelas yaitu 0-2%, 2-5%, 5-15%, 15-40% dan  $>40\%$ .

### 4. Jarak dari sungai

Jarak dari sungai dapat mempengaruhi intensitas dan karakteristik gelombang tsunami. Sungai yang lebih besar dan lebih dekat dengan pantai memiliki potensi untuk menjadi jalur masuk bagi air tsunami ke daratan. Dengan demikian, jarak dari sungai juga menjadi faktor yang penting dalam mengevaluasi kerentanan suatu wilayah terhadap tsunami. Menurut Sengaji (2009) perlu dilakukan *buffer* dari sungai, *buffer* dilakukan pada jarak  $<100$  m, 100-200 m, 200-300 m, 300-500 m dan  $>500$  m.

Tabel 6. Matriks parameter kerentanan bencana tsunami

| No | Parameter                   | Bobot(%) | Skor | Kriteria   |
|----|-----------------------------|----------|------|------------|
| 1. | Jarak dari garis pantai (m) | 30       | 1    | >1500      |
|    |                             |          | 2    | >1000-1500 |
|    |                             |          | 3    | >500-1000  |
|    |                             |          | 4    | >200-500   |
|    |                             |          | 5    | 0-200      |
| 2. | Ketinggian daratan (m)      | 30       | 1    | >100       |
|    |                             |          | 2    | >50-100    |
|    |                             |          | 3    | >25-50     |
|    |                             |          | 4    | >10-25     |
|    |                             |          | 5    | <10        |
| 3. | Kemiringan lereng (%)       | 25       | 1    | >40        |
|    |                             |          | 2    | 15-40      |
|    |                             |          | 3    | 5-15       |
|    |                             |          | 4    | 2-5        |
|    |                             |          | 5    | 0-2        |
| 4. | Jarak dari sungai (m)       | 15       | 1    | >500       |
|    |                             |          | 2    | >300-500   |
|    |                             |          | 3    | >200-300   |
|    |                             |          | 4    | >100-200   |
|    |                             |          | 5    | 0-100      |

Sumber : Faiqoh *et al.* (2013), Sengaji (2009)

Pemberian bobot pada penelitian ini adalah berkisar 15-30% dan pemberian skor dalam kisaran 1-5 yang menunjukkan empat kelas kerentanan tsunami yaitu kerentanan sangat rendah (R1), kerentanan rendah (R2), rentan sedang (R3) dan kerentanan tinggi (R4). Nilai perhitungan tiap kelas berdasarkan persamaan (3) (Muzaki, 2008).

$$N = \sum (B_i \times S_i) \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

$N$  : Total bobot nilai  
 $B_i$  : Bobot pada tiap kriteria  
 $S_i$  : Skor pada tiap kriteria  
 $i$  : Parameter ke- $i$

Setelah didapatkan nilai empat kelas kerentanan maka akan dicari nilai selang tiap-tiap kelas tersebut berdasarkan jumlah perkalian nilai ter-

tinggi dari bobot dan skor masing-masing dikurangi dengan total hasil perkalian nilai terendah, kemudian dibagi berdasarkan jumlah parameter yang terlibat. Nilai perhitungan selang kelas berdasarkan persamaan (4) (Muzaki, 2008).

$$\text{Lebar selang kelas}(L) = \frac{\sum((B_i \times S_i)_{\max} - (B_i \times S_i)_{\min})}{n} \dots \dots (4)$$

Dimana :

$L$  : Lebar selang kelas  
 $n$  : Jumlah kelas

Hasil dari perhitungan persamaan (4) tersebut akan dimasukkan kedalam empat kelas kerentana tsunami. Kelas kerentanan tsunami disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Kelas kerentanan tsunami

| Kelas | keterangan    |
|-------|---------------|
| R1    | Sangat rendah |
| R2    | Rendah        |
| R3    | Sedang        |
| R4    | Tinggi        |

### 3.4.2 Analisis jalur evakuasi

Menentukan jalur evakuasi yang efektif dan efisien dilakukan dengan menggunakan metode *Network Analysis*, metode *Network Analysis* adalah metode yang digunakan di dalam perangkat lunak berupa ArcGIS, dalam ArcGIS terutama dalam *Network Analysis* menggunakan algoritma Dijkstra, algoritma Dijkstra digunakan untuk mencari rute tercepat atau terdekat antara dua atau lebih lokasi di jaringan jalan berdasarkan waktu perjalanan dan fasilitas terdekat, algoritma ini digunakan dalam *tools* sebagai berikut :

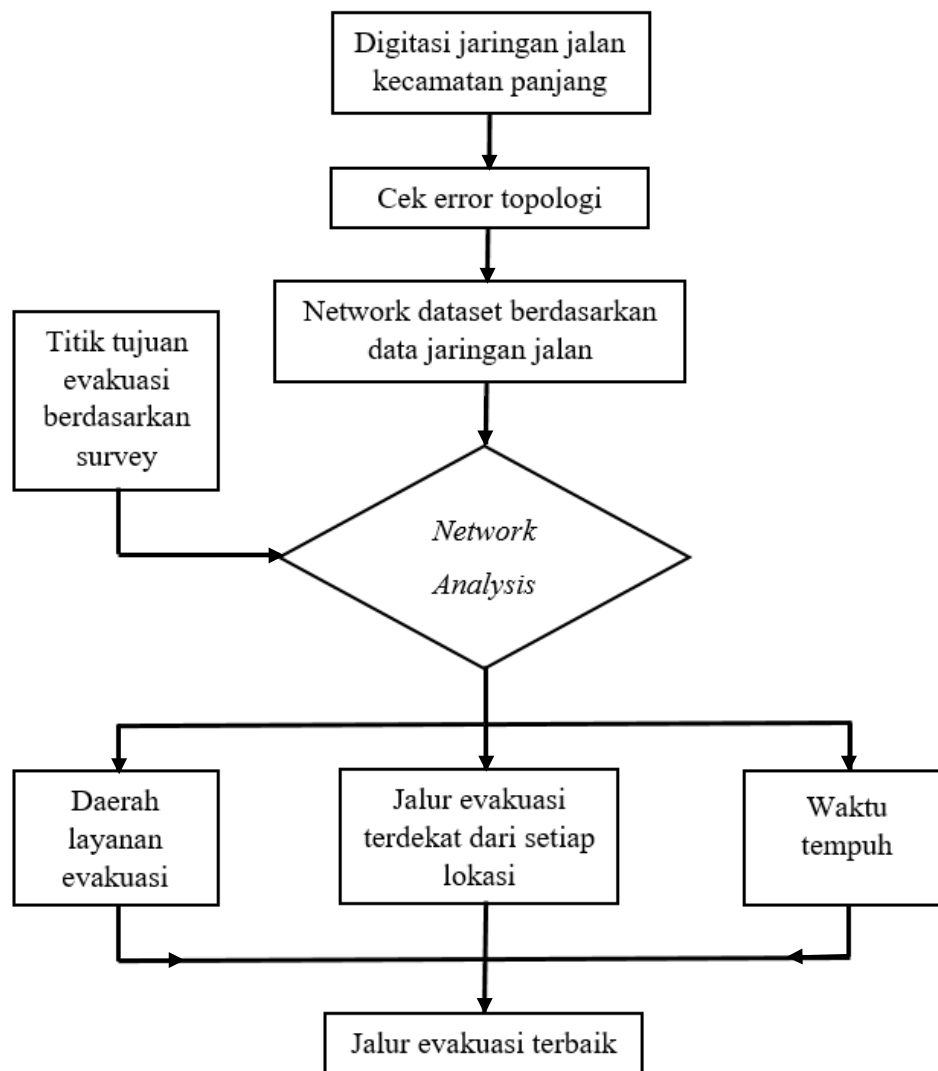
1. *Route*.
2. *Service area*.
3. *Closest facility*.
4. *Origin destination cost matrix*.
5. *Location-allocation*.

6. *Vehicle routing problem.*

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis jalur evakuasi sebagai berikut :

1. Digitasi jalur evakuasi menurut rencana kontigensi dari data BPBD Kota Bandar Lampung.
2. Memetakan aksesibilitas evakuasi tsunami berdasarkan rencana kontigensi dari BPBD Kota Bandar Lampung di Kec. Panjang.
3. Memetakan aksesibilitas evakuasi tsunami berdasarkan survey lapang.
4. Melakukan evaluasi terhadap optimalisasi rencana evakuasi tsunami antara jalur evakuasi berdasarkan rencana kontigensi dengan jalur evakuasi berdasarkan survey lapangan.

Proses pengolahan data disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Proses pengolahan data.

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat dihasilkan dari penelitian ini, yaitu :

1. Kecamatan Panjang terhadap daerah rawan bencana tsunami memiliki kerentanan yang tinggi, hal ini ditunjukkan dengan perbandingan persentase kerentanan tinggi (R4) yaitu 40,47 %, dibandingkan dengan persentase kerentanan sangat rendah (R1) 0,73 %, kerentanan rendah (R2) 36,44 %, dan rentan sedang (R3) 22,37 %.
2. Optimalisasi jalur evakuasi bencana di Kecamatan Panjang didapatkan 6 titik tempat evakuasi sementara (TES), 3 diantaranya (TES 3, TES 4 dan TES 6) lebih efektif dan efisien.

### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengurangi risiko bencana dapat dilakukan dengan pembangunan fisik, perencanaan penggunaan lahan, penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2019). *Prosedur penelitian*. Rineka cipta, Jakarta.
- Alhadi, Z. (2014). Kesiapan jalur dan lokasi evakuasi publik menghadapi resiko bencana gempa dan tsunami di Kota Padang (studi manajemen bencana). *Humanus*, 13(1), 35-44. <https://doi.org/10.24036/jh.v13i1.4095>.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2008). *Peraturan kepala badan nasional penanggualang bencana nomor 4 tahun 2008 tentang pedoman penyusunan rencana penaggulangan bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). *Menuju Indonesia tangguh menghadapi tsunami*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). *Buku saku tanggap tangkas tangguh menghadapi bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2016). *Risiko bencana Indonesia*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2020). *Rencana nasional penanggulangan bencana 2020-2024*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2020). *Buku saku tanggap tangkas tangguh menghadapi bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah. (2020). *Rencana kontigensi menghadapi bencana gempabumi dan tsunami Kota Bandar Lampung*. Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Bandar Lampung, Bandar Lampung.
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Kecamatan Panjang dalam Angka 2020*. Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung, Bandar Lampung.

- Baroroh, A. A., Adhi, M. A., & Latief, H. (2025). 2D Numerical modeling for estimation of run up and arrival time of tsunami at the coast of Banyuwangi district. *Jurnal Fisika*, 15(1), 1-10.  
<https://journal.unnes.ac.id/journals/jf/article/view/17461>.
- Berryman, K. (2006). *Review of tsunami hazard and risk in New Zealand*. institute of geological & nuclear sciences. New Zealand.
- Benazir, B., Kuswandi, K., Aslami, M. H. F., & Hijah, S. N. (2022). Estimasi waktu kedatangan tsunami berdasarkan patahan segmen Aceh-Andaman untuk daratan pantai utara Aceh. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 13(2), 65-76.  
<https://doi.org/10.32679/jth.v13i2.715>.
- Fatimah, A., Djamaluddin, R., Darwisito, S., Mamuaja, J. M., Wantasen, A. S., & Schadu, J. N. W. (2023). Pemodelan numerik tsunami untuk mengestimasi waktu tiba dan ketinggian maksimum gelombang tsunami di Teluk Amurang. *Euler: Jurnal Ilmiah Matematika, Sains dan Teknologi*, 11(1), 8-15. <https://doi.org/10.34312/euler.v11i1.19463>.
- Faiqoh, I., Gaol, J. L., & Ling, M. M. (2013). Vulnerability level map of tsunami disaster in Pangandaran beach, West Java. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 10(2), 90-103.  
<https://doi.org/10.30536/ijreses.2013.v10.a1848>.
- Fauzi, A., Hunainah, & Humaedi. (2020). Menyimak fenomena tsunami Selat Sunda. *Jurnal Geografi: Geografi dan Pengajarannya*, 18(1), 43-62.  
<https://doi.org/10.26740/jggp.v18n1.p43-62>.
- GTZ IS German Indonesian Cooperation For A Tsunami Early Warning System. (2010). *Panduan perencanaan untuk evakuasi tsunami*. German Technical Cooperation Internasional Services, Jakarta.
- Hamzah, L., Puspito, N. T., & Imamura, F. (2000). Tsunami catalog and zoning in Indonesia. *Journal of Natural Disaster Sciences*, 22(1), 25 – 43.  
<https://doi.org/10.2328/jnds.22.25>.
- Jokowinarno, D. (2011). Mitigasi bencana tsunami di wilayah pesisir Lampung. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Lampung*, 15(1), 13-20.  
<https://www.neliti.com/publications/139673/mitigasi-bencana-tsunami-di-wilayah-pesisir-lampung>.
- Kementrian PUPR BPSDM. (2017). *Modul manajemen penanggulangan bencana pelatihan penanggulangan bencana banjir*. Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi, Bandung.

- Kemal, B. M., & Putra, H. (2018). An observation of the walking speed of evacuees during a simulated tsunami evacuation in Padang, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140(1), p. 012090. <https://doi.org/10.2991/istsdc-18.2018.7>.
- Kusuma, A. H., & Siregar, A. M. M. (2024). *Manajemen penanggulangan bencana*. Pusaka Media, Lampung.
- Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C. J., Nettles, M., Ward, S. N., Aster, R., Beck, S. L., Bilek, S. L., Brudzinski, M. R., Butler, R., Deshon, H. R., Ekstrom, G., Satake, K., & Sipkin, S. (2005). The great Sumatra-Andaman earthquake of 26 december 2004. *science*, 308(5725), 1127-1133. <https://doi.org/10.1126/science.1112250>.
- Maarif, S. (2012). *Pikiran dan gagasan penanggulangan bencana di Indonesia*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Mayaguezz, H., Muhaemin, M., & Putra, M. G. A. (2023). Analisis aksesibilitas evakuasi tsunami menggunakan *tools network analys* di daerah rawan tsunami Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. *Tropical Marine Science*, 6(1), 45-52. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v6i1.3598>.
- Muzaki, A. A. (2008). *Analisis Spasial Kualitas Ekosistem Terumbu Karang Sebagai Dasar Penentuan Kawasan Konservasi Laut dengan Model Cell Based Modelling di Karang Lebar dan Karang Congkak Kepulauan Seribu, DKI Jakarta*. (No Publikasi 5010)[Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. Repository Institut Pertanian Bogor.
- Naryanto, H.S. (2003). Mitigasi kawasan pantai selatan kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung terhadap bencana tsunami. *Alami*, 8(2), 24-23. <https://www.neliti.com/publications/195582/mitigasi-kawasan-pantai-selatan-rota-bandar-lampung-propinsi-lampung-terhadap-be>.
- Sengaji, E. (2009). *Pemetaan Tingkat Resiko Tsunami di Kota Sikka Nusa Tenggara Timur dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis*. (No Publikasi 53368)[Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. Repository Institut Pertanian Bogor.
- Sea Defence Consultants. (2007). *Pedoman perencanaan pengungsian tsunami SDC-R-70022*. Aceh dan Nias: Sea Defence Consultants.
- Sutawidjaja, I. S. (2006). Pertumbuhan gunung api anak krakatau setelah letusan katastrofis 1883. *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(3), 143-153. <https://doi.org/10.17014/ijog.1.3.143-153>.
- Verbeek, R. D. M. (1884). The Krakatoa eruption. *Nature*, 30(757), 10-15. <https://doi.org/10.1038/030010a0>.